

# **Etablering av testfelt for kontroll av 3D laserskanner**

**Forfattere:**

**Petter Ramsøy Ellefsen  
André Botnen**

**Dato:**

**27.05.2011**





# Etablering av testfelt for kontroll av 3D skanner

---

*Bacheloroppgave i Geomatikk våren 2011*





## **Forord**

Bacheloroppgaven er skrevet og utarbeidet av Petter Ramsøy Ellefsen og André Botnen. Arbeidet med oppgaven har foregått gjennom vårsemesteret 2011 ved Høgskolen i Gjøvik. Oppgaven markerer for oss slutten av geomatikkstudiet.

Vi bestemte oss for å samarbeide om å skrive bacheloroppgave tidlig høsten 2010, og tok da kontakt med Aker Solutions i Stavanger, ved Georg Gaard. Det har tidligere vært flere studenter ved Høgskolen i Gjøvik som har samarbeidet med Aker Solutions og vi hadde fått inntrykk av at dette hadde vært samarbeid som hadde fungert bra. Vi visste at Aker Solutions hadde et stort og godt oppmålingsmiljø, samtidig som de jobber innenfor et fagfelt som vi hadde liten kunnskap om fra før.

Det ble i startfasen diskutert flere problemstillinger og forslag til oppgave. Vår veileder ved høgskolen, George Preiss, kom opp med et forslag der vi kunne se på om det var mulig å utføre en sjekk av 3D laserskannere uten å måtte levere instrumentet til produsent. Dette var en idé både vi og oppdragsgiver syntes var interessant og virket gjennomførbart.

Vi ønsker å takke vår oppdragsgiver Aker Solutions ved Georg Gaard for at vi i det hele fikk samarbeide med Aker Solutions. Vi vil takke vår veileder George Preiss for gode ideer til problemstilling. Ellers vil vi rette en stor takk til alle ved Aker Solutions som har hjulpet oss med problemer og utfordringer vi har hatt underveis. Spesielt Trond Helgøy, Silje Ofstad Henden og Stein-Erik Mitchell. Vi vil videre takke Lars Gulbrandsen og Per Ellefsen ved Leica Geosystems Norge, for nyttig informasjon og tilgang til lisensfiler.

Gjøvik, 27.05.11

André Botnen

Petter Ramsøy Ellefsen

## Sammendrag

### Norsk

#### *Sammendrag av Bacheloroppgaven*

Tittel:	<u>Etablering av testfelt for kontroll av laserskanner</u>	Dato: 27.05.11
<hr/> <hr/>		
Deltaker(e):	<u>Petter Ramsøy Ellefsen</u> <u>André Botnen</u>	
<hr/>		
Veileder(e):	<u>George Preiss</u>	
<hr/>		
Oppdragsgiver:	<u>Georg Gaard</u>	
<hr/>		
Stikkord/nøkkelord: (3-5 stk)	<u>Laserskanning, kalibrering, kontroll, testfelt, nøyaktighet</u>	
Antall sider: 68	Antall vedlegg: 4	Publiseringsavtale inngått: ja
Kort beskrivelse av bacheloroppgaven: Aker Solutions må ved jevne mellomrom sende inn sine laserskannere til kalibrering hos Leica. Dette betyr at instrumentene blir sendt inn til Leica sine kalibreringslaboratorier i Sveits. Når instrumentene er til kalibrering kan man risikere å være uten skanner i opptil 3 måneder, noe som gir Aker Solutions store økonomiske tap. Vi har derfor hatt som oppgave å prøve å etablere et testfelt der vi kjører tester på ulike skannere. Tanken er at man utifra testene skal kunne si noe om nøyaktigheten på målingene gjort med skanner. Og ut ifra det kunne bestemme om en skanner virkelig trenger en kalibrering eller ikke. Vi ble satt i opplæring av programvare og måleteknikker hos Aker Solutions før selve måle arbeidet. Deretter etablerte vi testfeltet i deres lokaler. Vi hadde to turer til Aker Solutions hvor vi utførte målinger med skanner. Resten av arbeidet ble gjort på HiG. Her ble grid etablert, data hentet ut og analyser utført. All rapport skrivning ble også utført på Høgskolen. Til slutt etter mye drøfting kom vi fram til en konklusjon. Ett testfelt vil være godt nok til å kunne avdekke grove feil i resultatene til en skanner i størrelsesordenen $\pm 5-10\text{mm}$ . En kan ikke direkte si noe på kvaliteten på avstandsmåling og/eller vinkelfeil. For en grundigere kontroll av skanner anbefaler vi at oppdragsgiver fortsetter å bruke Leica som sin faste kalibrerer.		

## English

### *Abstract for bachelor thesis*

Title:	<u>Establishment of test range for control of laser scanners</u>	Date:	<u>05.27.11</u>
Participant(s):			
<u>Petter Ramsøy Ellefsen</u>			
<u>André Botnen</u>			
Supervisor(s):			
<u>George Preiss</u>			
Client:			
<u>Georg Gaard</u>			
Keywords:			
<u>Laserscanning, calibrating, control, test range, accuracy</u>			
(3-5 words)			
Number of pages: 68	Number of annex: 4	Publishing agreement: yes	
<p>Each year, Aker Solutions send the laser scanners for calibration at Leica. This means that the instruments are sent to Leica's calibration laboratory in Switzerland. When the instruments are gone for calibration, one can risk not getting it back for up to 2 months, which gives Aker Solutions' major economic loss. Because of this we have taken the task of establishing a test range where we run tests on different scanners. The idea is that you can see on the basis of tests, the accuracy of the measurements made by the scanner. And based on that decide whether a scanner really needs a calibration. We got training in software and measurement techniques at Aker Solutions' prior to the measurement work. Then we established the test field in their premises. We had two trips to Aker Solutions in which we performed measurements with the scanner. The rest of the work has been done on the GUC, retrieval of data, establishment of grid, analysis work and report writing. In the end after much discussion we came to a conclusion. A field test would be good enough to detect serious errors in the results of a scan in the range of <math>\pm 5-10</math> mm. One cannot directly comment on the quality of distance measuring and / or angular errors. For a more thorough inspection of the scanner, we recommend that the client continues to use the Leica as their regular calibration.</p>			

## **1 Innholdsfortegnelse**

Forord.....	- 5 -
Sammendrag .....	- 6 -
1 Innholdsfortegnelse .....	- 8 -
2 Figurliste.....	- 10 -
3 Tabeller.....	- 11 -
Vedlegg.....	- 12 -
4 Innledning.....	- 13 -
4.1 Problemstilling.....	- 13 -
4.2 Mål med problemstilling.....	- 13 -
4.3 Mål med oppgaven .....	- 13 -
4.4 Gruppemedlemmer .....	- 13 -
4.5 Veileder.....	- 14 -
4.6 Oppdragsgiver.....	- 14 -
4.7 Arbeidsmetoder .....	- 14 -
4.8 Faser i prosjektet .....	- 15 -
4.9 Fremmedord brukt i oppgaven.....	- 15 -
4.10 Programvare .....	- 16 -
5 Teori og bakgrunnsstoff.....	- 18 -
5.1 Skannerens virkemåte .....	- 18 -
5.1.1 Pulsbasert skanner.....	- 18 -
5.1.2 Fasebasert skanner .....	- 18 -
5.2 Ulike skannertyper.....	- 19 -
5.2.1 Short range (fase) .....	- 19 -
5.2.2 Long range (puls) .....	- 19 -
5.2.3 Very long range (puls).....	- 20 -
5.3 Feilkilder ved skanneren .....	- 20 -
5.4 Registrering og georeferering .....	- 22 -
5.5 Skanner kontra tradisjonelle målinger med totalstasjon .....	- 22 -
5.6 Begrensinger og utfordringer ved skanning .....	- 23 -
5.6.1 Datamengde.....	- 23 -
5.6.2 Tidkrevende .....	- 24 -
5.7 Kostnader ved å sende skanner til kalibrering.....	- 25 -
5.8 Beskrivelse Leicas prosess for kalibrering.....	- 26 -



6	Praktisk utførelse av prosjektet.....	- 29 -
6.1	Et optimalt testområde.....	- 29 -
6.2	Tanker rundt testfeltet som skulle benyttes i oppgaven.....	- 30 -
6.3	Beskrivelse av testområde brukt i oppgaven.....	- 31 -
6.4	Etablering av grid .....	- 33 -
6.5	Krav til nøyaktighet ved etablering av grid .....	- 34 -
6.6	Gjøre målinger uten bruk av kompensator .....	- 35 -
6.7	Innmåling av targets .....	- 37 -
6.8	Skanning med ulik oppløsning .....	- 38 -
6.9	Standardisert metode for kontroll.....	- 39 -
7	Fremgangsmåte for uthenting av resultater fra punktsky .....	- 41 -
7.1	Dimensjonskontroll.....	- 41 -
7.2	Basispunkter på vegg .....	- 42 -
8	Resultater .....	- 43 -
8.1	Avvik i hvert enkelt skann (dimensjonskontroll) .....	- 44 -
8.1.1	07.02 High .....	- 44 -
8.1.2	29.03 High .....	- 45 -
8.1.3	30.03 High .....	- 46 -
8.1.4	07.02 Highest .....	- 47 -
8.1.5	29.03 Highest .....	- 48 -
8.1.6	30.03 Highest .....	- 49 -
8.2	Sammenligninger av avvik ved ulik oppløsning (dimensjonskontroll).....	- 50 -
8.2.1	Gjennomsnittlig avvik ved high oppløsning.....	- 50 -
8.2.2	Gjennomsnittlig avvik highest oppløsning.....	- 50 -
8.3	Sammenligning av standardavvik( $3\sigma$ ) ved ulik oppløsning (dimensjonskontroll) .....	- 51 -
8.4	Gjennomsnittlig avvik for et utvalg av basispunktene.....	- 53 -
8.4.1.	Fra punktsky.....	- 53 -
8.4.2.	Fra modellert vegg.....	- 55 -
8.5	Sammenligning av ulike skannere .....	- 57 -
8.5.1.	Fra punktsky.....	- 57 -
8.5.2.	Fra modellert vegg .....	- 59 -
8.6	Drøfting av resultater fra dimensjonskontroll .....	- 61 -
8.7	Drøfting av resultat fra uthenting av koordinater .....	- 63 -
8.8	Oppsummering av resultat .....	- 65 -

8.9	Noen tanker rundt hvordan en unøyaktig skanner ville opptre .....	- 65 -
9	Konklusjon.....	- 67 -
9.1.	Egenevaluering av prosjektet .....	- 67 -
10	Litteraturliste.....	- 68 -

## 2 Figurliste

Figur 1 - Petter Ramsøy Ellefsen .....	- 13 -
Figur 2 - André Botnen .....	- 14 -
Figur 3 - George Preiss .....	- 14 -
Figur 4 - Utdrag fra brukermanual .....	- 16 -
Figur 5 - Laserstørrelse ved økende avstand.....	- 21 -
Figur 6 - Kalibreringskammer .....	- 26 -
Figur 7 - Resultat etter måling av trackerball modellert i MATLAB .....	- 26 -
Figur 8 - Eksempel på skjema fra Leica etter kalibrering.....	- 27 -
Figur 9 - Oversikt over targets i kalibreringslokale .....	- 28 -
Figur 10 - Eksempel på target.....	- 31 -
Figur 11 - Testområde brukt i oppgaven.....	- 32 -
Figur 12 - Fastmerke for grid.....	- 33 -
Figur 13 - Troll A.....	- 35 -
Figur 14 - Heidrun .....	- 35 -
Figur 15 – Måling på flytende konstruksjon uten bruk av kompensator .....	- 37 -
Figur 16 - Måling på flytende konstruksjon med bruk av kompensator .....	- 37 -
Figur 17 - Eksempel på skann med high oppløsning .....	- 38 -
Figur 18 - Eksempel på skann med highest oppløsning .....	- 38 -
Figur 19 - Snitt av søyle sett ovenfra .....	- 39 -
Figur 20 - Eksempel på dgn fil .....	- 40 -
Figur 21 - Skjermdump fra punktsky .....	- 41 -
Figur 22 - Dgn fil med basispunkter .....	- 42 -
Figur 23 - Vegg i punktsky sett ovenfra .....	- 42 -
Figur 24- Avvik søyle 1 07.02 High .....	- 44 -
Figur 25- Avvik 07.02 søyle 2 High .....	- 44 -
Figur 26 - Avvik 2903 søyle 1 high .....	- 45 -
Figur 27 - Avvik 2903 søyle 2 high .....	- 45 -
Figur 28- Avvik 30.03 søyle 1 high .....	- 46 -
Figur 29- Avvik 30.03 søyle 2 high .....	- 46 -
Figur 30 - Avvik 07.02 søyle 1 highest.....	- 47 -
Figur 31 - Avvik 07.02 søyle 2 highest.....	- 47 -
Figur 32- Avvik 29.03 søyle 1 highest.....	- 48 -
Figur 33- Avvik 29.03 søyle 2 highest.....	- 48 -
Figur 34- Avvik 30.03 søyle 1 highest.....	- 49 -
Figur 35 - Avvik 30.03 søyle 2 highest.....	- 49 -
Figur 36 - Sammenligning alle sann ved high oppløsning .....	- 50 -
Figur 37 - Sammenligning alle sann ved highest oppløsning .....	- 50 -
Figur 38 - Sammenligning av standardavvik søyle 1 topp .....	- 51 -

Figur 39 - Sammenligning av standardavvik søyle 1 bunn.....	- 51 -
Figur 40- Sammenligning av standardavvik søyle 2 topp .....	- 52 -
Figur 41- Sammenligning av standardavvik søyle 2 bunn.....	- 52 -
Figur 42- Avvik B101 punktsky (high) .....	- 53 -
Figur 43- Avvik B103 punktsky (high) .....	- 53 -
Figur 44- Avvik B105 punktsky (high) .....	- 53 -
Figur 45- Avvik B101 punktsky (highest) .....	- 54 -
Figur 46- Avvik B103 punktsky (high) .....	- 54 -
Figur 47- Avvik B105 punktsky (highest) .....	- 54 -
Figur 48- Avvik B101 vegg (high) .....	- 55 -
Figur 49- Avvik B101 vegg (high) .....	- 55 -
Figur 50- Avvik B105 vegg (high) .....	- 55 -
Figur 51- Avvik B101 vegg (highest).....	- 56 -
Figur 52- Avvik B103 vegg (highest).....	- 56 -
Figur 53- Avvik B105 vegg (highest).....	- 56 -
Figur 54- Avvik 07.02 punktsky high.....	- 57 -
Figur 55- Avvik 29.03 punktsky high.....	- 57 -
Figur 56- Avvik 30.03 punktsky high.....	- 57 -
Figur 57 - Avvik 07.02 punktsky highest .....	- 58 -
Figur 58- Avvik 29.03 punktsky highest .....	- 58 -
Figur 59- Avvik 30.03 punktsky highest .....	- 58 -
Figur 60 - Avvik 07.02 vegg high.....	- 59 -
Figur 61- Avvik 29.03vegg high.....	- 59 -
Figur 62 - Avvik 30.03 vegg high.....	- 59 -
Figur 63- Avvik 07.02 vegg highest .....	- 60 -
Figur 64- Avvik 29.03 vegg highest .....	- 60 -
Figur 65- Avvik 30.03 vegg highest .....	- 60 -
Figur 66 - Modellert vegg fra punktsky .....	- 63 -
Figur 67 - Modellert vegg i forhold til skannet vegg.....	- 64 -

### **3 Tabeller**

Tabell 1- Sammenligning av oppløsning og datamengde.....	- 24 -
Tabell 2 - Kostnadsoversikt ved kalibrering av skanner.....	- 25 -
Tabell 3 – Avvik søyle 1 07.02 High.....	- 44 -
Tabell 4 – Avvik søyle 2 07.02 High.....	- 44 -
Tabell 5 - Avvik 2903 søyle 1 high .....	- 45 -
Tabell 6- Avvik 2903 søyle 2 high .....	- 45 -
Tabell 7 - Avvik 30.03 søyle 1 high .....	- 46 -
Tabell 8- Avvik 30.03 søyle 2 high .....	- 46 -
Tabell 9 - Avvik 07.02 søyle 1 highest.....	- 47 -
Tabell 10 - Avvik 07.02 søyle 2 highest.....	- 47 -
Tabell 11- Avvik 29.03 søyle 1 highest.....	- 48 -
Tabell 12- Avvik 29.03 søyle 2 highest.....	- 48 -
Tabell 13- Avvik 30.03 søyle 1 highest.....	- 49 -

Tabell 14- Avvik 30.03 søyle 2 highest .....	- 49 -
Tabell 15 - Sammenligning av standardavvik søyle 1 topp .....	- 51 -
Tabell 16 - Sammenligning av standardavvik søyle 1 bunn .....	- 51 -
Tabell 17 - Sammenligning av standardavvik søyle 2topp .....	- 52 -
Tabell 18- Sammenligning av standardavvik søyle 2 bunn .....	- 52 -
Tabell 19 - Avvik B101 punktsky (high) .....	- 53 -
Tabell 20- Avvik B103 punktsky (high) .....	- 53 -
Tabell 21- Avvik B105 punktsky (high) .....	- 53 -
Tabell 22- Avvik B101 punktsky (highest) .....	- 54 -
Tabell 23- Avvik B103 punktsky (highest) .....	- 54 -
Tabell 24- Avvik B105 punktsky (highest) .....	- 54 -
Tabell 25- Avvik B101vegg (high).....	- 55 -
Tabell 26- Avvik B103 vegg (high).....	- 55 -
Tabell 27- Avvik B105 vegg (high).....	- 55 -
Tabell 28- Avvik B101 vegg (highest) .....	- 56 -
Tabell 29- Avvik B103 vegg (highest) .....	- 56 -
Tabell 30- Avvik B105 vegg (highest) .....	- 56 -
Tabell 31 - Avvik 07.02 punktsky high .....	- 57 -
Tabell 32 - Avvik 29.03 punktsky high .....	- 57 -
Tabell 33- Avvik 30.03 punktsky high .....	- 57 -
Tabell 34- Avvik 07.02 punktsky highest.....	- 58 -
Tabell 35 - Avvik 29.03 punktsky highest.....	- 58 -
Tabell 36- Avvik 30.03 punktsky highest.....	- 58 -
Tabell 37- Avvik 07.02vegg high .....	- 59 -
Tabell 38- Avvik 29.03vegg high .....	- 59 -
Tabell 39- Avvik 30.03vegg high .....	- 59 -
Tabell 40 - Avvik 07.02 vegg highest.....	- 60 -
Tabell 41- Avvik 29.03 vegg highest.....	- 60 -
Tabell 42- Avvik 30.03 vegg highest.....	- 60 -

## **Vedlegg**

Vedlegg A – Prosjektavtale	Side 69
Vedlegg B – Logg	Side 71
Vedlegg C – Møtereferat fra møte med oppdragsgiver	Side 72
Vedlegg D – Koordinatliste for grid	Side 74

## **4 Innledning**

### **4.1 Problemstilling**

Bacheloroppgavens problemstilling går ut på:

*“...å opprette et testfelt for å kontrollere en 3D skanners nøyaktighet, og eventuelt kunne avdekke målefeil på instrumentet.”*

### **4.2 Mål med problemstilling**

Når en laserskanner er blitt brukt over en lengre periode trenger instrumentet å bli sjekket, og eventuelt kalibrert. Vår oppdragsgiver sender da skanneren til Leica sitt kalibreringslaboratorie i Sveits. Kalibrering av laserskannere skal, heter det, ta rundt 2 uker. Aker sin erfaring viser at det kan ta fra 2 uker til 2 måneder før skanneren er tilbake, og klar til bruk igjen. Dette betyr store økonomiske tap for firmaet som eier instrumentet. Når skanneren er sendt til kalibrering kan den naturligvis ikke brukes, og det vil si at eieren enten må leie inn en ekstra skanner, eller i verste fall ikke kan utføre jobber før skanner er tilbake

### **4.3 Mål med oppgaven**

I denne oppgaven har det på oppdrag fra oppdragsgiver blitt sett på om det kan være mulig å opprette et eget testområde for å sjekke nøyaktigheten på skanneren. I dag er det slik at skanneren ikke nødvendigvis trenger å bli sendt inn, og i mange tilfeller kommer skanneren tilbake uten at det har blitt gjort noen form for kalibrering eller justeringer.

Det er viktig å understreke at det i denne oppgaven ikke er snakk om å utføre selve kalibreringen, men derimot å sjekke om skanneren virkelig trengs å kalibreres. Selve kalibreringen er en svært teknisk krevende oppgave som må utføres av spesialister på området.

### **4.4 Gruppemedlemmer**

Petter Ramsøy Ellefsen er 24 år og kommer fra Kolbotn i Akershus. Har tidligere gjennomført allmenne fag ved



**Figur 1 - Petter Ramsøy Ellefsen**

videregående skole, ett års siviltjeneste, samt ett års praksis i oppmålingsfirmaet Scan Survey.

André Botnen er 23 år og kommer fra Røldal i Hordaland. Har tidligere gjennomført videregående skole, allmenne fag. Har i tillegg studert idrett grunnfag ved Universitetet i Agder.



Figur 2 - André Botnen

#### 4.5 Veileder

Veilederen for prosjektet har vært høgskolelektor George Preiss. George er pensjonert oberstløytnant fra den engelske hæren. Er utdannet fra både universitetet i Cambridge og Oxford. Tjenestegjorde 27 år hæren og jobbet deretter omtrent 8 år i Statens Kartverk. De siste 12 årene har George jobbet som høgskolelektor ved Høgskolen i Gjøvik.



Figur 3 - George Preiss

#### 4.6 Oppdragsgiver

Aker Solutions er et stort selskap innen olje og gass. De har egne verksteder som bygger moduler og plattformer. I tillegg har de store tunge ingeniørmiljøer. Aker Solutions har rundt 20 000 ansatte.

Mye av jobbene som oppmålerne får, er å kartlegge hvordan det virkelig ser ut offshore. De formidlet dette ofte videre vha. en 3D modell. Aker Solutions' ingeniører bruker dette videre til ombygging eller i forbindelse med vedlikehold.

#### 4.7 Arbeidsmetoder

Det har hovedsakelig blitt benyttet to ulike arbeidsmetoder. Det har vært en praktisk del og en teoretisk del. Under den praktiske delen inngår all form for innsamling av data samt jobbing i programvare. Den teoretiske delen har bestått av, litteraturstudie, analyse av data og jobbing/ ferdigstilling av rapport.

## **4.8 Faser i prosjektet**

Prosjektet har blitt delt inn i 4 ulike faser. Dette har vært naturlige overganger etter prosjektets fremdrift.

### ***Fase 1***

Kontakte oppdragsgiver og komme frem til en fornuftig problemstilling. Dette var en dialog mellom studentene, veileder og oppdragsgiver der det var flere problemstillinger oppe til vurdering. Det ble samtidig hentet inn litteratur som kunne være til hjelp.

### ***Fase 2***

Utarbeide en endelig metode for hvordan prosjektet skulle gjennomføres i praksis, samt grunnleggende opplæring i programvare. Dette var helt nødvendig for å kunne gjennomføre prosjektet. Ble startet på tidlig i semesteret.

### ***Fase 3***

Samle inn data og hente ut resultater i form av tallmateriale.

### ***Fase 4***

Analysere og drøfte resultatene og komme fram til en konklusjon, samt fullføring av prosjektet i form av endelig rapport og presentasjon av prosjektet.

## **4.9 Fremmedord brukt i oppgaven**

I oppgaven er det gjennomgående brukt en del fag betegnelser. Dette er noe forfatterne er klar over og har derfor lagt ved en forklaring på dette i teksten under. Tenker da på ord som target, grid, osv. Likevel har vi valgt å bruke disse ordene siden det er veletablerte uttrykk som det ikke finnes gode norske ord og uttrykk for. Betydningene av ordene burde komme tydelig frem av teksten, men under følger det likevel en liten beskrivelse av betydningen av de mest brukte ordene.

High:

Er oppløsningen man har valgt når en skanner. Dette er en innstilling man velger før en starter skanneren. I praksis er oppløsningen hvor mange punkter som blir samlet inn.

Highest:

Samme grunnprinsippene som for high. Eneste forskjellen er at ved highest samler en inn flere punkter. Dette vil si at selve skanningen tar noe lengre tid og datamengden en samler inn blir betydelig større.

<b>Scan resolution</b>			
Spot size	3 mm at exit (based on Gaussian definition) + 0.22 mrad divergence; 8 mm @25 m; 14 mm @50 m		
Selectability	5 pre-set spacings per table		
	Pts/360° (vert., horiz.)	Scan time (full dome)	Point spacing at range @10 m
"Preview"	1250	25 sec	50.6x50.6 mm
Middle (4x)	5000	1 min 40 sec	12.6x12.6 mm
High (8x)	10000	3 min 22 sec	6.3x6.3 mm
Super High (16x)	20000	6 min 44 sec	3.1x3.1 mm
Ultra High (32x)	40000	26 min 40 sec	1.6x1.6 mm

Figur 4 - Utdrag fra brukermanual

Target:

Er en målskive som blir brukt for å georeferere skannet, samt sette sammen flere skann/punktskyer til en stor punktsky. I oppgaven er det blitt brukt targets som er trykket ut på A4 ark. Det finnes mange ulike typer target. En type target som er mye brukt er en rund skive festet til en fot med en magnet på. Disse er godt egnet der en har tilgang til magnetiske overflater, som for eksempel stålrør.

Grid:

Når man snakker om grid i offshorebransjen, tenker en ofte på et lokalt koordinatsystem på en oljeplattform. I teorien kan en grid være et lokalt koordinatsystem hvor som helst.

#### 4.10 Programvare

Til denne bacheloroppgaven ble det hovedsakelig brukt 3 programmer for beregning, etablering av grid og arbeid med punktsky.

- SC4W (Beregning og dimensjonskontroll )



Vi ble introdusert for SC4W hos Aker Solutions. Dette programmet passet perfekt for etablering av grid og dimensjonskontroll. Programmet støtter GSI filer, så man kan laste inn filer rett fra totalstasjon.

Hjemmeside: <http://sc4w.com/>

- Leica Geosystems HDS Cyclone (3D punktsky prosesserings verktøy)

Dette programmet brukte vi for registrering av skann (sette sammen skanns) samt unifying. Unifying vil si at man fjerner doble punkter, da får man en mindre fil å jobbe med. Vi fikk lisensfiler til Cyclone fra Leica for å kunne jobbe på HiG.

Hjemmeside: [http://hds.leica-geosystems.com/en/Leica-Cyclone\\_6515.htm](http://hds.leica-geosystems.com/en/Leica-Cyclone_6515.htm)

- Bentley Microstation (CAD software for infrastruktur design)

Microstations blir brukt av Aker Solutions for 3D modellering i punktsky. Men vi kunne også bruke programmet til å hente ut koordinater fra de ulike basis punktene.

Hjemmeside: <http://www.bentley.com/en-US/>

## **5 Teori og bakgrunnsstoff**

### **5.1 Skannerens virkemåte**

En skanner gjør målingene ved at det blir sendt ut kontinuerlige strømmer av lyspulser som blir sendt mot et objekt og spredt utover ved hjelp av et speil med en sveipemekanisme. Når disse strålene treffer objektet blir en del av strålene reflektert tilbake til skanneren, som har en mottaker for å kunne ta imot strålene. Når skanneren sender ut strålene blir tidspunktet for utsendelsen, samt retningen, registrert. Når så en del av strålene kommer tilbake til skanneren, blir tiden igjen registrert. Når man nå kjenner retningen og tiden strålen har brukt, samt posisjonen til skanneren, kan en nå beregne punktets posisjon. (Skår, Drangevåg, Strand & Hansen, 2010)

#### **5.1.1 Pulsbasert skanner**

En pulsbasert skanner er basert på et såkalt "time offlight" system. Det vil si at avstanden til skannet objekt beregnes ved at tiden strålen/ pulsen bruker fram og tilbake blir lagt til grunn i beregningene. Dette resulterer i en nøyaktighet på omtrent 3 – 5 mm. Framfor der laserstrålen går ut står det et speil som roterer, slik at strålene blir spredt utover. (Skår, Drangevåg, Strand & Hansen, 2010)

#### **5.1.2 Fasebasert skanner**

Dette er på mange måter det samme som skjer når en måler med en totalstasjon, forskjellen er at med en skanner blir det gjort flere millioner målinger på samme tid som en totalstasjon gjør en. For eksempel så måler en *Leica HDS6100* opp mot 500 000 punkter i sekundet.

Skannerens posisjon blir som oftest bestemt ved at en har plassert georefererte merker i området en skanner. Disse er målt inn, og blitt beregnet ved hjelp av totalstasjon. Nærmere beskrivelse av registrering av skann og georeferering kommer lenger nede i dokumentet.

(Skår, Drangevåg, Strand & Hansen, 2010)

## **5.2 Ulike skannertyper**

### **5.2.1 Short range (fase)**

En “short range” skanner gir den beste nøyaktigheten på korte avstander. Hvis en skal skanne detaljerte ting er det denne typen skanner som blir benyttet, som for eksempel ved skanning av kompliserte rørinstallasjoner. I spesifikasjonen for *Leica HDS6100* står det at den har en rekkevidde på opp til 79 meter, men dette er nok langt i overkant av hva som er vanlig i praksis. Avstander på opp mot halvparten av dette er nok mer realistisk. Dette avhenger naturligvis av hva en skal skanne. Skal en skanne rene flater vil nok avstander på opp mot 35 meter gå bra, skal en derimot skanne små detaljer vil kanskje en avstand på opp mot 20 meter være mer naturlig. Naturligvis varierer dette fra prosjekt til prosjekt, alt etter hvilke nøyaktighetskrav det stilles, men bruker man først en “short range” skanner ønsker en i de fleste tilfeller å oppnå best mulig kvalitet.

Tidligere var det knyttet mange utfordringer til skanning. Typiske problemer var mye støy i punktskyer, og problem med håndtering av store mengder data. Over tid har produsentene rettet opp i mange av disse problemene, samtidig som de fleste nå har langt kraftigere dataverktøy til å håndtere de store datamengdene.

*(Datasheet Leica HDS6100)*

### **5.2.2 Long range (puls)**

Dette er nok den typen skanner som er den mest brukte i arbeid med “tradisjonell” landmåling på grunn av sin allsidighet. Den har et arbeidsområde på mellom 0,1 og 300 meter, samtidig som nøyaktigheten er god nok til å kunne modellere flater og enkle objekter. I forhold til en “short range” skanner blir datamengden betraktelig mindre da denne samler inn kun omtrent 50 000 punkter i sekundet.

En “long range” skanner er godt egnet til å lage nøyaktige modeller av store konstruksjoner, som fasader av bygg, broer, vegkryss osv.

*(Datasheet LeicaC10)*

### **5.2.3 Very long range (puls)**

Det finnes også skannere for bruk til enda lengre avstander. Da snakker vi om avstander på mellom 400 og 1000 meter. Disse skannerne samler ikke inn data med veldig god nøyaktighet, og kan dermed kun brukes til temmelig grove modeller. Det vanligste bruksområde er til skanning av gruver, der en ofte har store avstander og lavere krav til nøyaktighet.

Årsaken til at nøyaktigheten blir kraftig redusert på slike avstander er at selve laserstrålen blir så stor at hvert enkeltpunkt blir veldig stort. Dette kan det leses mer om i avsnitt 5.3. Dette er den klart minst brukte skanneren, men samtidig et veldig godt verktøy for de som har bruk for denne type skanner.

*(Datasheet Leica HDS8800)*

## **5.3 Feilkilder ved skanneren**

Nøyaktigheten på hvert enkelt skann, og hvert punkts nøyaktighet påvirkes av flere faktorer. Ved selve instrumentet har vi disse feilkildene:

### ***Avstandsnøyaktighet:***

I motsetning til en totalstasjon, der avstanden blir korrigert i forhold til målt avstand til objektet, har en skanner en fast verdi for korreksjon av avstand. Denne kan for eksempel være satt til 100 meter.

### ***Refleksjon:***

I tillegg til usikre momenter knyttet til selve skanneren er det også en del ytre påvirkninger som påvirker kvaliteten/ nøyaktigheten. Hvilke farger flatene en skanner har en veldig stor betydning. I spesifikasjonen til *Leica HDS6100* kan en se at de opererer med et bruksområde på opp til 79 meter (som i praksis er altfor høyt) med en flate med 90 % albedo. (Beskrivelse av hva albedo er kan ses under). Til sammenligning er avstanden oppgitt til 50 meter ved en albedo på 18 %.

“Albedo er et uttrykk for flaters evne til å reflektere lys, og blir definert som den brøkdel av parallelt innfallende lys som blir spredt diffust. En albedo på 0,10 vil si at 10 % av innfallende lys blir kastet tilbake.”

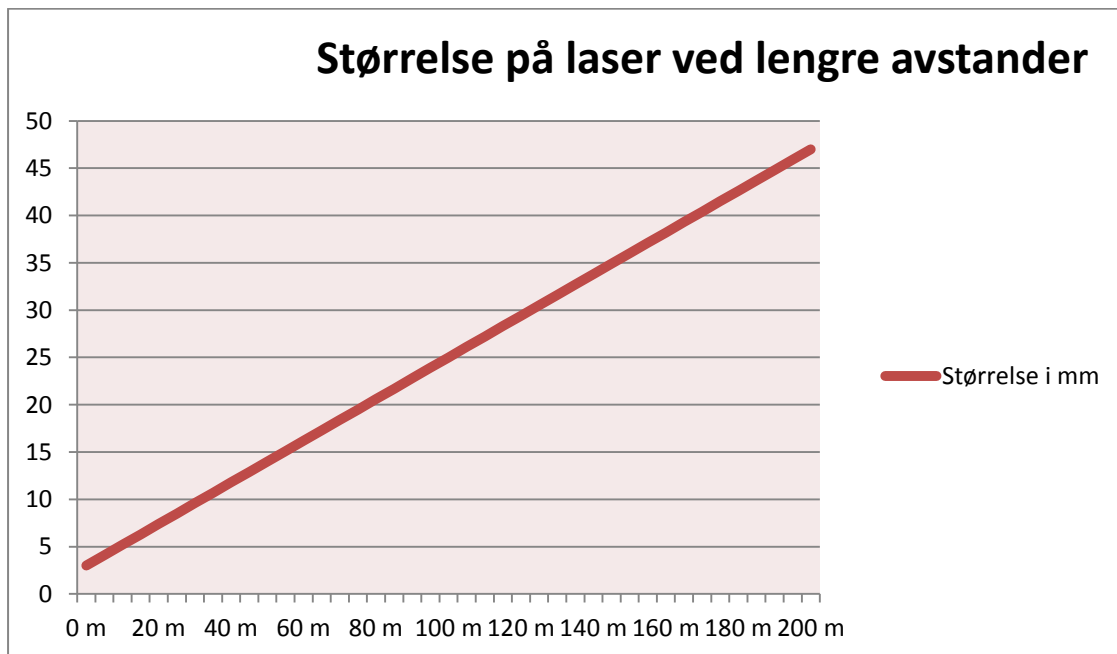
(Hentet direkte fra Store Norske Leksikon)

For eksempel har en hvit flate en albedo verdi på opp mot 90 % refleksjon, mens en tilnærmet sort overflate har en refleksjon på 10 %.

### *Økende størrelse på laserstrålen ved lengre avstander:*

En laserstråle er konstruert slik at den divergerer. Det vil si at den vokser i størrelse jo lengre bort fra skanneren en kommer. Dette gjelder spesielt for “short range” skannere. I produktbeskrivelsen for HDS6100 finner vi at strålen divergerer med 0,00022 radianer, eller 0,013 grader. I tillegg har den en størrelse på 3 mm da den forlater skanneren. Hvis vi setter inn for avstanden (i millimeter) i formelen under finner vi størrelsen på laseren (med vinkler i radianer, og avstand (D) oppgitt i millimeter).

$$\text{Spot size} = \sin(0,00022) \times D + 3 \text{ mm}$$



**Figur 5 - Laserstørrelse ved økende avstand**

(Datasheet Leica HDS6100 og Geoff Jacobs, august 2009)

## **5.4 Registrering og georeferering**

For å kunne georeferere ett eller flere skann blir det benyttet targets. Man kan si at targets er en type fastmerke. Man setter ut targets i området man skal skanne, navngir dem og måler dem inn med en totalstasjon. Etter et skann vil man kunne se targets i punktskyen og vha. programvare navngi de ulike targetene. Dette gjør man i alle skann man har fra området. Man må man sørge for at alle skann har mange felles targets. Deretter kombinerer man ett eller flere skanns med målefila fra totalstasjonen. Programvaren finner da automatisk alle felles targets. Slik vil alle skann roteres inn i samme lokale koordinatsystem.

## **5.5 Skanner kontra tradisjonelle målinger med totalstasjon**

En skanner vil være veldig god på å samle inn en stor mengde data på kort tid. For eksempel en stor fjellvegg eller en fasade på et hus.

En skanner vil være optimal for masseberegning med rask innsamling av store flater/områder. En totalstasjon vil kunne fint bli brukt til innmåling av områder til masseberegning, men man vil få mye færre punkter og derfor mindre nøyaktig beregning av masser. I tillegg til arbeidstiden man bruker med å samle data med totalstasjonen.

Hvis en derimot skal sette ut koordinater som akser på et hus vil man måtte bruke totalstasjon. Først og fremst så har ikke en skanner programvaren til å kunne stikke ut koordinater. Og en totalstasjon har en mye større nøyaktighet på enkelt punkt.

En totalstasjon vil også ha en mye større nøyaktighet når det gjelder detaljmåling. Når en måler med totalstasjon har man større kontroll på hva man måler og en vil få mindre/ingen støy i innmålingene.

Man bruker også totalstasjon for etablering av fastmerker. En skanner har ikke mulighet til å utlevere koordinater fra punktskyen før den har blitt rotert inn i et koordinatsystem. Ett skann gir bare en modell av virkeligheten. En totalstasjonkan derimot eksportere filer som gir observasjoner og koordinater.

En skanner er derimot bedre når en gjør innmålinger offshore, da det ofte er mørke og trange rom. En skanner kan måle i et rom uten lys, så lenge rommet har lyse nok overflater

vil laseren reflektere tilbake til skanneren. Med innmåling av samme mørke rom vha. totalstasjon vil en bruke mye lenger tid da man må opplyse rommet for å vite hva man måler.

I tillegg vil man kunne enklere lage 3D modeller ut ifra ett skann med en skanner, enn med en målefil fra en totalstasjon. Igjen så er det mengden data fra skanner som er overlegen.

Skanner:

- Rask innmåling
- Store mengder data
- Optimal til 3D modellering
- Ikke veldig nøyaktig

Totalstasjon:

- Høy nøyaktighet
- Stort bruksområde
- Sette ut koordinater
- Mindre støy i målefila

## **5.6 Begrensinger og utfordringer ved skanning**

### **5.6.1 Datamengde**

En stor utfordring, som også nevnt tidligere i teksten, er de store datamengdene en får når en skanner. Dette var et spesielt stort problem/ utfordring tidligere når kapasiteten på datamaskinene var langt dårligere enn det vi har i dag. Men datamengde er fortsatt en utfordring, og en er avhengig av temmelig kraftige maskiner for å kunne håndtere store punktskyer. Datamengden avhenger mye av hvilken oppløsning en skanner med. I praksis vil dette si at det hvis en halverer avstanden mellom punktene i punktsky, vil datamengden bli minst tre ganger større. Eksempel på dette under der vi sammenligner skann gjort med "high" og "highest" oppløsning. Her er det angitt datamengde for ett enkelt skann, så da kan en tenke seg hvis en skal sette sammen 10 – 15 oppstillinger til en modell.

Tabell 1- Sammenligning av oppløsning og datamengde

Oppløsning	Avstand mellom enkeltpunkt ved 10 m	Datamengde
High	6,3 X 6,3 millimeter	~ 150 MB
Highest	3,1 X 3,1 millimeter	~ 550 MB

Det er ikke bare at det er tungt å jobbe med så mye og store datamengder, en er også helt avhengig av å ha gode rutiner i hvordan en lagrer/ oppbevarer data. I mange bedrifter og firmaer er det serverbaserte løsninger for lagring og utveksling av data. Disse er i noen tilfeller konstruert slik at all data som lastes opp og ned går innom en mellomagring. Et problem som kan oppstå da er at en ikke får overført all data på en gang, eller at en ikke får overført data i det hele tatt fordi plassen på denne mellomagringsdisken blir full. På dette område har det også vært en rivende utvikling de siste årene, men det er per dags dato fortsatt en utfordring mange må ta hensyn til.

### **5.6.2 Tidkrevende**

De store datamengdene skaper ikke bare utfordringer i form av at selve datamaskinen sliter med disse store filene, for selv om dataen klarer det, tar ting veldig lang tid (for eksempel hvis en skal gjøre en unifying på store punktskyer kan dette gjerne ta 5 - 6 timer). Det dreier seg om alt i fra eksport av data fra skanner til datamaskin/ lagringsmedia, import til programvare, reduksjon av punktsky osv. Alt dette er arbeid som må gjøres før en kan starte med selve modelleringen, som i de fleste tilfeller er grunnen til at en skanner. Hvis en skal modellere kompliserte rørinstallasjoner, maskiner eller lignende tar dette veldig lang tid. Et veldig grovt anslag er at hvis en skanner i en dag, tar det fem dager å modellere. Her ligger det da til grunn at skanningen også medfører en god del ekstraarbeid som flytting av utstyr, innmåling av targets med totalstasjon osv.

Når en ser på disse utfordringene skanning medfører er det lett å forstå at det må være spesielle ønsker fra oppdragsgiver. Det blir alltid en vurdering, både av oppdragsgiver og oppdragstaker om det svarer seg å skanne. Hovedargumentet mot er nok at det er veldig tidkrevende. Den store fordelene er at en får med alle detaljer. Oppdragstaker vil i mange



tilfeller spare mange offshoreturer på å skanne, da hele området som skannes kan brukes påny om andre jobber kommer i samme område.

### **5.7 Kostnader ved å sende skanner til kalibrering**

Hovedgrunnen til at det var interessant å se på muligheten for å etablere et testfelt for skannere, var om oppdragsgiver kunne spare penger. Det har vært ulik praksis med tanke på hvor ofte en skanner blir sendt til Leica sitt kalibreringsanlegg i Sveits for kalibrering.

Følgende faktorer har vært lagt til grunn:

- Antall dager siden siste kalibreringssjekk
- Antall dager skanneren har vært i bruk (uavhengig av hvor mange timer pr. dag)
- Antall timer skanneren har vært i bruk

Det ble hentet inn opplysninger fra oppdragsgiver for å kunne gi en realistisk framstilling over hvor store utgifter det faktisk medfører hver gang en skanner er inne til kalibrering. Leverandøren sier at skanneren skal være tilbake til eieren i løpet av to uker. I praksis tar det mye lengre tid. Erfaringene viser at det tar mellom tre uker og to måneder før skanneren er tilbake og klar til bruk. Hvis en skal gjøre et kostnadsoverslag her må en ta flere hensyn der en tenker seg flere scenarier.

I beste fall sender Aker Solutions inn skanneren inn og har den tilbake i løpet av to uker. Hvis det i tillegg er lite arbeid slipper de å leie inn en erstatningsskanner. Det dårligste, altså det mest kostbare scenariet, er hvis skanneren er utilgjengelig i to måneder, og Aker Solutions i tillegg må leie inn en erstatningsskanner.

Tabellen under viser et overslag over det økonomiske tapet oppdragsgiver har ved å være uten skanner. Her har det vært lagt til grunn en dagrate på kr. 2850 både for tap av inntekter på egenskanner, og kostnad ved å leie skanner. Det har i tillegg blitt kalkulert med at skanneren skal være i bruk fem dager pr. uke. Med andre ord vil 8 uker tilsvare 40 dager.

**Tabell 2 - Kostnadsoversikt ved kalibrering av skanner**

Antall uker	Uten leie av skanner	Låne skanner halve perioden	Med leie av skanner
-------------	----------------------	-----------------------------	---------------------

2 uker	kr 28 500	kr 42 750	kr 57 000
5 uker	kr 71 250	kr 196 875	kr 142 500
8 uker	kr 114 000	kr 171 000	kr 228 000

Vi ser av overslaget at det er stor forskjell mellom billigste og dyreste utfall.. Hvis vi tenker oss et absolutt dårligste utfall vil oppdragsgiver tape over 200 000 kroner. Hvis en i tillegg da har sendt en skanner til kalibrering unødige, skjønner en at det kan være mye penger å spare om en skulle komme frem til en løsning der en selv kan kontrollere skanneren på en god måte.

### 5.8 Beskrivelse Leicas prosess for kalibrering

For kalibrering av laserskannere har Leica Geosystems utviklet et laboratorie, lokalisert i Widnau i Sveits. Det finnes også et slikt laboratorie i California i USA. Begge laboratoriene har 3 kalibreringskammer (miljøkammer).

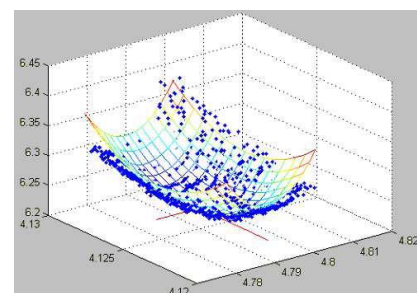
Kalibreringsprosessen begynner med montering av instrumentet. For dette trengs det spesialister som vet hvilken rekkefølge de ulike delene i skanneren er sammensatt. Bruk av lim, momentet hver enkelt skrue er festet med er blant annet utfordringer spesialistene ved

Leica kan. Teknikerne bruker spesialverktøy til monteringen. Men det holder ikke og bare skru på instrumentet til det er kalibrert nok.

Hver skanner blir da så satt inn i "miljøkammer" hvor de blir stresstestet i flere dager. Inne i kammeret finnes det ulike vinduer med forskjellige optisk kvalitet. Her kan skanneren observere lasertracker - targets og skanner - targets. Inne i kammeret vil skanneren bli kalibrert på ulike temperaturer. De både varmer opp og kjøler ned instrumentet, deretter lar de instrumentet "hvile" før



Figur 6 - Kalibreringskammer



Figur 7 - Resultat etter måling av trackerball modellert i MATLAB

de fortsetter med tester. Under hver test måler skanneren en "trackerball" som forflytter seg sakte ved hjelp av en mekanisk arm. På den måten skanner manen target i forskjellige posisjoner under samme test. Samtidig som skanneren måler inn trackerballen, er det også en lasertracker som måler den inn med høy nøyaktighet

Både posisjonen og parameterne til skanneren blir fastsatt ved å gjøre en rekke justeringer på måle settet.

Etter skanneren har målt inn "tracker ballen" vil punktskyen bli plottet inn i MATLAB hvor den vil bli testet mot en algoritme. Deretter vurderer en tekniker om skanneren faller innenfor toleransekravene. Hvis ikke, trengs det flere tester i kammeret. I tillegg til å følge en standard etter MATLAB, sammenligner de skannerens målinger med en kalibrert Leica totalstasjon samt en laser tracker.

Ved hver temperatur blir skannerens parametere avlest. Disse blir så lastet inn i skanneren. Når skanneren nå blir brukt vil parameterne under bruk bli avledet fra disse enkelte temperaturobservasjonene. Det er typisk at parameterne forandrer seg så mye som 1'' per grad celsius.

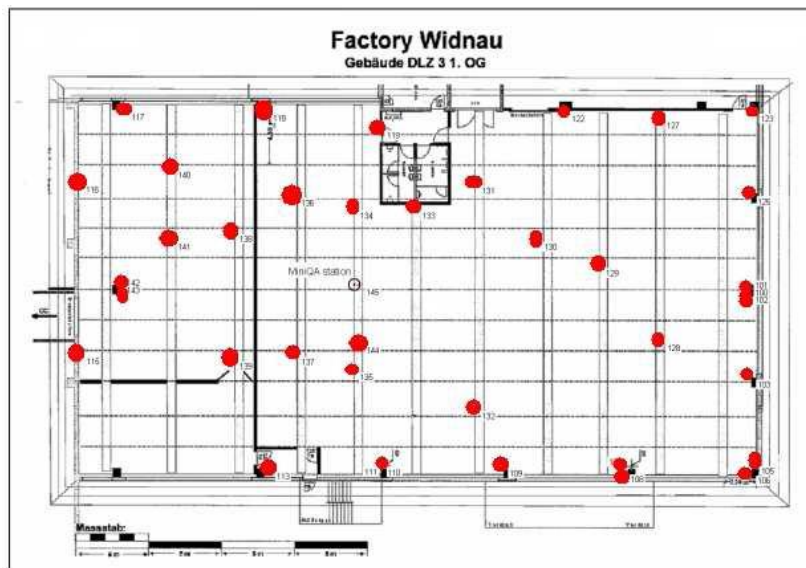
Parameter	Specifications	Measured Value	Result
<i>Linearity error</i>	≤1mm (1,0 m – 50 m range)	≤ 0,16 mm	Pass
<i>Range noise at 10m *</i> > Reflectivity 10% (dark) > Reflectivity 20% (dark grey) > Reflectivity 100% (white)	≤ 1,2 mm rms ≤ 0,7 mm rms ≤ 0,4 mm rms	0,73 mm rms 0,41 mm rms 0,23 mm rms	Pass Pass Pass
<i>Range noise at 25m *</i> > Reflectivity 10% (dark) > Reflectivity 20% (dark grey) > Reflectivity 100% (white)	≤ 2,6 mm rms ≤ 1,5 mm rms ≤ 0,7 mm rms	1,72 mm rms 0,85 mm rms 0,46 mm rms	Pass Pass Pass
<b>Vertical accuracy **</b> (High Enc)	0,007° rms (= 0,122 mrad)	0,096 mrad	Pass
<b>Horizontal accuracy **</b> (Low Enc)	0,007° rms (= 0,122 mrad)	0,0096 mrad	Pass

Figur 8 - Eksempel på skjema fra Leica etter kalibrering

For kalibrering av tiltssensor har de en annen fremgangsmåte. Temperaturen i rommet blir gjenkjent på kalibreringsstasjonen. Skanneren blir plassert fast på standen, deretter retter

de laserstrålen mot ett referansepunkt. Referansepunktet sitter på en modifisert totalstasjon. På referanseenheten er det montert et kamera, dette kameraet observerer laserstrålen under hele testen. Ved hjelp av kameraet klarer de å kombinere koordinatsystemet til både skanneren og referanseenheten. Når de så begynner testen, vil standen som instrumentet står på gjøre en rekke bevegelser. Under disse bevegelsene sammenligner man sensor "outputs" fra begge instrumentene. Da kan de bestemme parameterne for justeringen av skanneren.

Det blir også gjort tester for vinkel og avstand. Skanneren blir da satt opp på en søyle i laboratoriet, deretter skanner den hele rommet. Det er fra før av satt opp 46 targets som er blitt innmålt



**Figur 9 - Oversikt over targets i kalibreringslokale**

med totalstasjon. Disse målingene er målt med en nøyaktighet på  $\pm 1$ mm. Deretter blir nøyaktighetsspesifikasjonene estimert og sammenlignet. Ingen instrumenter blir utskrevet fra laboratoriet før de har nådd, eller overgått, nøyaktighetsspesifikasjonene.

*(Gregory Walsh, januar 2011)*

## 6 Praktisk utførelse av prosjektet

### 6.1 Et optimalt testområde

Testfeltet vil være området som brukes når man skal teste skanneren opp mot fasit. Selve poenget med testfeltet er å kunne finne ut hvor nøyaktig en skanner måler og om det trengs en kalibrering av instrumentet. En skanner med store avvik i målingene kan få store følger både for oppdragstaker og oppdragsgiver. I verste fall kan store feil på skanneren føre til feilproduksjon og forsinkelser i pågående prosjekt. Dette vil igjen kanskje føre til at andre aktører blir forsinket med sitt arbeid.

Det ble tidlig i planleggingsfasen fastslått at testfeltet måtte være innendørs. Fordelene med et innendørs testfelt er store. Man er skjermet for vær og vind, man har en stabil temperatur og fast grunn. Dette er faktorer som kan påvirke målinger mye og kan være grunn til feilkilder som man må korrigere for. Man ønsker i størst mulig grad å redusere ytre faktorer som kan påvirke resultatet. Naturligvis er menneskelig feil fortsatt en feilkilde.

Det vil også være en fordel med et testfelt der man skanner mot flater som reflekterer mest mulig lys. Derfor vil lyse/hvite flater være optimalt. På hvite flater har en skanner 90% Albedo (*Albedo kan det leses mer om i avsnitt 5.3*) som gir en nøyaktighet på 2mm på en distanse opp til 25 meter. Hvite flater må ikke forveksles med blanke flater (som ventilasjonsrør ol.). Blanke flater gir ofte mye støy i en punktsky, og er dermed vanskelige å beregne en nøyaktig dimensjon på.

Ettersom testfeltet vil være i bruk av et offshorefirma vil installasjoner av rørsystemer være aktuelt. En stor del av arbeidet deres er nettopp å modellere kompliserte rørsystemer, som består av rør i mange ulike dimensjoner og fasonger. Posisjonen og dimensjon på det som blir målt og modellert er meget viktig, da det ofte er minimalt med plass for plassering av nye systemer på en oljeplattform. I testfeltet vil man ha rør og søyler som vil være innmålt med totalstasjon slik at en har en nøyaktig fasit på diameteren. Etter ett skann sammenligner man punktskyen mot fasiten og modellerer rør/søyler.

I et optimalt testfelt ville man hatt permanent punkt der man kunne plassere instrumentet. Med dette menes det en søyle, eller annet fastpunkt, som er støpt eller boltet fast til grunnen. Dette ville gjort at en kunne utført testene på nøyaktig samme måte fra gang til gang, samt at det ville vært enklere å kontrollere avstander.

I tillegg bør testfeltet kontrollmåles med jevne mellomrom for å forsikre seg om at det ikke har vært noen endringer. Det kan være at et fastmerke har blitt flyttet, at det er bevegelse i grunnen eller at selve konstruksjonen har hatt en liten forflytning. Dette er nok lite sannsynlig at vil bli noe problem, men det tas høyde for at faren likevel er tilstede.

Det er forstående at det i praksis vil være en rekke begrensninger for å kunne opprette ett slikt område. Først og fremst bør man ha et område som omtrent er spesialtilpasset formålet. Hvis det likevel skulle vise seg at det allerede var et område som var godt egnet ville det kreve en del utbedringer før det ble slik vi har diskutert over. En måtte også hatt tilgang på en del midler for å gjennomføre det. Hvis det finnes egnede områder, vil en nesten uansett måtte gjøre noen grep for å få optimale forhold som beskrevet over.

### **6.2 Tanker rundt testfeltet som skulle benyttes i oppgaven**

Det var tenkt at en av veggene i testfeltet skulle bli innmålt med totalstasjon, for å kunne bestemme dimensjonen og koordinater på ulike punkter plassert langs veggen mest mulig nøyaktig. Koordinatene på veggen skulle deretter bli rotert inn i et lokalt koordinatsystem. Når punktskyen var plassert i samme koordinatsystem ville man kunne hente ut koordinater på de samme punktene og sammenligne med fasiten.

Testfeltet vil ha et lokalt koordinatsystem, det vi kaller for grid. Griden vil være innmålt med totalstasjon. Ved hjelp av griden vil en kunne måle inn targets som blir brukt til laserskanning. Targets er sorte og hvite papirark som programvaren gjenkjenner og georefererer med griden som grunnlag. Eksempel på target er vist på bildet under.

Det er fordel med flest mulig synlige targets i hvert enkelt skann. Dette vil mest sannsynlig medføre at en vil få flere fellespunkter mellom de ulike oppstillingene. Derfor vil det bli plassert et overdrevet antall targets rundt i testfeltet. Man kan da etter behov lettere fjerne targets som har blitt innmålt med for stor unøyaktighet. En jobber med tanken om at 'flere målinger gir bedre resultat'.

En måler også inn rør/søyler og andre basispunkt i griden, slik at alt blir rotert inn i samme koordinatsystem. Slike punkter har ingen påvirkning når man gjør selve beregningene.

### **6.3 Beskrivelse av testområde brukt i oppgaven**

Vårt testområde er lokalisert i et innendørs garasje anlegg på ca. 1400m<sup>2</sup>. Garasjeanlegget blir bare brukt av Aker Solutions ansatte, hovedsakelig til bruk for parkering av biler og sykler, men også gjennomgang og frakt av ulike typer utstyr. Med andre ord, et trafikkert område. Vi skjønnte fort at det å utføre skann i vanlig arbeidstid (i tidsrommet 7-17) var utelukket, da vi ville få for mye forstyrrelser rundt oss. Biler som kjører i nærheten av

instrumentet kan risikere å forandre posisjonen dens. I tillegg så ville vi fått for mye støy i punktskyen og mange av targetene vi plasserte rundt ville ikke vært synlige grunnet biler som var parkerte i



**Figur 10 - Eksempel på target**

veien. Vi valgte derfor å skanne etter arbeidstid. Vi fant ut at jo senere vi skannet jo mindre trafikk var det.

Siden garasjeanlegget kun er brukt av Aker Solutions har de brukt lokalet til enkle kalibreringer og andre tester av totalstasjoner. Det finnes derfor mange refleksteip plassert rundt omkring som blir brukt som fastmerker til etablering av stasjon for disse testene. Disse tok vi nytte av for innmåling av våres grid, som vi brukte til etablering av sort/ hvitt targets og basis punkter.

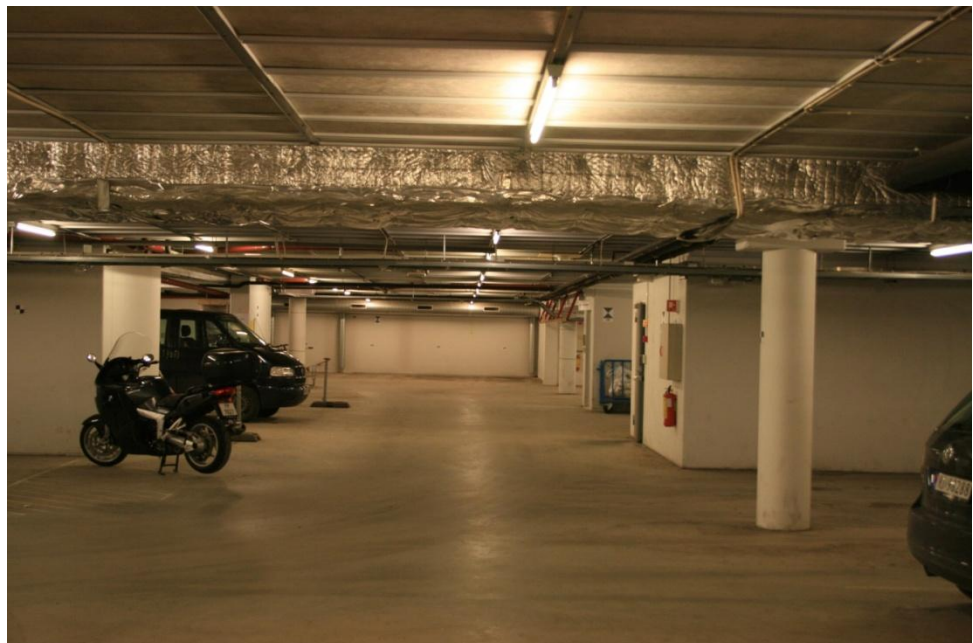
Vi valgte ut en vegg og to søyler der vi målte inn basispunkter med totalstasjon.

Søylene står omlag 12 meter vekk fra veggen vi valgte som basis. I griden vil det si 12 meter øst.

Hver av søylene har en diameter på ca. 450 mm og er ca 2,4 meter høy, her regner vi med det som er synlig av søylene. Det er ca. 7 meter mellom de to utvalgte søylene. Det er

tilsammen 14 omtrent identiske søyler i garasje anlegget.

Veggen står i enden av en lang "korridor", som også er det lengste strekket i garasjen. Samme vegg valgte vi ut



**Figur 11 - Testområde brukt i oppgaven**

som nordakse i griden vår, derfor målte vi inn denne veggen to ganger. Den er ca. 2 meter høy og ca. 16 meter lang. Til innmåling av basispunkter brukte vi bare halvparten av veggen.



Lengden på strekket vi plasserte skanneren nedover er på er 47 Meter. Dette er også den største avstanden vi hadde mellom targets. Vi valgte ut 5 steder å plassere skanneren på og måle fra, men siden garasje anlegget ikke er kvadratisk/ symmetrisk, var det "restriksjoner" på hvor vi kunne plassere oss. Targets som ikke var synlige bak hjørner var et stort problem for oss, og det er viktig å få med mest mulig targets i hvert skann. Derfor ser avstandene fra vegg til laser skanner slik ut; 8,33m – 19,08 m– 25,65 m– 34,82m- 37,24m.

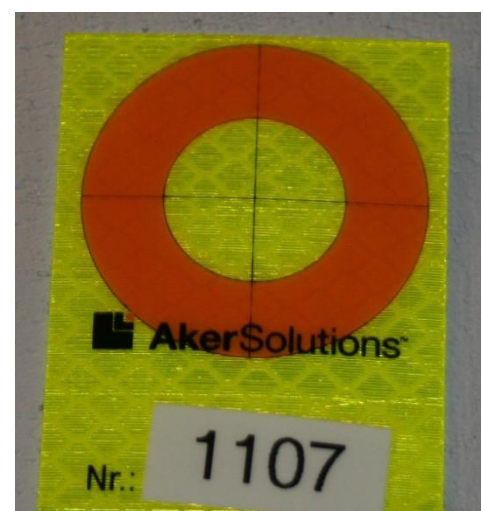
#### 6.4 Etablering av grid

Når man måler inn et gridsystem, setter man sammen flere stasjoner vha. transformasjon i beregningsprogrammet som brukes (SC4W). Man definerer deretter selv retninger og elevasjoner i forhold til hva som er hensiktsmessig. Dette gjøres enkelt ved at man måler inn noen enkeltpunkter på to vegger som står vinkelrett på hverandre. I tillegg gjør man det samme med gulvet for å definere 0 – høyden til gulvet. Hvis en ikke roterer griden vil en komme ut med et system der alt er vridd, og høydene er helt tilfeldige. I teorien har dette ingenting å bety, men det viser seg at det blir fort vanskelig å jobbe med koordinater som er lite logiske.

SC4W er et beregningsprogram for beregning av grid, samt dimensjonskontroll av rør. Denne programvaren ble benyttet for etablering av grid i denne oppgaven. Det finnes sikkert flere lignende programmer som har de samme funksjonene som SC4W. Forfatterne av oppgaven har parallelt med denne oppgaven laget en brukermanual for SC4W.

I de fleste tilfeller når man utfører skanning, har man allerede eksisterende grid, som er nøyaktig bestemt fra før. Selve griden består gjerne av relativt få punkter, men likevel mange nok til at man får god geometri i målingene. Merkene man måler mot er kun markert med små papirlapper, som vist på bildet.

I SC4W kan man kombinere alle innmålinger som er gjort med utgangspunkt i en fil med innmålinger. Målinger man



Figur 12 - Fastmerke for grid

da supplerer med vil da rotere seg inn i samme systemet. Når alle målinger er lastet inn kan man begynne å bestemme akser. Som sagt tidligere, målte vi inn punkter langs to vegger som vi definerte som nord og øst akse. Når man da velger de punktene man har valgt ut som nord akse og bestemmer dem mot nord, vil resten av punktene i filen rotere etter, avstandene mellom punktene forblir den samme. Det samme gjelder for plan, men i stedet for å rotere griden forandrer man bare høyden. Her korrigerste vi også lengden på magneten, alle målingene gjort med magnet ble korrigert med 40mm i riktig retning. Det er viktig å sørge for at man vet hvilken retning man jobber i slik at punktene ikke blir korrigert feil, da vil man få problemer senere når man kombinerer filen med en punktsky. Filen man får ut av SC4W inneholder selve griden med både fastmerker og targets, denne kombineres med punktskyene i Cyclone for sammensetting av skanne, disse blir da rotert etter griden.

Hvis jobben skulle blitt gjort på en plattform ville griden antageligvis allerede vært etablert. Da hadde en brukt en eksisterende fastmerkefil som grunnlag, og alle nye targets ville blitt rotert inn i det eksisterende systemet. En ville da i utgangspunktet ta det forgitt at det eksisterende fastmerkegrunnlaget oppfyller tilfredsstillende krav til nøyaktighet. Hvis en likevel skulle få indikasjoner på at det var feil i nettet ville dette naturligvis blitt sett nærmere på. Normalt får en da avvik i størrelsesorden 1 – 3mm. Feil utover dette må en eventuelt sjekke ut og rette opp.

### **6.5 Krav til nøyaktighet ved etablering av grid**

Det ble i oppgaven hentet inn informasjon fra Aker Solutions om hvilke krav til nøyaktighet de stiller når de etablerer grid offshore, og da spesielt etablering av det de kaller mastergrid. En mastergrid kan på mange måter sammenlignes med hovednettet vi har av fastmerker på landjorda. Det er de som danner utgangspunktet for andre midlertidige fastmerker. Det ble tidligere nevnt at griden ble markert med små papirlapper. Disse kan enkelt fjernes, og på en oljeplattform blir de ofte malt over siden de som maler ikke vet hva det er. Mastergriden blir markert med små stålplater og er derfor mer synlige. De er i tillegg ofte markert med firmanavn til eieren av plattformen, for eksempel Statoil.

Etablering av en slik grid er et stort og omfattende arbeid siden man skal etablere nettet over et stort område som består av utallige rom og dekk. En starter alltid på laveste punkt på plattformen og jobber seg oppover.

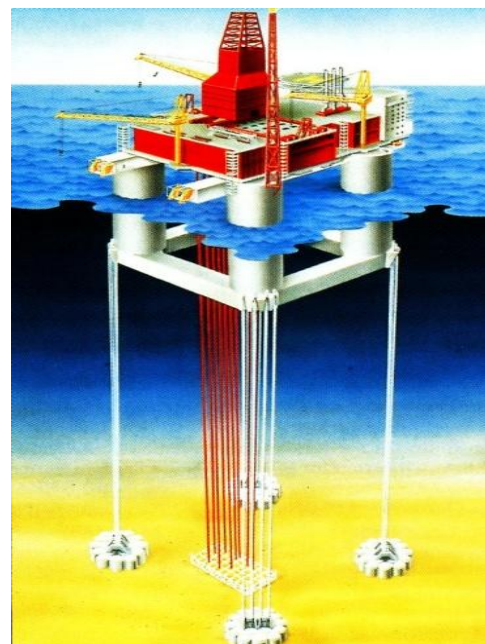
Under etableringen deler en plattformen inn i flere områder. Nøyaktighetskravet innad i hvert slikt område er på  $\pm 3$  millimeter. Globalt, det vil si hele plattformen, er kravet  $\pm 15$  millimeter. Man oppnår likevel ofte en nøyaktighet som er en god del bedre enn det. I ett og samme område er nøyaktigheten oftest  $\pm 1-2$ mm.



Figur 13 - Troll A

## 6.6 Gjøre målinger uten bruk av kompensator

Når en gjør målinger på en plattform, eller annen flytende konstruksjon måler en alltid uten bruk av kompensator. De aller fleste totalstasjoner blir i dag levert med det vi kaller kompensator. Når man gjør målinger på landjorda vatrer man alltid opp totalstasjonen ved hjelp av en justeringsmekanisme/ trefot og en libelle. I tillegg har totalstasjonen en innebygget justeringsmekanisme som juster enda mer nøyaktig enn hva en person klarer. Dette fungerer utmerket så lenge man befinner seg på grunn der det ikke er noen form for bevegelse. Men på en oljeplattform er det alltid en viss bevegelse, og da spesielt på de som er konstruerte som flyterigger. Det vil si at plattformen flyter, og er forankret til



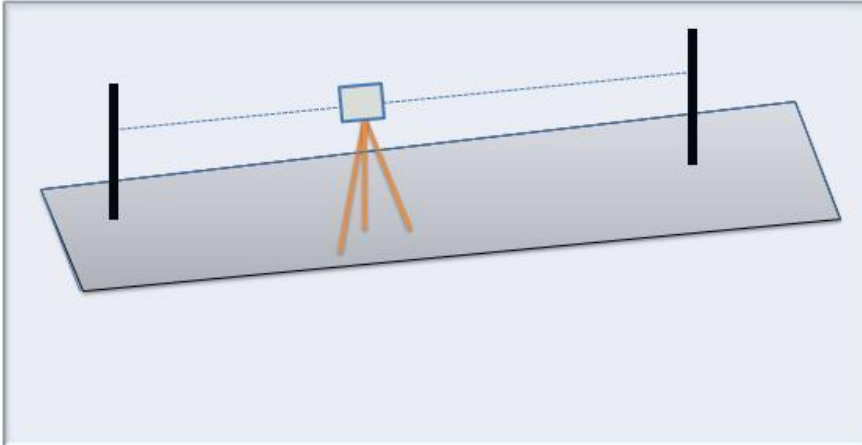
Figur 14 - Heidrun

havbunnen. Den andre typen er betongplattformer som er en hel betongkonstruksjon som står fast på havbunnen. På bildene ser vi animasjoner av Heidrun som er en flyter, og Troll A som er en betongkonstruksjon. Det finnes også flere typer konstruksjoner, men dette er de to hovedtypene.

Det er naturligvis langt mer bevegelse om bord på en flyter enn på en som står på havbunnen. På en båt/ lekter vil det være enda mer bevegelse, siden den også har en mer levende konstruksjon som vrir seg. Det er også en viss bevegelse på en plattform som står på havbunnen. Bevegelsene skyldes først og fremst vind og bølger, men også store maskiner som gjør at konstruksjonen får en viss bevegelse.

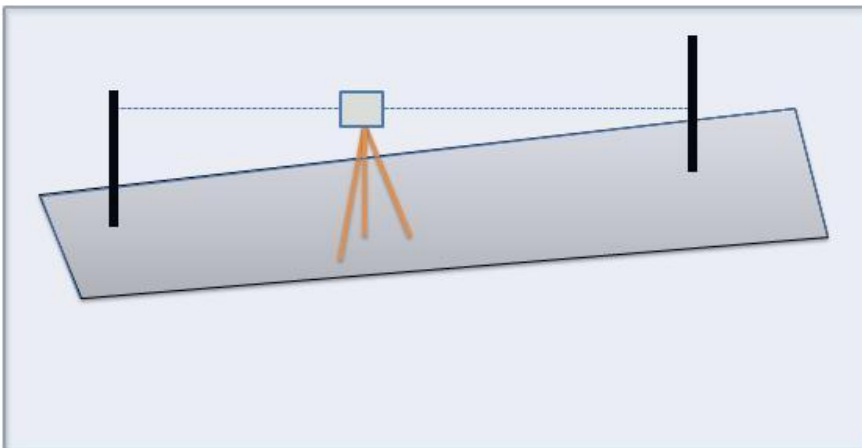
At en ikke skal bruke kompensator er ofte en utfordring mange finner vanskelig å forstå. Spesielt for folk med kunerfaring fra tradisjonell landmåling som foregår på jorda. Der er man alltid svært nøye med å vatre opp instrumentet. Det er viktig å merke seg at det er ingenting i veien for å vatre opp instrumentet når en gjør oppmålinger på bevegelige konstruksjoner. Det eneste en ikke kan gjøre er å bruke kompensatoren. Kompensatoren fungerer slik at den hele tiden prøver å justere instrumentet til å stå plant. Hvis en da står på en lekter som gynger og ser gjennom okularet ville en sett av det en ser mot ville beveget seg. Det er under gjort et forsøk på å illustrere prinsippet som gjør at det ikke lar seg gjøre å bruke kompensator på en flytende konstruksjon.

Under er det gjort et forsøk på å illustrere hvordan en gjør når en måler uten bruk av kompensator. Instrumentet og målingene blir da gjort ut i fra det planet man virkelig befinner seg i. Dette medfører at en vil oppnå målinger som stemmer internt. En kan her tenke seg at en befinner seg på en båt der en skal sikte til i samme høyde to pinner som står på dekk. En ser her at siktet treffer i samme høyde på begge stolpene.



**Figur 15 – Måling på flytende konstruksjon uten bruk av kompensator**

Nedenfor ser vi følgene av å bruke kompensator på en flytende, eller en bevegelig konstruksjon. En tenker seg her at en i utgangspunktet forsøker å sikte mot samme punkt på den sorte stolpen. Hvis en da forestiller seg at disse to pinnene skulle blitt kuttet i samme høyde fra dekk, kunne resultatet blitt veldig galt hvis en bruker kompensator!



**Figur 16 - Måling på flytende konstruksjon med bruk av kompensator**

## **6.7 Innmåling av targets**

Innmålingene ble utført med en totalstasjon (TPS 1100). For å gjøre det mest likt metodene til Aker Solutions ble innmålingene utført uten bruk av kompensator (som beskrevet i avsnitt 6.6) og punktene ble innmålt uten stasjonsetablering. Målemetoden som ble brukt var satsmåling. Vi foretok en helsats der alle fastmerkene ble målt inn. For å måle inn samtlige punkter måtte det gjøres fire oppstillinger. Med satsmåling blir alle punktene innmålt to ganger (en måling i hver kikkertstilling). Med fire oppstillinger ble noen punkter

innmålt åtte ganger. Det er stor fordel med flest mulig fellespunkter i hver oppstilling siden man da har mer kontroll over nøyaktigheten på resultatet. For å kunne georeferere punktskyen etter ett skann trengs det også et fastmerkenettverk for skanneren, "targets". Disse ble også innmålt sammen med fastmerkene for griden. Targetene setter man opp selv etter behov da de er meget enkle å plassere rundt og flytte på. Alt ble innmålt prismeløst direkte på alle fastmerker og targets.

Innmålingen av targets ble gjort på en litt annerledes måte enn ved innmåling av fastmerker. For å få nøyaktig senter av targets for hver gang vi målte dem brukte vi Aker Solutions sine magneter. Disse magnetene er for det meste i bruk for innmåling av rør, men har full funksjonalitet til vår bruk også. Magnetene har en fot som er nøyaktig 30 millimeter. Vi tegnet en ring med diameteren 30 millimeter i hver enkelt target. På den måten kunne vi enkelt måle eksakt på samme sted hver gang vi målte inn targetene. Siden magnetene har en høyde 40 mm er dette noe vi måtte ta hensyn til og korrigere for i ettertid.



Figur 17 - Eksempel på skann med high oppløsning



Figur 18 - Eksempel på skann med highest oppløsning

### 6.8 Skanning med ulik oppløsning

Samtlige skannble gjort med to oppløsninger, high og highest. Dette ble gjort for å kontrollere om en kunne oppnå bedre resultater ved bruk av høyere oppløsning. Det er klare ulemper ved bruk av høyere oppløsning. Den klart største utfordringen er de store datamengdene en får ved å øke oppløsningen (Se avsnitt 5.6.1). Hvis det derimot skulle vise seg at en oppnår bedre resultat, vil det klart veie opp for ulempene de store datamengdene medfører.

En annen tanke var om en kunne klare å registrere targetene mer nøyaktig ved høyere oppløsning. Og da spesielt target på lengre avstander siden det er en kjent utfordring ved bruk av "short range" skanner. Targetene blir lett uklare og programvaren har problemer med å definere senter i target. På bildene er det gjort et forsøk på å demonstrere denne problemstillingen. Dette er samme target sett fra samme avstand, men med ulik oppløsning.

## 6.9 Standardisert metode for kontroll

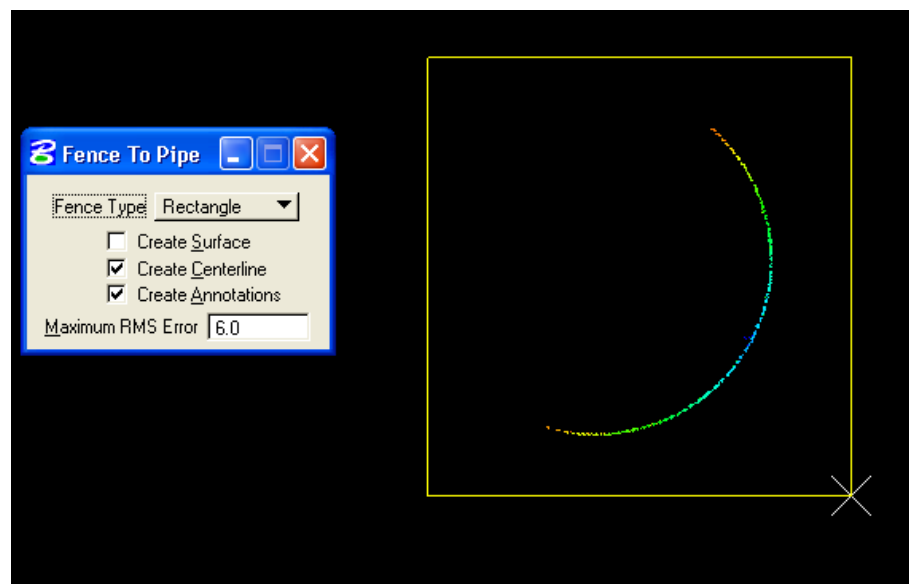
Det var fra starten klart at det måtte lages en standardisert metode for analyse av dataene en samler inn etter man har gjort skanningen. I dette ble det lagt til grunn flere kriterier:

- Måtte være lagt opp slik at testene ble gjort på mest mulig identisk måte fra gang til gang.

Figur 19 - Snitt av søyle sett ovenfra

- Måtte være en metode som gikk relativt fort.

- Måtte være en metode lagt opp slik at flere personer kunne

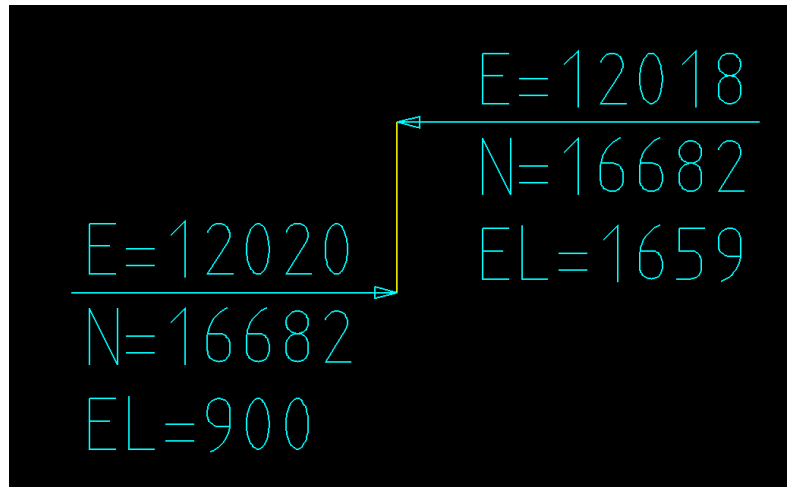


gjennomføre testen, og at man ikke var avhengig av at en spesiell person skulle utføre testen.

Med overnevnte kriterier ble gruppen enig om at det skulle lages en DGN fil, som skulle fungere som en mal. En DGN fil er eksporteringsformatet til Microstation.

Oppmålingsavdelingen i AkerSolutions har en tilsynelatende tom DGN fil, (seed3d.dgn) som blir brukt som grunnlag for alle nye prosjekter. Denne inneholder parametere for AkerSolutions som bedrift generelt, samt spesifikke innstillinger for oppmålingsavdelingen.

Figur 20 - Eksempel på dgn fil



Det ble tatt en beslutning om å lege en slik enkel DGN fil der en kunne gå inn å gjøre beregningene på en svært enkel og rask måte. Det eneste vår fil inneholder er piler som markerer hvor en skal gjøre snittet i punktskyen. Pilens spiss viser hvor den innmålte høyden på søylen ligger, som vist i bildet under. Resultatet etter snittingen ser man over der en ser en søyle sett ovenfra.

Den standardiserte filen ble brukt for analyse av alle dataene våre, og er fortsatt tilgjengelig for senere bruk.

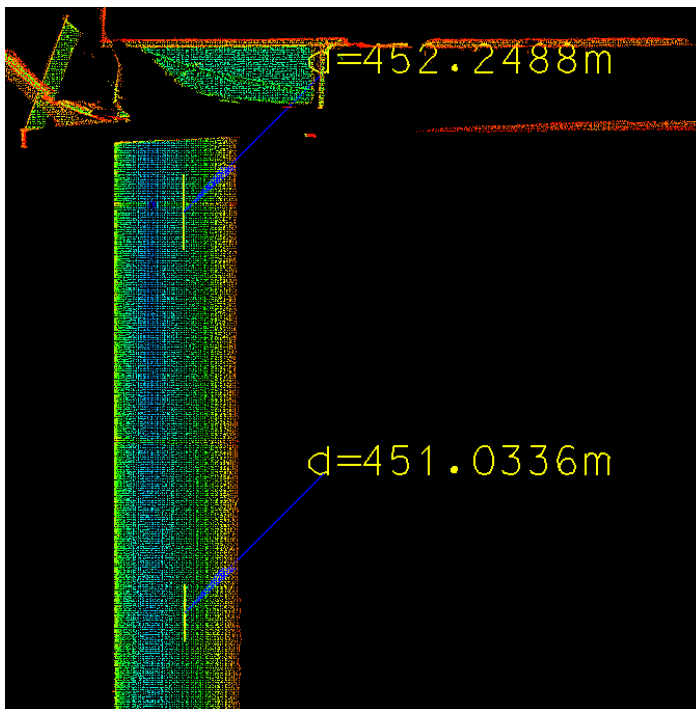


## 7 Fremgangsmåte for uthenting av resultater fra punktsky

### 7.1 Dimensjonskontroll

For å hente ut resultatene til dimensjonskontrollen ble i første omgang metoden som beskrevet i avsnitt 6.8 brukt. Siden det var en søyle i betong som skulle måles, ble det besluttet at dimensjonskontrollen måtte gjøres i nøyaktig samme høyde for hver gang. Det begrunnes med at en ikke kan være helt sikker på om en betongkonstruksjon er helt sylindrerformet, og dimensjonen kan teoretisk sett være ulik oppe og nede. Dette ble løst ved at koordinatene fra dimensjonskontrollen gjort med totalstasjon/ SC4W ble benyttet. Der var det beregnet en dimensjon i en høyde definert på millimeternivå. Når man da kombinerte dette med den georefererte DGN fila som beskrevet i avsnitt 6.8 kunne man hente ut resultatene fra nøyaktig samme sted i punktskya fra gang til gang.

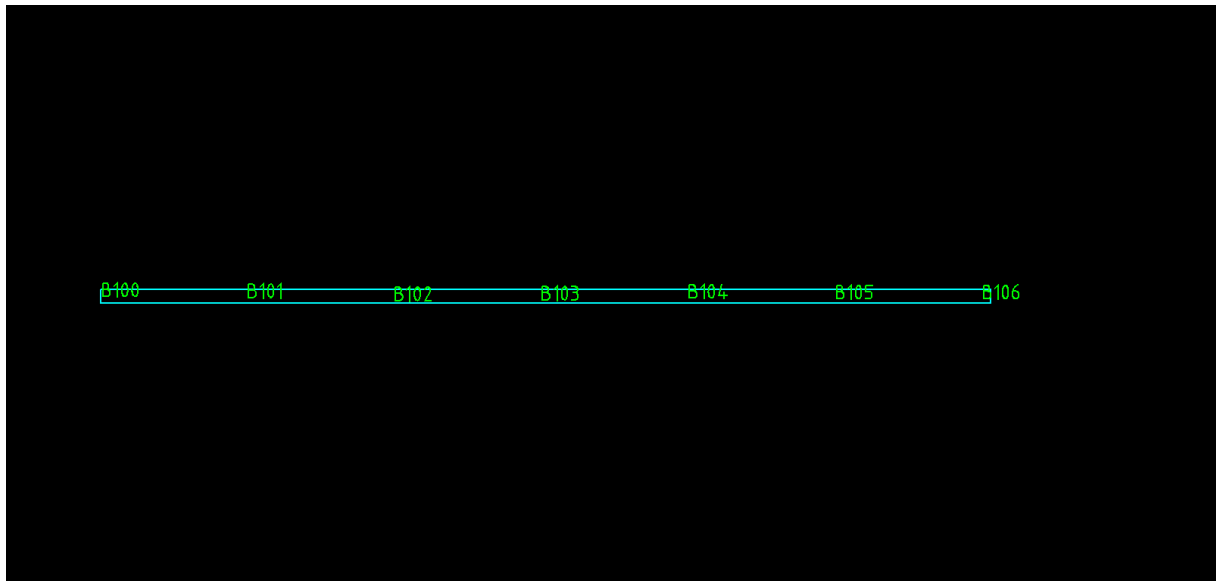
Etter at man har laget et snitt i punktskyen i ønsket høyde, er det bare å bruke en enkel funksjon i Microstation som kalles "Fence to Pipe". Resultat ser man under. Samme prosedyre ble brukt for begge søylene.



Figur 21 - Skjermdump fra punktsky

## 7.2 Basispunkter på vegg

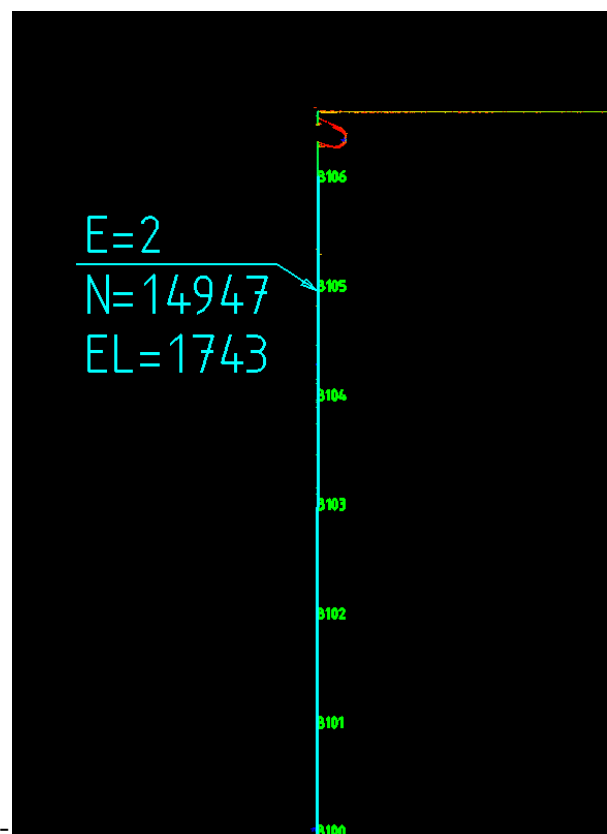
Sammedgn fil ble brukt for hvert skann. I filen ble det modellert en vegg rundt punktene, ca. 0,10m x 6m. Veggene ble laget ut i fra punktene rundt basispunktene i punkttskyen. For hvert skann ble en ny vegg modellert på eksakt samme sted som "malen". Dette ble gjort fordi veggene må sammenlignes med hver punkttsky.



Figur 22 - Dgn fil med basispunkter

Vi brukte to metoder for å hente ut data fra veggene.

- Finne koordinat til nærmeste punkt til basis punkt fra punkttsky
- Hente ut koordinater fra modellert vegg, fra samme nord koordinat som basispunktene.



Figur 23 - Vegg i punkttsky sett ovenfra

## **8 Resultater**

Under følger alle resultatene fra dimensjonskontrollen av søylene og uthenting av koordinatverder, som ble brukt som fasit i oppgaven. Fremgangsmåte for uthenting av resultatene står beskrevet i avsnitt 7.1 og 7.2. Resultatene er delt inn i to hoveddeler.

### *Sammenligning dimensjonskontroll*

- Avvik fra fasit i hvert enkelt skann. Her inngår alleskann gjort både med high og highest oppløsning
- Sammenligning av resultat ved bruk av ulik oppløsning. Her blir alle skann gjort på high og highest sammenlignet opp mot hverandre for eventuelt å avdekke forskjell i nøyaktighet
- Sammenligning av standardavvik ved bruk av ulik skanner. Her vel eventuelle variasjoner i resultatene komme mer til syne enn i de to overnevnte analysene.

### *Sammenligning av resultat ved uthenting av koordinat*

- Uthenting fra punktsky
- Uthenting fra modellert vegg

Med raden som heter "samlet" menes det at alle skann fra denne oppstillingen er satt sammen til én punktsky.

All diskusjon av resultatene kommer i eget avsnitt etter resultatene.

### *Forklaring til tabellene:*

"Topp" og "Bunn" viser diameter av søyle beregnet fra punktsky.

“Fasit topp” og “Fasit bunn” er diameter av søyle målt med totalstasjon.

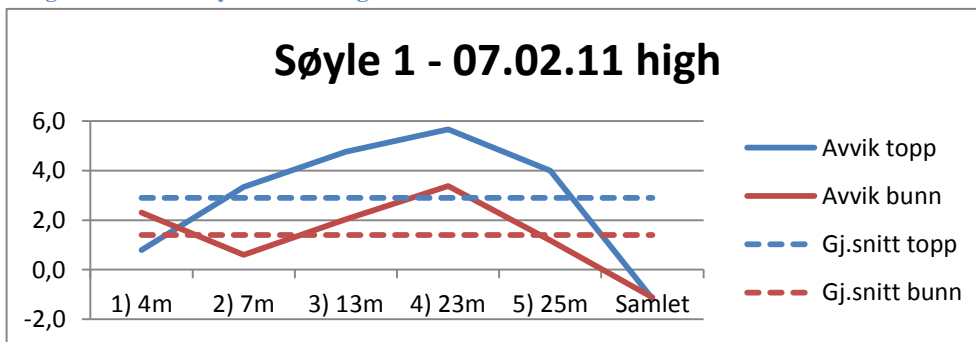
## 8.1 Avvik i hvert enkelt skann (dimensjonskontroll)

### 8.1.1 07.02 High

Tabell 3 – Avvik søyle 1 07.02 High

Avstand	Topp	Fasit topp	Avvik topp	Bunn	Fasit bunn	Avvik bunn
1) 4m	227,20	226,4	0,7952	229,20	226,9	2,30
2) 7m	229,74	226,4	3,3358	227,50	226,9	0,60
3) 13m	231,15	226,4	4,7522	228,94	226,9	2,04
4) 23m	232,05	226,4	5,6545	230,27	226,9	3,37
5) 25m	230,40	226,4	3,9976	228,08	226,9	1,18
Samlet	225,23	226,4	-1,168	225,78	226,9	-1,12

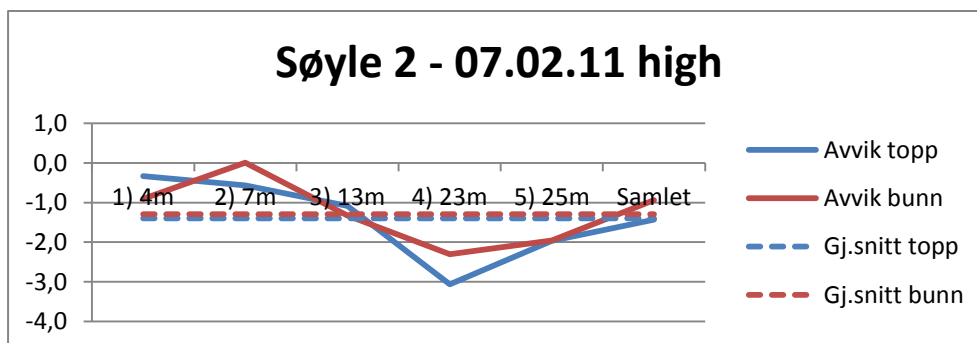
Figur 24– Avvik søyle 1 07.02 High



Tabell 4 – Avvik søyle 2 07.02 High

Avstand	Topp	Fasit topp	Avvik topp	Bunn	Fasit bunn	Avvik bunn
1) 4m	226,364	226,700	-0,336	225,489	226,400	-0,911
2) 7m	226,132	226,700	-0,568	226,405	226,400	0,005
3) 13m	225,613	226,700	-1,087	225,073	226,400	-1,327
4) 23m	223,643	226,700	-3,057	224,101	226,400	-2,299
5) 25m	224,739	226,700	-1,961	224,441	226,400	-1,959
Samlet	225,268	226,700	-1,432	225,458	226,400	-0,942

Figur 25- Avvik 07.02 søyle 2 High

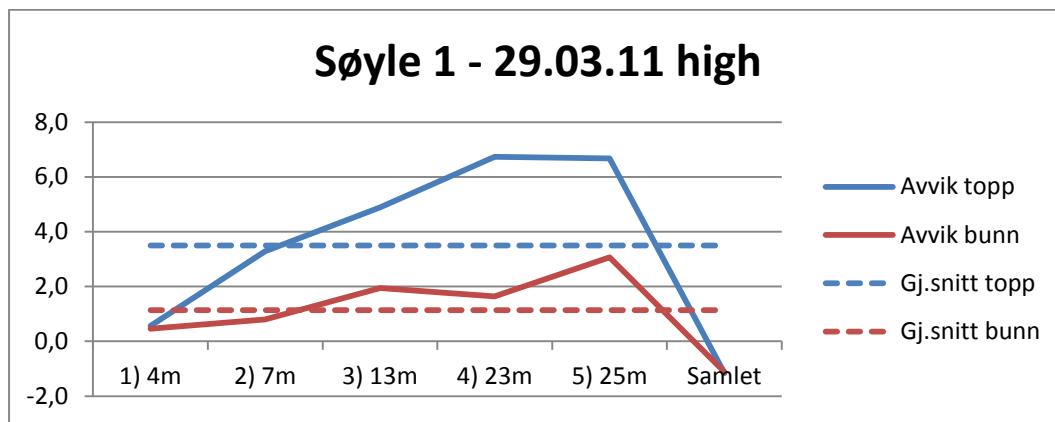


8.1.2 29.03 High

Tabell 5 - Avvik 2903 søyle 1 high

Avstand	Topp	Fasit	Avvik topp	Bunn	Fasit2	Avvik bunn
1) 4m	226,966	226,400	0,566	227,366	226,900	0,466
2) 7m	229,687	226,400	3,287	227,695	226,900	0,795
3) 13m	231,291	226,400	4,891	228,844	226,900	1,944
4) 23m	233,138	226,400	6,738	228,545	226,900	1,645
5) 25m	233,074	226,400	6,674	229,966	226,900	3,066
Samlet	224,785	226,400	-1,168	225,303	226,900	-1,116

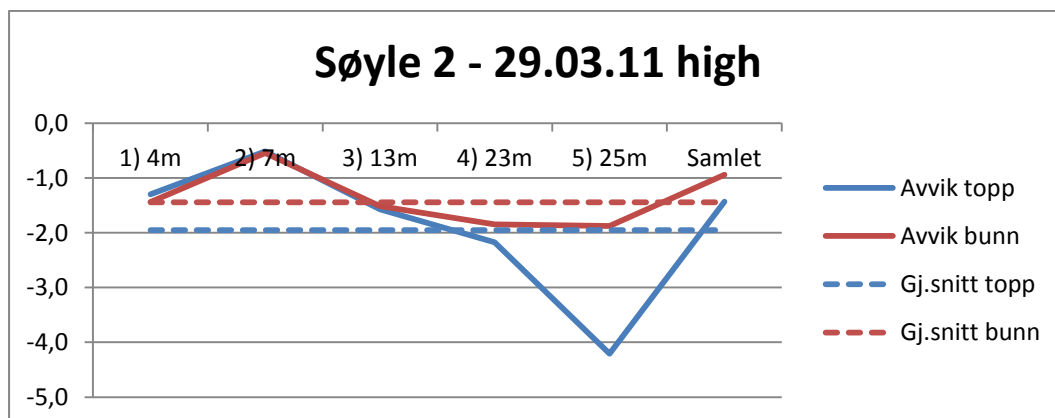
Figur 26 - Avvik 2903 søyle 1 high



Tabell 6- Avvik 2903 søyle 2 high

Avstand	Topp	Fasit	Avvik topp	Bunn	Fasit2	Avvik bunn
1) 4m	225,400	226,700	-1,300	224,964	226,400	-1,436
2) 7m	226,184	226,700	-0,516	225,856	226,400	-0,544
3) 13m	225,124	226,700	-1,576	224,886	226,400	-1,514
4) 23m	224,523	226,700	-2,177	224,549	226,400	-1,851
5) 25m	222,490	226,700	-4,210	224,523	226,400	-1,877
Samlet	224,881	226,700	-1,432	225,270	226,400	-0,942

Figur 27 - Avvik 2903 søyle 2 high

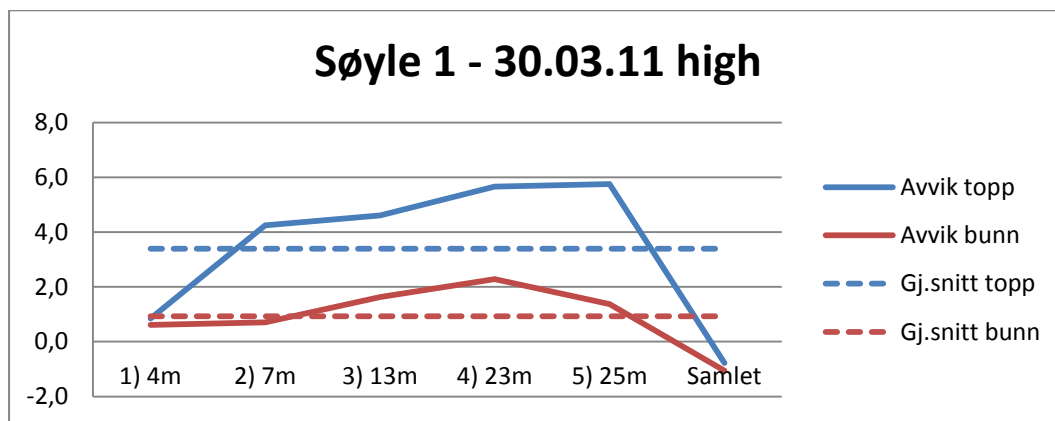


8.1.3 30.03 High

Tabell 7 - Avvik 30.03 søyle 1 high

Avstand	Topp	Fasit topp	Avvik topp	Bunn	Fasit bunn	Avvik bunn
1) 4m	227,244	226,400	0,844	227,513	226,900	0,613
2) 7m	230,650	226,400	4,250	227,605	226,900	0,705
3) 13m	231,012	226,400	4,612	228,529	226,900	1,629
4) 23m	232,059	226,400	5,659	229,186	226,900	2,286
5) 25m	232,151	226,400	5,751	228,270	226,900	1,370
Samlet	225,625	226,400	-0,775	225,843	226,900	-1,057

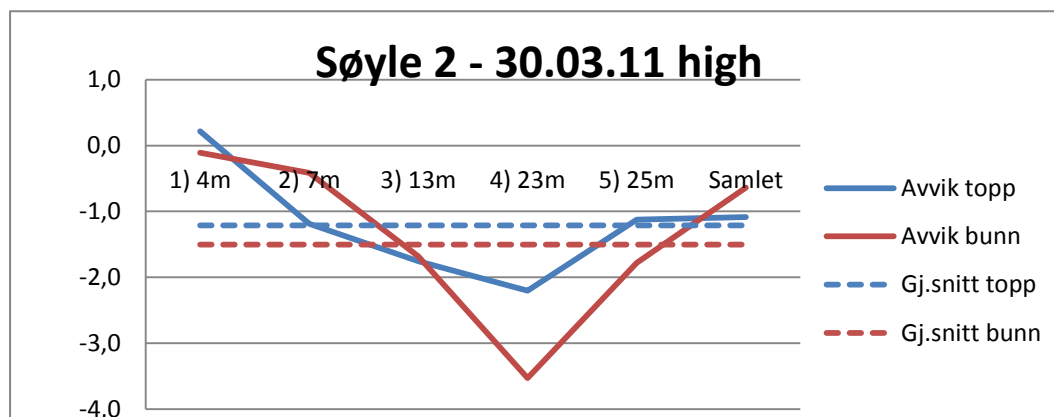
Figur 28- Avvik 30.03 søyle 1 high



Tabell 8- Avvik 30.03 søyle 2 high

Avstand	Topp	Fasit topp	Avvik topp	Bunn	Fasit bunn	Avvik bunn
1) 4m	226,915	226,700	0,215	226,291	226,400	-0,109
2) 7m	225,511	226,700	-1,189	225,982	226,400	-0,418
3) 13m	224,946	226,700	-1,754	224,719	226,400	-1,681
4) 23m	224,494	226,700	-2,206	222,870	226,400	-3,530
5) 25m	225,576	226,700	-1,124	224,619	226,400	-1,781
Samlet	225,614	226,700	-1,086	225,759	226,400	-0,641

Figur 29- Avvik 30.03 søyle 2 high

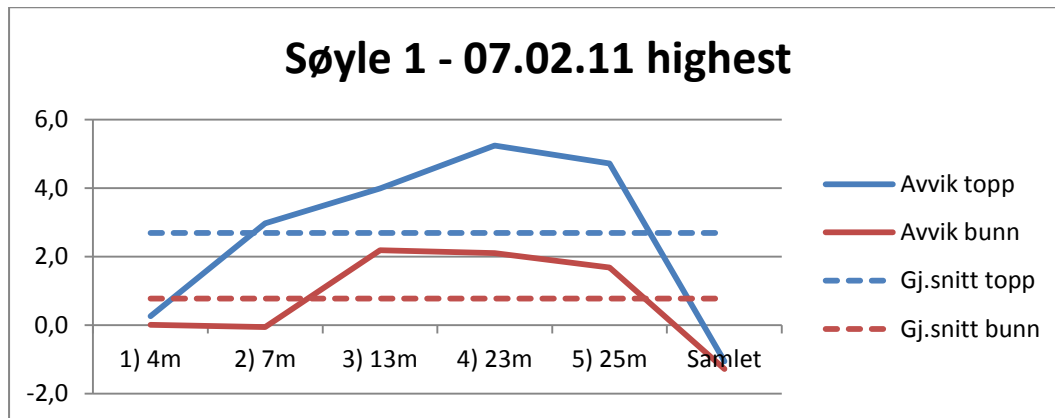


8.1.4 07.02 Highest

Tabell 9 - Avvik 07.02 søyle 1 highest

Avstand	Topp	Fasit topp	Avvik topp	Bunn	Fasit bunn	Avvik bunn
1) 4m	226,657	226,400	0,257	226,903	226,900	0,003
2) 7m	229,372	226,400	2,972	226,836	226,900	-0,064
3) 13m	230,392	226,400	3,992	229,084	226,900	2,184
4) 23m	231,637	226,400	5,237	229,002	226,900	2,102
5) 25m	231,112	226,400	4,712	228,578	226,900	1,678
Samlet	225,344	226,400	-1,056	225,615	226,900	-1,285

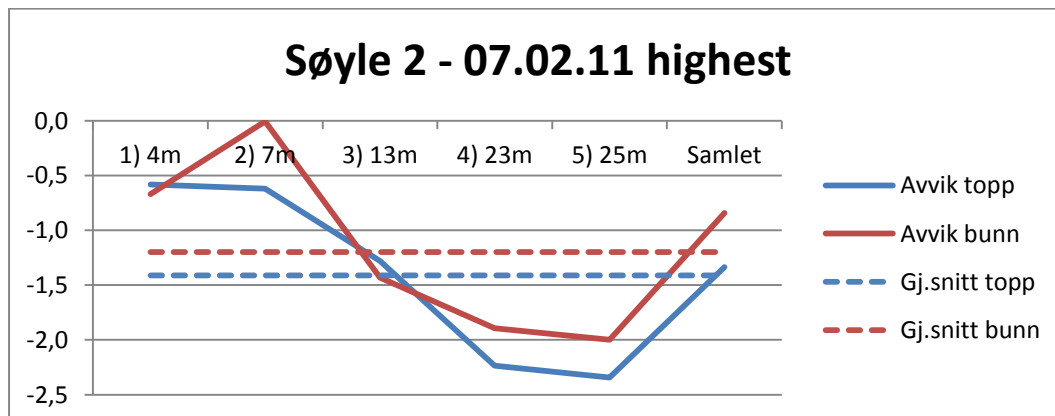
Figur 30 - Avvik 07.02 søyle 1 highest



Tabell 10 - Avvik 07.02 søyle 2 highest

Avstand	Topp	Fasit topp	Avvik topp	Bunn	Fasit bunn	Avvik bunn
1) 4m	226,118	226,700	-0,582	225,730	226,400	-0,670
2) 7m	226,079	226,700	-0,621	226,395	226,400	-0,005
3) 13m	225,421	226,700	-1,279	224,968	226,400	-1,432
4) 23m	224,464	226,700	-2,236	224,506	226,400	-1,894
5) 25m	224,358	226,700	-2,342	224,401	226,400	-1,999
Samlet	225,365	226,700	-1,335	225,559	226,400	-0,841

Figur 31 - Avvik 07.02 søyle 2 highest

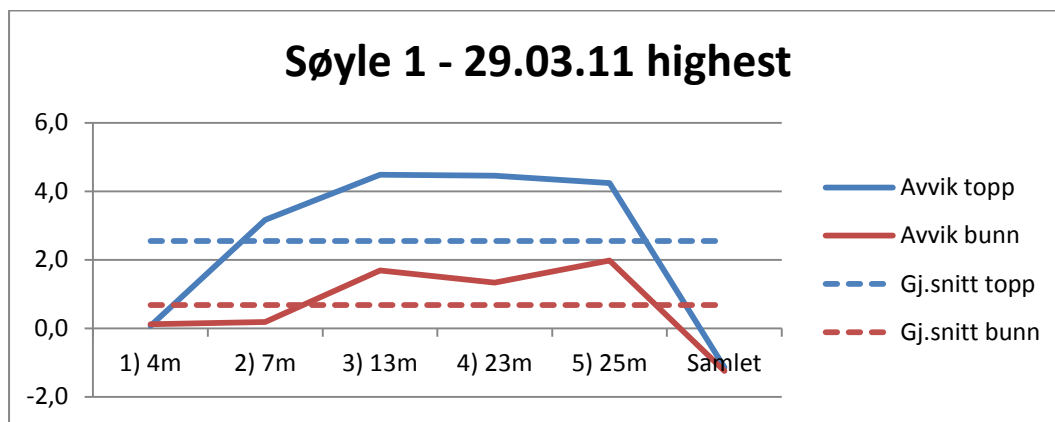


8.1.5 29.03 Highest

Tabell 11- Avvik 29.03 søyle 1 highest

Avstand	Topp	Fasit topp	Avvik topp	Bunn	Fasit bunn	Avvik bunn
1) 4m	226,471	226,400	0,071	227,017	226,900	0,117
2) 7m	229,565	226,400	3,165	227,083	226,900	0,183
3) 13m	230,879	226,400	4,479	228,586	226,900	1,686
4) 23m	230,853	226,400	4,453	228,231	226,900	1,331
5) 25m	230,638	226,400	4,238	228,882	226,900	1,982
Samlet	225,256	226,400	-1,144	225,656	226,900	-1,244

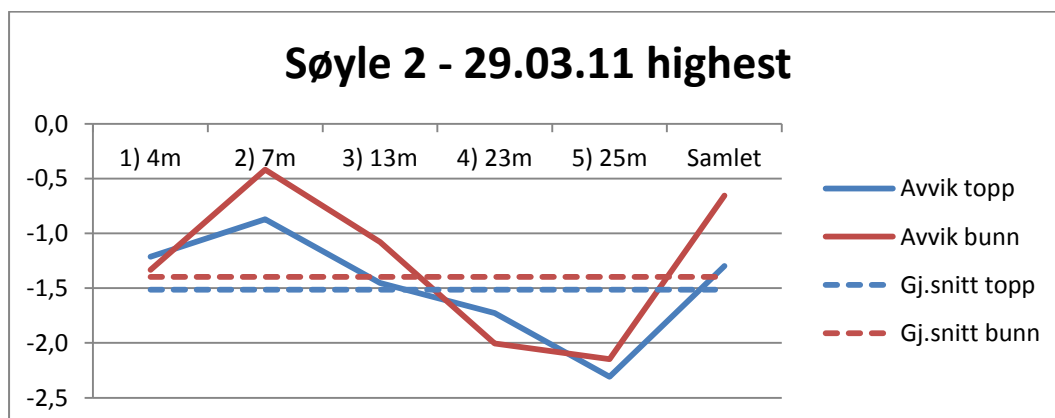
Figur 32- Avvik 29.03 søyle 1 highest



Tabell 12- Avvik 29.03 søyle 2 highest

Avstand	Topp	Fasit topp	Avvik topp	Bunn	Fasit bunn	Avvik bunn
1) 4m	225,487	226,700	-1,213	225,066	226,400	-1,334
2) 7m	225,828	226,700	-0,872	225,980	226,400	-0,420
3) 13m	225,247	226,700	-1,453	225,323	226,400	-1,078
4) 23m	224,974	226,700	-1,726	224,396	226,400	-2,004
5) 25m	224,390	226,700	-2,310	224,253	226,400	-2,148
Samlet	225,403	226,700	-1,297	225,746	226,400	-0,654

Figur 33- Avvik 29.03 søyle 2 highest



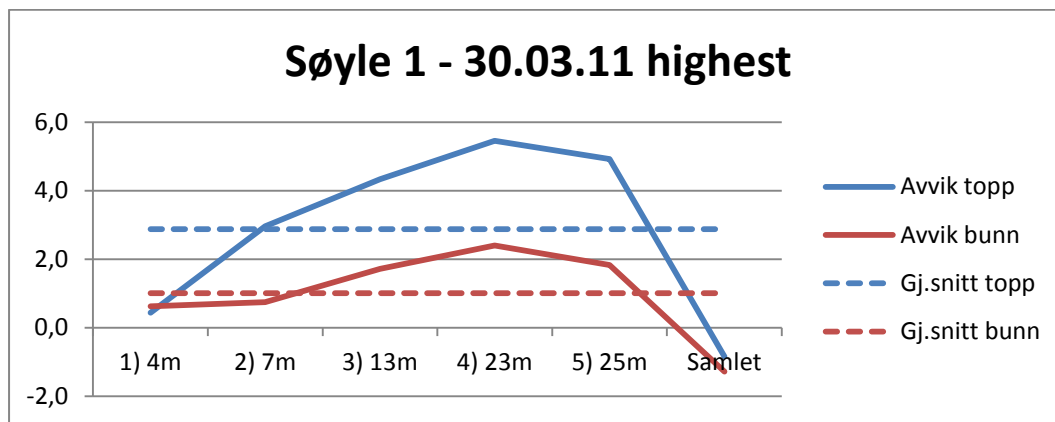


8.1.6 30.03 Highest

Tabell 13- Avvik 30.03 søyle 1 highest

Avstand	Topp	Fasit topp	Avvik topp	Bunn	Fasit bunn	Avvik bunn
1) 4m	226,838	226,400	0,438	227,520	226,900	0,620
2) 7m	229,362	226,400	2,962	227,649	226,900	0,749
3) 13m	230,737	226,400	4,337	228,618	226,900	1,718
4) 23m	231,853	226,400	5,453	229,303	226,900	2,403
5) 25m	231,321	226,400	4,921	228,729	226,900	1,829
Samlet	225,552	226,400	-0,848	225,620	226,900	-1,280

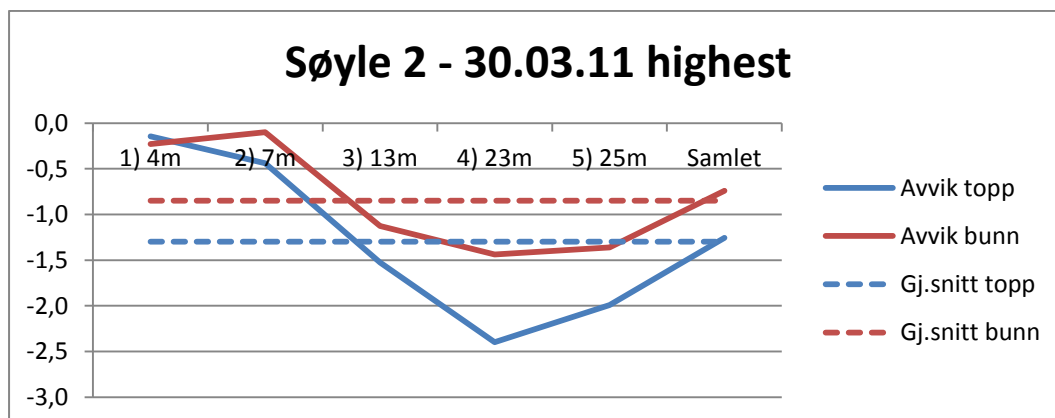
Figur 34- Avvik 30.03 søyle 1 highest



Tabell 14- Avvik 30.03 søyle 2 highest

Avstand	Topp	Fasit topp	Avvik topp	Bunn	Fasit bunn	Avvik bunn
1) 4m	226,555	226,700	-0,145	226,172	226,400	-0,228
2) 7m	226,262	226,700	-0,438	226,302	226,400	-0,098
3) 13m	225,174	226,700	-1,526	225,276	226,400	-1,125
4) 23m	224,303	226,700	-2,397	224,963	226,400	-1,437
5) 25m	224,709	226,700	-1,991	225,038	226,400	-1,362
Samlet	225,446	226,700	-1,254	225,658	226,400	-0,742

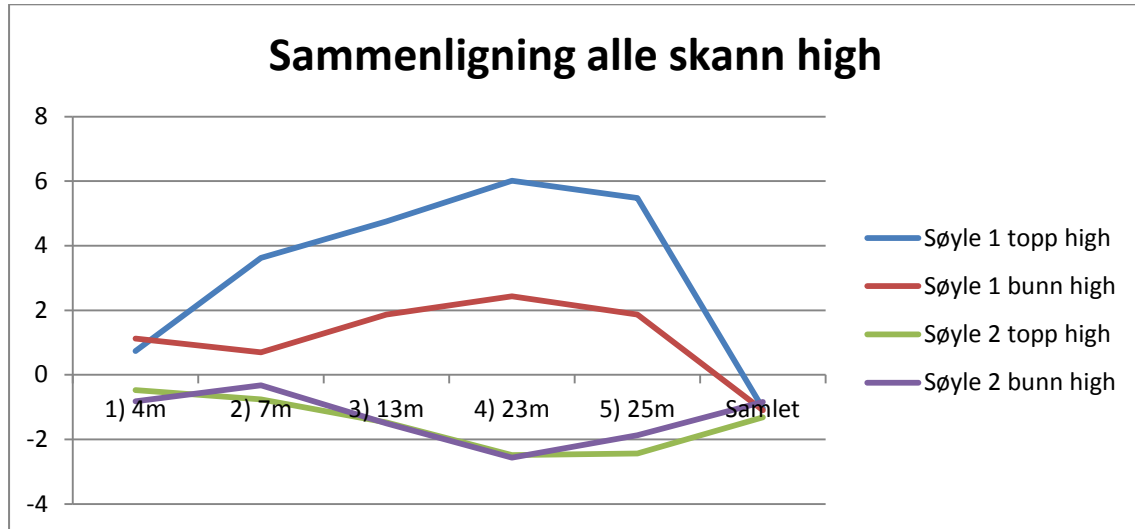
Figur 35 - Avvik 30.03 søyle 2 highest



## 8.2 Sammenligninger av avvik ved ulik oppløsning (dimensjonskontroll)

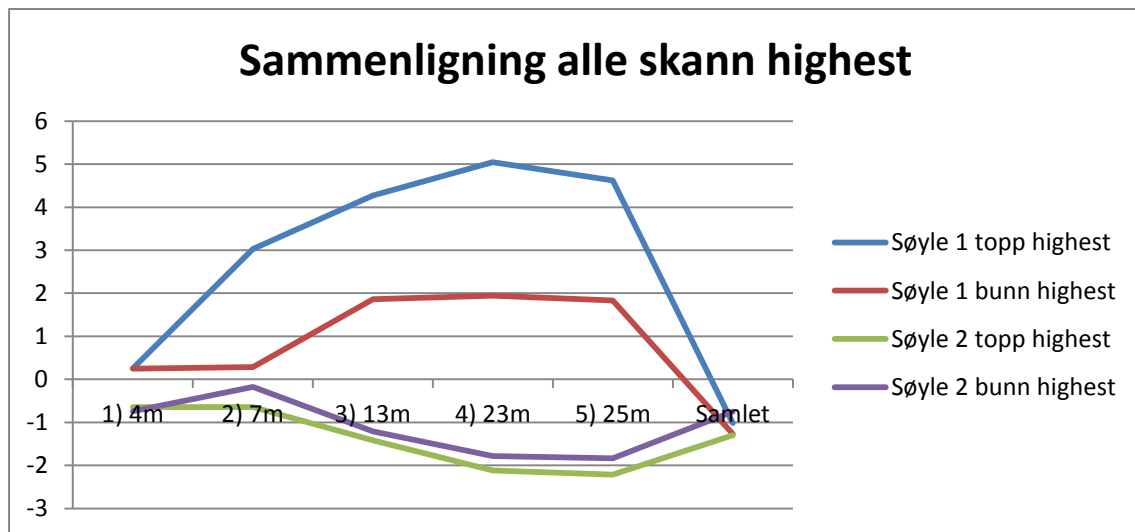
### 8.2.1 Gjennomsnittlig avvik ved high oppløsning

Figur 36 - Sammenligning alle sann ved high oppløsning



### 8.2.2 Gjennomsnittlig avvik highest oppløsning

Figur 37 - Sammenligning alle sann ved highest oppløsning

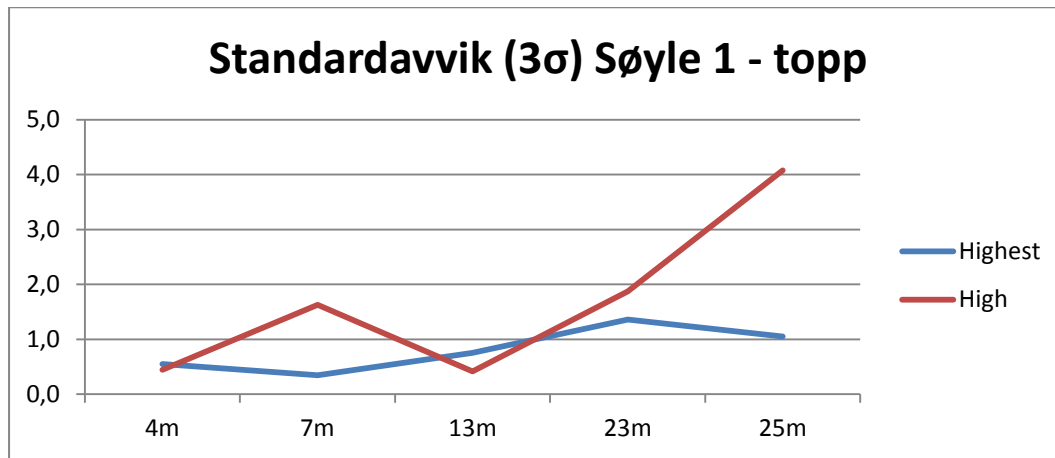


### 8.3 Sammenligning av standardavvik( $3\sigma$ ) ved ulik oppløsning (dimensjonskontroll)

Tabell 15 - Sammenligning av standardavvik søyle 1 topp

Avstand	Highest	High
4m	0,550	0,444
7m	0,343	1,628
13m	0,752	0,419
23m	1,358	1,872
25m	1,051	4,078

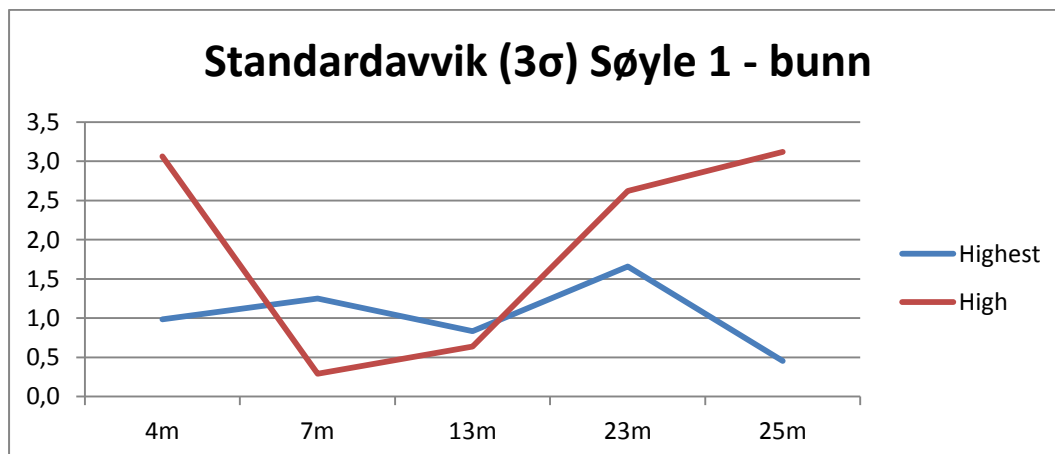
Figur 38 - Sammenligning av standardavvik søyle 1 topp



Tabell 16 - Sammenligning av standardavvik søyle 1 bunn

Avstand	Highest	High
4m	0,985	3,061
7m	1,250	0,290
13m	0,835	0,640
23m	1,659	2,621
25m	0,456	3,119

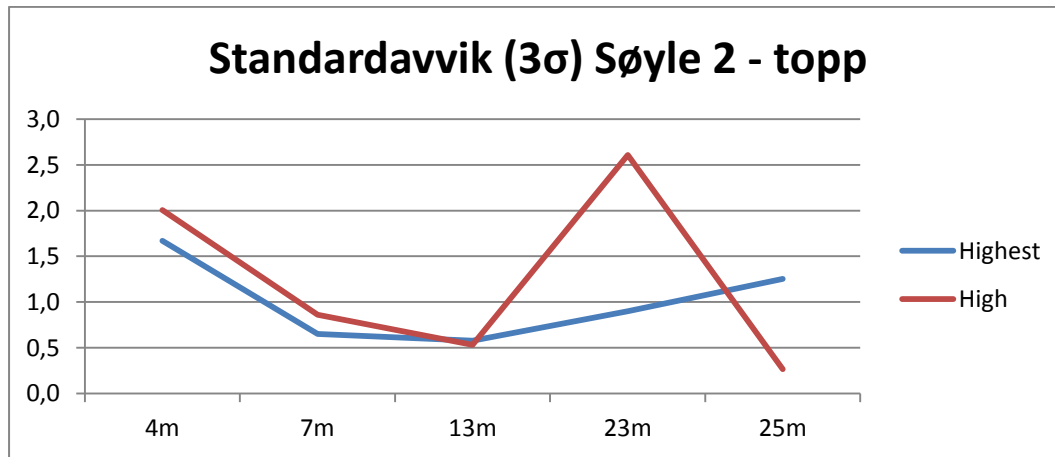
Figur 39 - Sammenligning av standardavvik søyle 1 bunn



Tabell 17 - Sammenligning av standardavvik søyle 2 topp

Avstand	Highest	High
4m	1,611	1,669
7m	0,654	1,075
13m	0,380	1,037
23m	1,050	1,501
25m	0,583	4,787

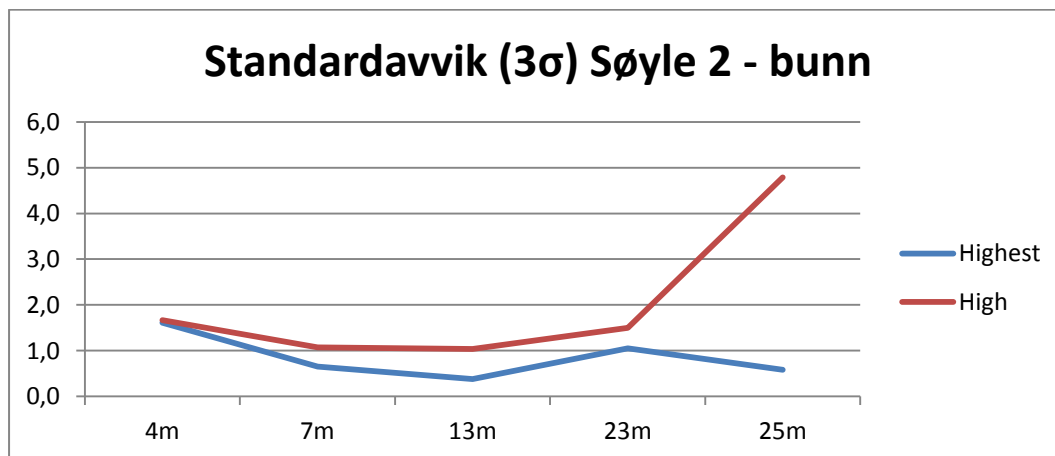
Figur 40- Sammenligning av standardavvik søyle 2 topp



Tabell 18- Sammenligning av standardavvik søyle 2 bunn

Avstand	Highest	High
4m	1,671	2,005
7m	0,653	0,862
13m	0,577	0,532
23m	0,901	2,608
25m	1,252	0,268

Figur 41- Sammenligning av standardavvik søyle 2 bunn



## 8.4 Gjennomsnittlig avvik for et utvalg av basispunktene

Her har det blitt tatt et gjennomsnitt for alle tre skann for et utvalg av basispunktene (B101, B103 og B105). Dette for å sjekke om en kan finne noen trend i avvik avhengig av avstand til objekt.

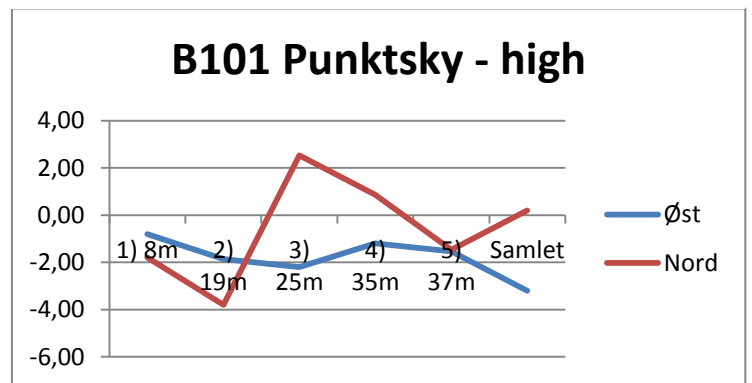
### 8.4.1. Fra punktsky

#### High

Tabell 19 - Avvik B101 punktsky (high)

Avstand	Øst	Nord
1) 8m	-0,80	-1,80
2) 19m	-1,87	-3,80
3) 25m	-2,20	2,53
4) 35m	-1,20	0,87
5) 37m	-1,53	-1,47
Samlet	-3,20	0,20
<b>Abs. avvik:</b>	<b>10,80</b>	<b>10,67</b>
<b>Feilkvadratsum:</b>	<b>23,00</b>	<b>27,04</b>

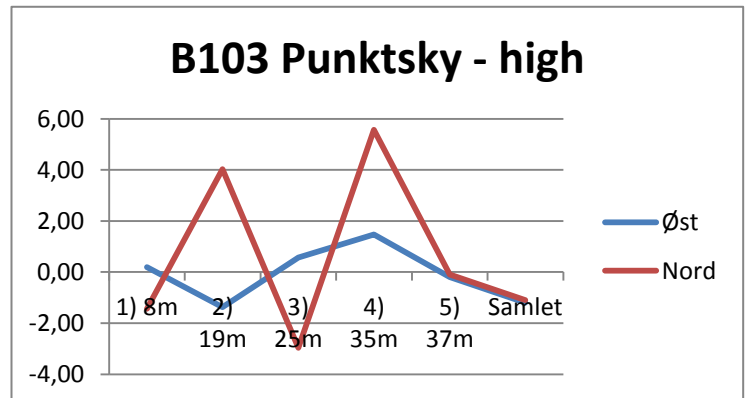
Figur 42- Avvik B101 punktsky (high)



Tabell 20- Avvik B103 punktsky (high)

Avstand	Øst	Nord
1) 8m	0,20	-1,43
2) 19m	-1,37	4,03
3) 25m	0,57	-2,97
4) 35m	1,47	5,57
5) 37m	-0,20	-0,10
Samlet	-1,20	-1,10
<b>Abs. avvik:</b>	<b>5,00</b>	<b>15,20</b>
<b>Feilkvadratsum:</b>	<b>5,86</b>	<b>59,33</b>

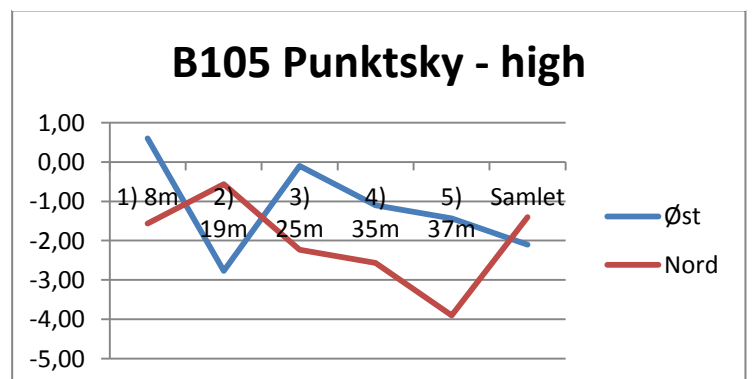
Figur 43- Avvik B103 punktsky (high)



Tabell 21- Avvik B105 punktsky (high)

Avstand	Øst	Nord
1) 8m	0,60	-1,57
2) 19m	-2,77	-0,57
3) 25m	-0,10	-2,23
4) 35m	-1,10	-2,57
5) 37m	-1,43	-3,90
Samlet	-2,10	-1,40
<b>Abs. avvik:</b>	<b>8,10</b>	<b>12,23</b>
<b>Feilkvadratsum:</b>	<b>15,70</b>	<b>31,52</b>

Figur 44- Avvik B105 punktsky (high)

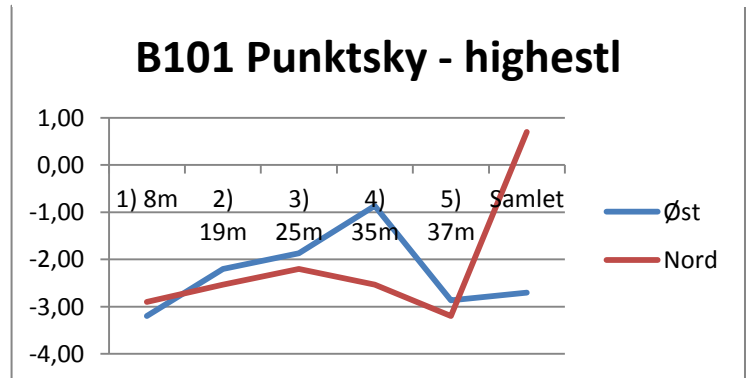


Highest

Tabell 22- Avvik B101 punktsky (highest)

Avstand	Øst	Nord
1) 8m	-3,20	-2,90
2) 19m	-2,20	-2,53
3) 25m	-1,87	-2,20
4) 35m	-0,87	-2,53
5) 37m	-2,87	-3,20
Samlet	-2,70	0,70
<b>Abs. avvik:</b>	<b>13,70</b>	<b>14,07</b>
<b>Feilkvadratsum:</b>	<b>34,82</b>	<b>36,82</b>

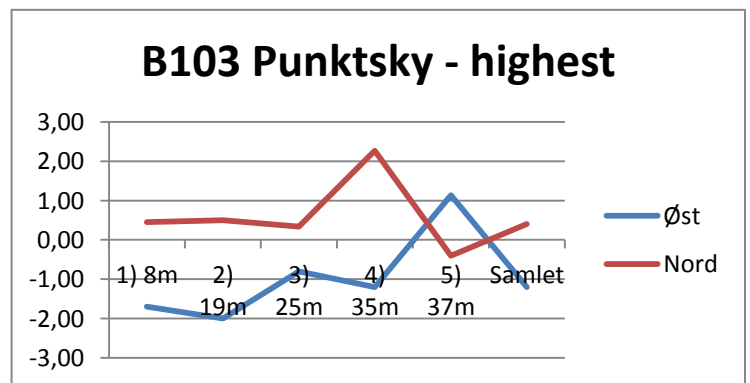
Figur 45- Avvik B101 punktsky (highest)



Tabell 23- Avvik B103 punktsky (highest)

Avstand	Øst	Nord
1) 8m	-1,70	0,45
2) 19m	-2,00	0,50
3) 25m	-0,80	0,33
4) 35m	-1,20	2,27
5) 37m	1,13	-0,40
Samlet	-1,20	0,40
<b>Abs. avvik:</b>	<b>8,03</b>	<b>4,35</b>
<b>Feilkvadratsum:</b>	<b>11,69</b>	<b>6,02</b>

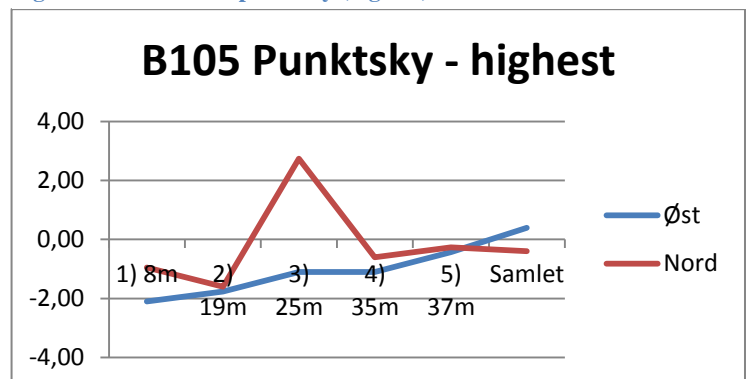
Figur 46- Avvik B103 punktsky (high)



Tabell 24- Avvik B105 punktsky (highest)

Avstand	Øst	Nord
1) 8m	-2,10	-0,95
2) 19m	-1,77	-1,60
3) 25m	-1,10	2,73
4) 35m	-1,10	-0,60
5) 37m	-0,43	-0,27
Samlet	0,40	-0,40
<b>Abs. avvik:</b>	<b>6,90</b>	<b>6,55</b>
<b>Feilkvadratsum:</b>	<b>10,30</b>	<b>11,52</b>

Figur 47- Avvik B105 punktsky (highest)



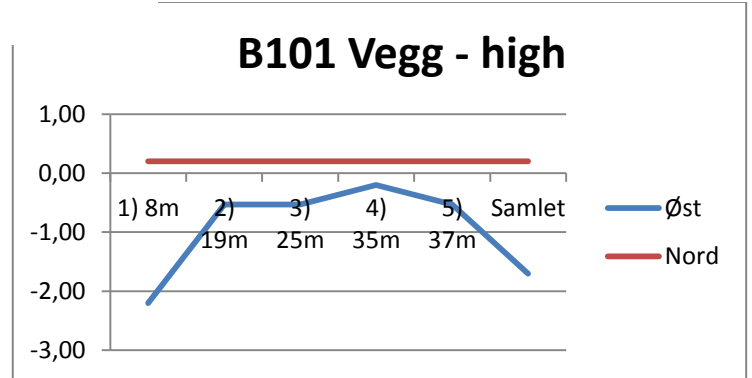
8.4.2. Fra modellert vegg

High

Tabell 25- Avvik B101vegg (high)

Avstand	Øst	Nord
1) 8m	-2,20	0,20
2) 19m	-0,53	0,20
3) 25m	-0,53	0,20
4) 35m	-0,20	0,20
5) 37m	-0,53	0,20
Samlet	-1,70	0,20
<b>Abs. avvik:</b>	<b>5,70</b>	<b>1,20</b>
<b>Feilkvadratsum:</b>	<b>8,62</b>	<b>0,24</b>

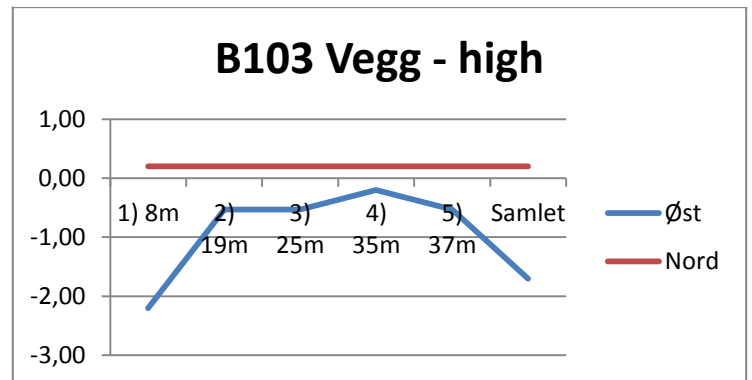
Figur 48- Avvik B101 vegg (high)



Tabell 26- Avvik B103 vegg (high)

Avstand	Øst	Nord
1) 8m	-0,53	-0,10
2) 19m	0,47	-0,10
3) 25m	0,47	-0,10
4) 35m	0,80	-0,10
5) 37m	0,47	-0,10
Samlet	0,30	-0,10
<b>Abs. avvik:</b>	<b>3,03</b>	<b>0,60</b>
<b>Feilkvadratsum:</b>	<b>1,67</b>	<b>0,06</b>

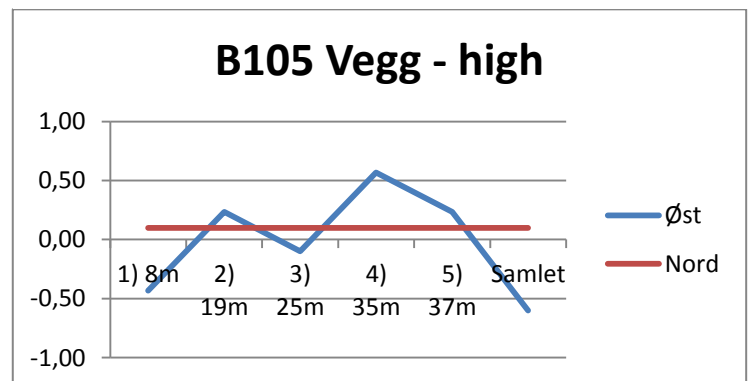
Figur 49- Avvik B103 vegg (high)



Tabell 27- Avvik B105 vegg (high)

Avstand	Øst	Nord
1) 8m	-0,43	0,10
2) 19m	0,23	0,10
3) 25m	-0,10	0,10
4) 35m	0,57	0,10
5) 37m	0,23	0,10
Samlet	-0,60	0,10
<b>Abs. avvik:</b>	<b>2,17</b>	<b>0,60</b>
<b>Feilkvadratsum:</b>	<b>0,99</b>	<b>0,06</b>

Figur 50- Avvik B105 vegg (high)

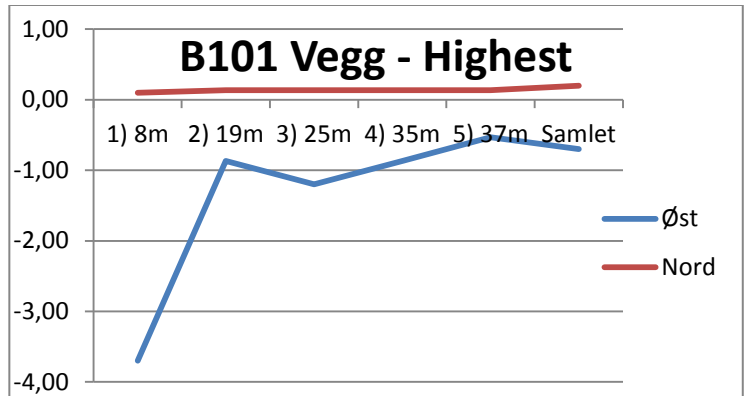


Highest

Tabell 28- Avvik B101 vegg (highest)

Avstand	Øst	Nord
1) 8m	-3,70	0,10
2) 19m	-0,87	0,13
3) 25m	-1,20	0,13
4) 35m	-0,87	0,13
5) 37m	-0,53	0,13
Samlet	-0,70	0,20
<b>Abs. avvik:</b>	<b>7,87</b>	<b>0,83</b>
<b>Feilkvadratsum:</b>	<b>17,41</b>	<b>0,12</b>

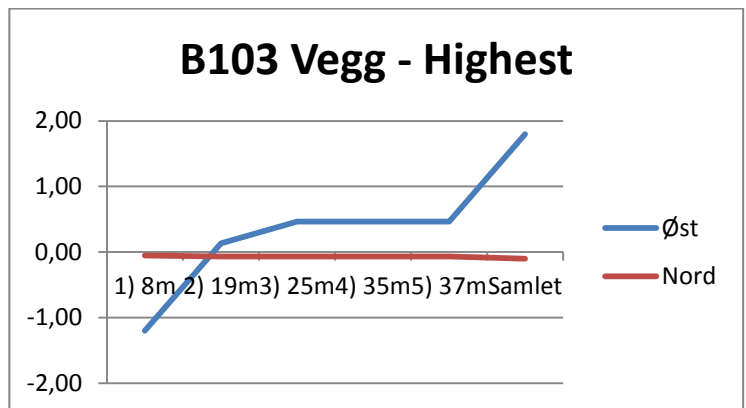
Figur 51- Avvik B101 vegg (highest)



Tabell 29- Avvik B103 vegg (highest)

Avstand	Øst	Nord
1) 8m	-1,20	-0,05
2) 19m	0,13	-0,07
3) 25m	0,47	-0,07
4) 35m	0,47	-0,07
5) 37m	0,47	-0,07
Samlet	1,80	-0,10
<b>Abs. avvik:</b>	<b>4,53</b>	<b>0,42</b>
<b>Feilkvadratsum:</b>	<b>5,35</b>	<b>0,03</b>

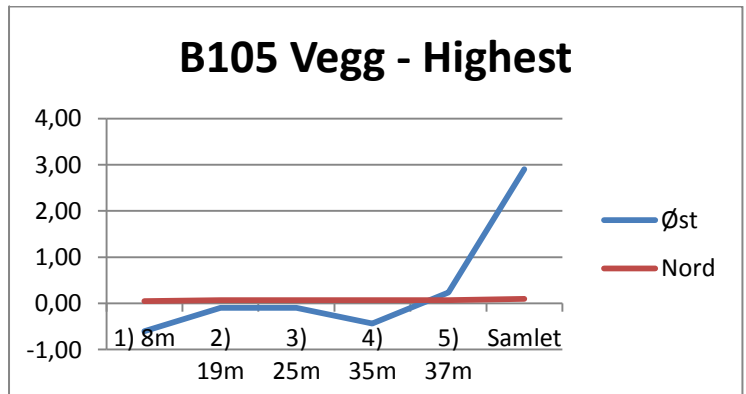
Figur 52- Avvik B103 vegg (highest)



Tabell 30- Avvik B105 vegg (highest)

Avstand	Øst	Nord
1) 8m	-0,60	0,05
2) 19m	-0,10	0,07
3) 25m	-0,10	0,07
4) 35m	-0,43	0,07
5) 37m	0,23	0,07
Samlet	2,90	0,10
<b>Abs. avvik:</b>	<b>4,37</b>	<b>0,42</b>
<b>Feilkvadratsum:</b>	<b>9,03</b>	<b>0,03</b>

Figur 53- Avvik B105 vegg (highest)





## 8.5 Sammenligning av ulike skannere

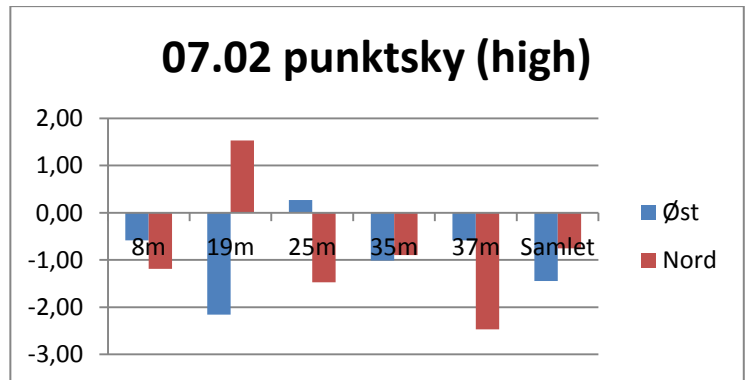
### 8.5.1. Fra punktsky

#### High

Tabell 31 - Avvik 07.02 punktsky high

Avstand	Øst	Nord
8m	0,00	0,00
19m	-2,16	0,10
25m	-1,30	1,67
35m	-0,44	-0,47
37m	-0,73	-0,19
Samlet	-0,87	0,81

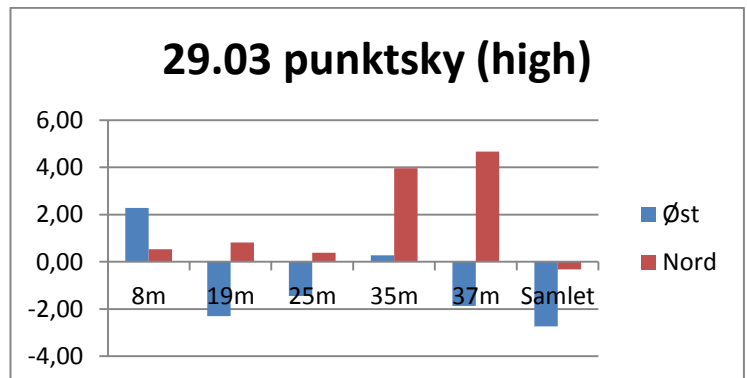
Figur 54- Avvik 07.02 punktsky high



Tabell 32 - Avvik 29.03 punktsky high

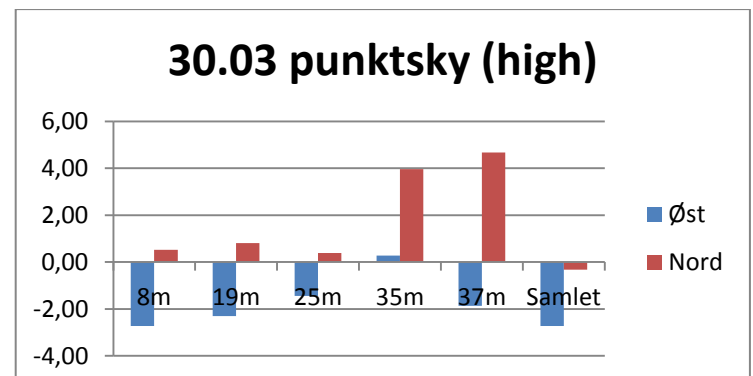
Avstand	Øst	Nord
8m	2,29	0,53
19m	-2,30	0,81
25m	-1,44	0,39
35m	0,27	3,96
37m	-1,87	4,67
Samlet	-2,73	-0,33

Figur 55- Avvik 29.03 punktsky high



Tabell 33- Avvik 30.03 punktsky high

Avstand	Øst	Nord
8m	-2,73	0,53
19m	-2,30	0,81
25m	-1,44	0,39
35m	0,27	3,96
37m	-1,87	4,67
Samlet	-2,73	-0,33



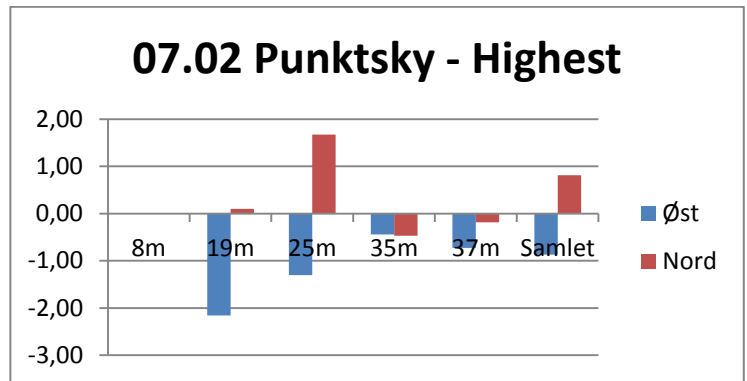
Figur 56- Avvik 30.03 punktsky high

Highest

Tabell 34- Avvik 07.02 punktsky highest

Avstand	Øst	Nord
8m	0,00	0,00
19m	-2,16	0,10
25m	-1,30	1,67
35m	-0,44	-0,47
37m	-0,73	-0,19
Samlet	-0,87	0,81

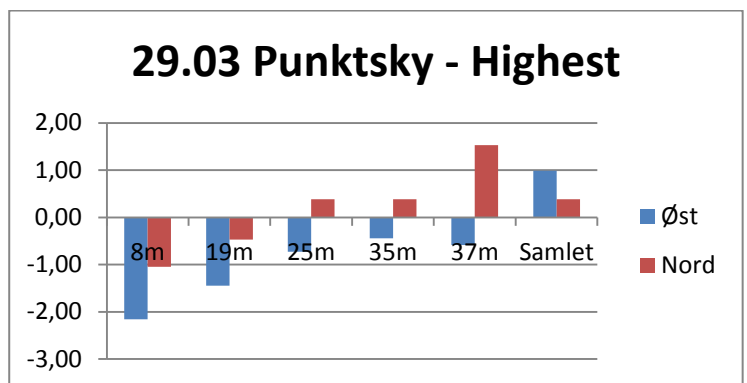
Figur 57 - Avvik 07.02 punktsky highest



Tabell 35 - Avvik 29.03 punktsky highest

Avstand	Øst	Nord
8m	-2,16	-1,04
19m	-1,44	-0,47
25m	-0,73	0,39
35m	-0,44	0,39
37m	-0,59	1,53
Samlet	0,99	0,39

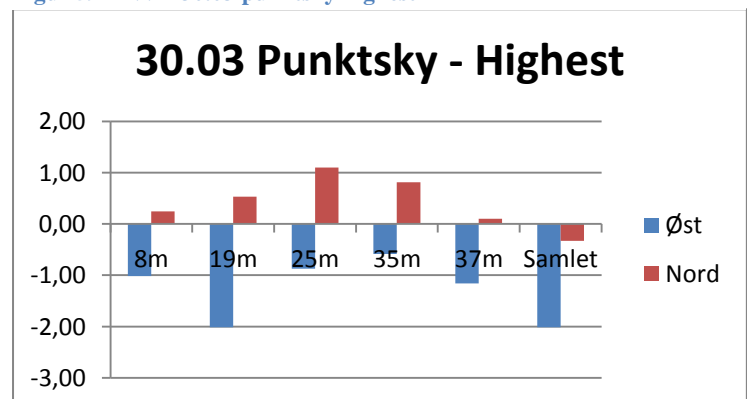
Figur 58- Avvik 29.03 punktsky highest



Tabell 36- Avvik 30.03 punktsky highest

Avstand	Øst	Nord
8m	-1,01	0,24
19m	-2,01	0,53
25m	-0,87	1,10
35m	-0,59	0,81
37m	-1,16	0,10
Samlet	-2,01	-0,33

Figur 59- Avvik 30.03 punktsky highest



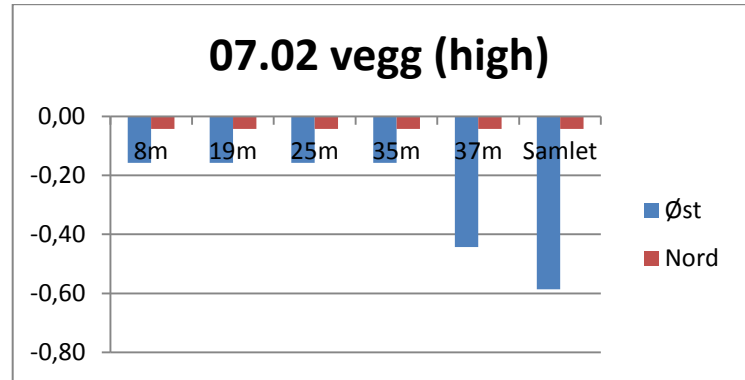
8.5.2. Fra modellert vegg

High

Tabell 37- Avvik 07.02vegg high

Avstand	Øst	Nord
8m	-0,16	-0,04
19m	-0,16	-0,04
25m	-0,16	-0,04
35m	-0,16	-0,04
37m	-0,44	-0,04
Samlet	-0,59	-0,04

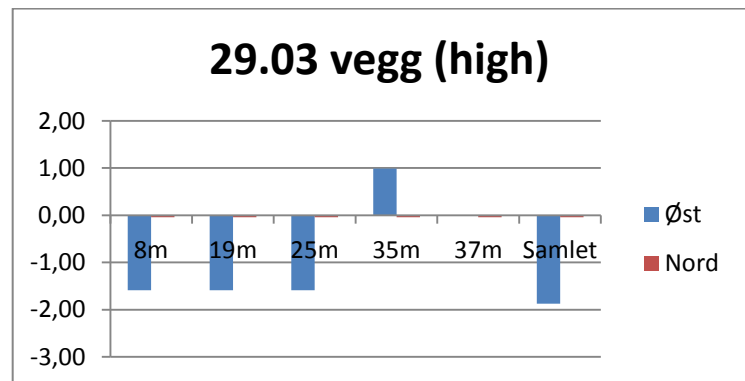
Figur 60 - Avvik 07.02 vegg high



Tabell 38- Avvik 29.03vegg high

Avstand	Øst	Nord
8m	-1,59	-0,04
19m	-1,59	-0,04
25m	-1,59	-0,04
35m	0,99	-0,04
37m	-0,01	-0,04
Samlet	-1,87	-0,04

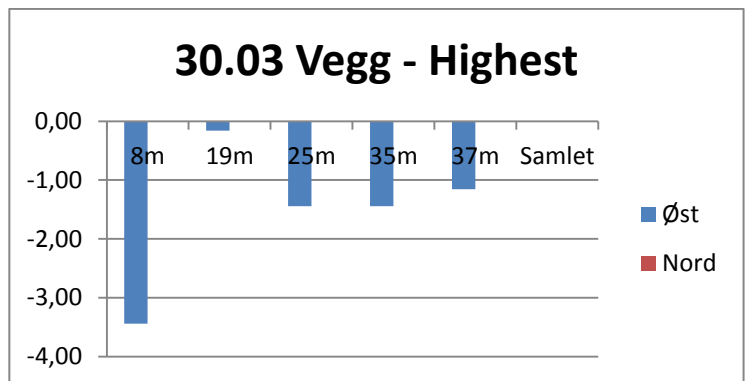
Figur 61- Avvik 29.03vegg high



Tabell 39- Avvik 30.03vegg high

Avstand	Øst	Nord
8m	-3,44	0,00
19m	-0,16	0,00
25m	-1,44	0,00
35m	-1,44	0,00
37m	-1,16	0,00
Samlet	0,00	0,00

Figur 62 - Avvik 30.03 vegg high

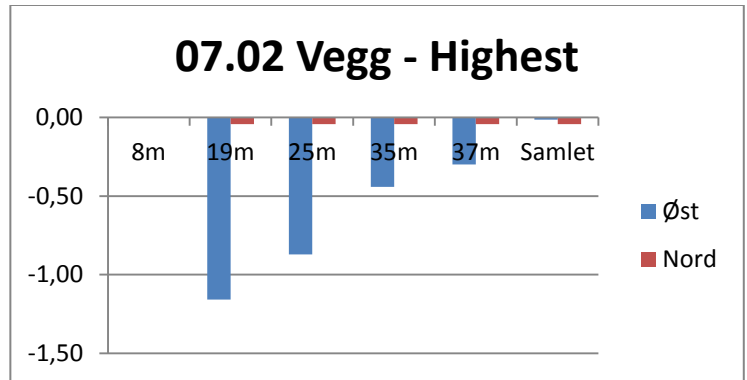


**Highest**

Tabell 40 - Avvik 07.02 vegg highest

Avstand	Øst	Nord
8m	0,00	0,00
19m	-1,16	-0,04
25m	-0,87	-0,04
35m	-0,44	-0,04
37m	-0,30	-0,04
Samlet	-0,01	-0,04

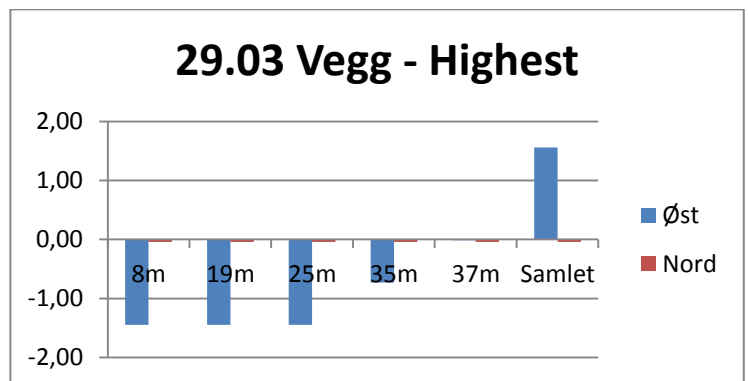
Figur 63- Avvik 07.02 vegg highest



Tabell 41- Avvik 29.03 vegg highest

Avstand	Øst	Nord
8m	-1,44	-0,04
19m	-1,44	-0,04
25m	-1,44	-0,04
35m	-0,73	-0,04
37m	-0,01	-0,04
Samlet	1,56	-0,04

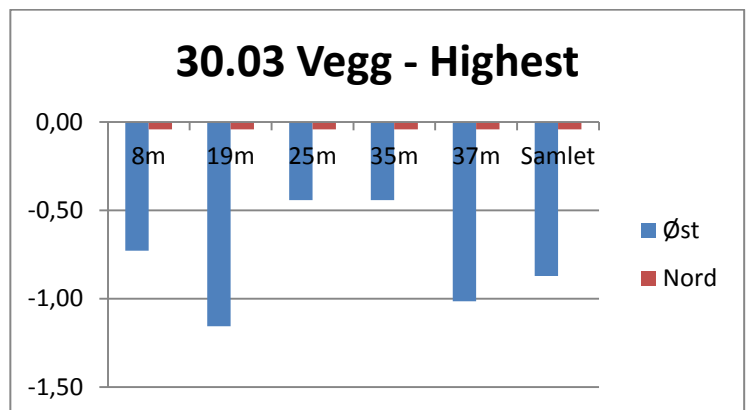
Figur 64- Avvik 29.03 vegg highest



Tabell 42- Avvik 30.03 vegg highest

Avstand	Øst	Nord
8m	-0,73	-0,04
19m	-1,16	-0,04
25m	-0,44	-0,04
35m	-0,44	-0,04
37m	-1,01	-0,04
Samlet	-0,87	-0,04

Figur 65- Avvik 30.03 vegg highest



## **8.6 Drøfting av resultater fra dimensjonskontroll**

### *Avvik i hvert enkelt skann*

Først og fremst er det vanskelig ut i fra resultatene ovenfor å kunne påstå at en skanner er dårligere/ bedre enn en annen. Avvikene er relativt små. De aller fleste oppstillingene ser ut til å ha en stigende kurve etter hvert som avstanden blir større, før den går brått ned igjen der man sammenligner nøyaktigheten av sammensatte skann. Dette stemmer utmerket overens med teorien og prinsippene bak en skanner. Det finnes likevel tilfeller der man har bedre nøyaktighet ved 25 meter enn ved 23 meter, men det kan nok betraktes mer som et tilfeldig avvik enn en trend.

En ting som er verdt og merke seg er at ved dimensjonskontroll av søyle 2 har vi en gjennomgående trend at det er negative resultater. I praksis vil det si at søylen er blitt modellert mindre enn den faktiske størrelsen. Årsaken til dette er ikke godt og si, men en hypotese er at søylen ble kontrollert med totalstasjon fra motsatt side av hva som ble skannet mot. Man må da anta at søylen har en viss flattrykning.

En annen trend er at resultatet fra søyle 1topp er det som avviker mest. Dette kan skyldes at punktet ligger relativt høyt over bakken (1,9 meter), og at vinkelen mot punktet blir større, og at en av den grunn får et dårligere resultat.

Det er vanskelig å bevise at skann gjort med highest oppløsning gir et bedre resultat enn med high oppløsning.

Resultatene kan sies og generelt være lave, eller som forventet. I en praktisk situasjon vil det nok være resultatet man oppnår ved sammensatte skann som er det mest interessante, og nettopp de er veldig lave ved hver oppstilling. Maksimale avvik er ca. 1,4 millimeter, noe som er godt innenfor den nøyaktighet man kan forvente.

### *Sammenligning av avvik ved ulik oppløsning*

Her er det tatt et gjennomsnitt av alle resultatene gjort ved samme avstand og samme oppløsning. Dette ble gjort for og eventuelt kunne gjennomskue om den ene oppløsningen jevnt over gir et bedre/ dårligere resultat enn den andre.

Vi ser her samme tendenser som da vi sammenlignet hvert enkelt skann. Søyle 2 gir negative avvik, men dog noe nærmere fasit enn søyle 1. Videre ser vi at også her er toppen av søyle 1 det punktet som avviker mest. Ut av formen på grafene kan det se ut som om valg av oppløsning har lite og si for nøyaktigheten, selv om maksimalt avvik er 1 millimeter høyere ved high oppløsning enn ved highest.

### *Sammenligning av standardavvik ved ulik oppløsning*

For å kunne avdekke eventuelle variasjoner i målingene ble det regnet ut standardavvik for skann gjort med ulik oppløsning. For å synliggjøre eventuelle store variasjoner er standardavviket ganget med 3 ( $3\sigma$ ).

Her er det interessant å merke seg at standardavviket for skann gjort med highest oppløsning er langt jevnere ved lengre avstander enn skann gjort med high oppløsning. Vi ser likevel at for søyle 2 topp går standardavviket bratt ned ved 25 meter. I teorien trenger ikke det lavt standardavvik tyde på et bedre resultat, det kan like godt være at resultatet er dårlig, men jevnt.

## 8.7 Drøfting av resultat fra uthenting av koordinater

### *Fra punktsky*

Som tidligere nevnt hentet vi ut koordinatene til det punktet som lå nærmest basispunktene våres. Om man har brukt high eller highest oppløsning kan ha



en betydning her da man får flere punkter når en måler med den høyeste oppløsningen.

Figur 66 - Modellert vegg fra punktsky

Før vi går videre med analysene må vi tenkte på at avvikene vi jobber med her er meget lave, nede i mm nivå. Derfor er det vanskelig å finne store tendenser til unøyaktige målinger.

Fra skann med high oppløsning kan man se en liten tendens til at punkter som har en skrå vinkel fra skanner til vegg har et noe mer unøyaktig avvik i øst koordinat. Dette gjelder B101 og B105. Men når det gjelder nord koordinat er det omvendt, her er nord koordinaten mer unøyaktig ved B103.

- Vanskelig å si noe om årsaken til dette, men en teori er at selve laseren blir noe større når man måler med skrå vinkel, derfor blir nøyaktigheten på punktene lavere. (les mer om størrelse på laser i avsnitt 5.3)

Videre målinger avviser denne teorien, når man ser på resultater for skann med highest oppløsning, kan en se at punkt B105 har et mindre avvik enn B103 som er mer rett vinklet på skanneren.

- Veggen er ikke rett, men skråner litt mot vest (jo lenger nord en kommer). I tillegg så er ikke veggen helt jevn men litt "bulkete".

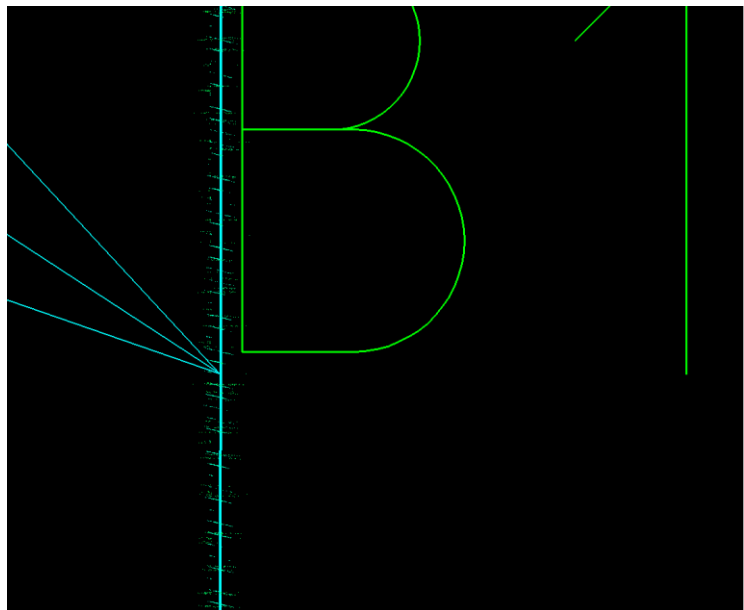
Dette kan kanskje ha litt å si på resultatet av målingen, da det kan virke som om hvert punkt viker fra hverandre. Men siden vi jobber med så små avvik så har det liten betydning.

Vi må til slutt si at; ingen av avvikene er store nok eller har stor nok tendens til å kunne konkludere med at skanneren har en vinkelfeil.

Når det gjelder avstander fra vegg til skanner finnes det ingen tendenser, her varierer avvikene helt tilfeldig.

### ***Fra modellert vegg***

Her vil nord koordinaten være nesten helt identisk for alle skann, både fra samme skanner og ulik skanner. Vi dro en linje fra hvert basispunkt og inn mot modellert vegg hvor vi leste av koordinaten. Avviket på øst koordinaten vil si hvor nøyaktig den modellerte veggen er i forhold til basisveggen.



**Figur 67 - Modellert vegg i forhold til skannet vegg**

Som man ser ut i fra resultatene er avviket fra modellert vegg til basis vegg fra 3,44 mm til 0,01mm. Dette tyder på at ingen av skannerne har unøyaktig avstands måling, resultatene er godt innenfor nøyaktighetsgrensen.



En kan se at innbyrdes for hvert skann så sprer ikke avvikene med mer enn max 3,44 mm, men holder seg jevnt. Viser spesielt til skannet fra 07.02 med high oppløsning, her viker ikke resultatet med mer enn 0,43mm.

Den ene skanneren vi brukte, ble brukt av Aker Solutions innimellom våres målinger. Ingenting i resultatene tilsier at skanneren har fått mer unøyaktigheter. Tvert imot så kan man lese ut i fra analysen at skanneren har fått bedre resultater! Dette ser vi bort ifra og mener at det er tilfeldigheter. Når man jobber med så små avvik, vet vi ikke med 100% at det er skanneren sine målinger det er noe galt med. Her må vi ta utgangspunkt i at skanneren aldri får eksakt samme resultat for hvert skann.

Jevnt over er resultatene fra skann med highest oppløsning best. Dette er ikke noen stor overraskelse da man får dobbelt så stor punktsky. Punktene ligger mye tettere her.

Alt i alt må vi nesten si at alle målingene fra begge skannerne er veldig bra. En kan egentlig ikke si noe på kvaliteten til skannerne ut ifra disse resultatene. Man ser mye tilfeldigheter. Derfor vil ikke disse analysene være pålitelige nok for en bedømming på nøyaktigheten av de ulike skannerne.

### **8.8 Oppsummering av resultat**

- Har ikke klart å påvise differanse i nøyaktighet ved bruk av ulike skannere
- Ser ikke ut til at nøyaktigheten er blitt redusert etter en tids bruk
- Nøyaktigheten blir ikke nevneverdig bedre ved bruk av høyere oppløsning. Derimot ser du ut til at bruk av høyere oppløsning gir jevnere målinger (lavere standardavvik).

### **8.9 Noen tanker rundt hvordan en unøyaktig skanner ville opptre**

Et spørsmål forfatterne av denne oppgaven fant det verdig å stille seg var: *Hvordan ville en unøyaktig skanner ha påvirket resultatene?* Ville det på noen måter kunne la seg avdekke unøyaktighet ved bruk av de metoder som er brukt i oppgaven, eller er det nødvendig med

svært avansert metoder, og høyteknologisk utstyr til for å kunne avdekke feil? Denne utfordringen har blitt diskutert med oppdragsgiver. Dette er personell med svært lang erfaring fra arbeid med skanning, og de kunne ikke sikkert si hvordan en unøyaktig skanner ville opptre.

Vi gjør oss likevel noen tanker om at hvis det skal være unøyaktigheter i målingene må det handle om sprik i målinger av avstander og vinkler. I teorien er det iallfall det som burde påvirke resultatet mest. Dette blir langt på vei bekreftet hvis en sammenligner våre hypoteser mot kalibreringskjemaet som oppdragsgiver får fra produsent etter kalibrering. (se Figur 7) Videre kan en stille seg spørsmålet om verdiene er så små at de er praktisk talt umulige å avdekke ved en så enkel test som har blitt brukt i oppgaven.

Kan det tenkes at det kommer støv og smuss inn i instrumentet ved bruk over lang tid? Hvordan vil i tilfelle dette påvirke resultatet? Dette er iallfall en utfordring som er bortimot umulig å avdekke for brukeren av instrumentet.

## **9 Konklusjon**

Konklusjonen er at denne type testområde kan brukes for å avdekke grove feil ved skanneren. Grove feil vil da være i størrelsesorden  $\pm 5-10\text{mm}$ . En kan kontrollere nøyaktigheten til skannere som man vet har blitt utsatt for en røff behandling. For å kunne påvise instrumentfeil som er mindre enn dette anbefaler vi at oppdragsgiver fortsetter med de rutiner de har i dag for kontroll og kalibrering av instrument.

### **9.1. Egevaluering av prosjektet**

Gruppen synes de er kommet frem til et godt resultat. Vi er godt fornøyde med at vi har klart å gjennomføre de mål vi satte oss for oppgaven. Videre er vi svært godt fornøyde med at vi kom tidlig i gang med oppgaven. Dette gjorde at vi fikk god tid til å bli komfortable med programvare som var en stor fordel gjennom hele prosjektet.

Vi kunne naturligvis ha sett på flere alternative løsninger for sjekk av skannere. Samtidig kunne dette lett ha medført at vi ikke hadde rukket å fullføre prosjektet. Nå har vi hatt god tid til å analysere og drøfte resultatene.

Gruppearbeidet har fungert utmerket. Arbeidsfordelingen har vært jevnt fordelt og begge parter har jobbet jevnt og trutt med oppgaven gjennom hele semesteret. Samarbeidet med Aker Solutions har også vært upåklagelig. De har til enhver tid vært hjelpsomme og kommet med konstruktive innspill. Dette i kombinasjon med hjelpen vi har fått fra Leica Geosystems Norge har gjort at vi har kunnet gjennomføre prosjektet.

## 10 Litteraturliste

Høgskolen i Gjøvik (2010 – 2011) – Emnebeskrivelse TØL3901 – Bacheloroppgave 20SP.

Hentet fra:

[http://www.hig.no/studiehaandbok/studiehaandboeker/2010\\_2011/emner/avdeling\\_for\\_teknologi\\_oekonomi\\_og\\_ledelse/toel3901\\_bacheloroppgave\\_20](http://www.hig.no/studiehaandbok/studiehaandboeker/2010_2011/emner/avdeling_for_teknologi_oekonomi_og_ledelse/toel3901_bacheloroppgave_20)

Store Norske Leksikon. Hentet fra

[http://www.snl.no/albedo/m%C3%A5l\\_for\\_refleksjonsevne](http://www.snl.no/albedo/m%C3%A5l_for_refleksjonsevne)

Professional Surveyor Magazine August 2009 – “3D Scanning: Accuracy of Scan Points” av Geoff Jacobs. Hentet fra

<http://www.profsurv.com/magazine/article.aspx?i=70306>

Professional Surveyor Magazine April 2008 – “3D Scanning: Using Multiple Laser Scanners on Projects” av Geoff Jacobs. Hentet fra

<http://www.profsurv.com/magazine/article.aspx?i=2114>

Professional Surveyor Magazine Juli 2005 - “High Definition Surveying, 3D Laser Scanning: Registration and Geo-referencing” av Geoff Jacobs. Hentet fra

<http://www.profsurv.com/magazine/article.aspx?i=1441>

Hovedprosjekt HIG 2007 “Laserskanning” av Mats A. Langgård, Tor Haukås og Anders Lillesæter

Skår, D. A., Drangevåg, L., Strand, H. M. & Hansen, J. K. L. (2010). *Laserskanning – Bakkebasert laserskanning i landmålingsøyemed*. Gjøvik: Høgskolen i Gjøvik.

Gregory Walsh, Ph.D. January 25, 2011. *Leica ScanStation::: Calibration and QA*. San Ramon, CA

[www.sc4w.com](http://www.sc4w.com)



HØGSKOLEN I GJØVIK

## PROSJEKTAVTALE

mellom Høgskolen i Gjøvik (HiG) (utdanningsinstitusjon),

Aker Solutions (Aker Offshore Partner) (oppdragsgiver), og

Andre Botnen og Petter R. Ellefsen (student(er))

Avtalen angir avtalepartenes plikter vedrørende gjennomføring av prosjektet og rettigheter til anvendelse av de resultater som prosjektet frembringer:

1. Studenten(e) skal gjennomføre prosjektet i perioden fra 15.01.2011 til 15.06.2011.

Studentene skal i denne perioden følge en oppsatt fremdriftsplan der HiG yter veiledning.

Oppdragsgiver yter avtalt prosjektbistand til fastsatte tider. Oppdragsgiver stiller til rådighet kunnskap og materiale som er nødvendig for å få gjennomført prosjektet. Det forutsettes at de gitte problemstillinger det arbeides med er aktuelle og på et nivå tilpasset studentenes faglige kunnskaper. Oppdragsgiver plikter på forespørsel fra HiG å gi en vurdering av prosjektet vederlagsfritt.

2. Kostnadene ved gjennomføringen av prosjektet dekkes på følgende måte:
  - Oppdragsgiver dekker selv gjennomføring av prosjektet når det gjelder f.eks. materiell, telefon/fax, reiser og nødvendig overnatting på steder langt fra HiG. Studentene dekker utgifter for trykking og ferdigstillelse av den skriftlige besvarelsen vedrørende prosjektet.
  - Eiendomsretten til eventuell prototyp tilfaller den som har betalt komponenter og materiell mv. som er brukt til prototypen. Dersom det er nødvendig med større og/eller spesielle investeringer for å få gjennomført prosjektet, må det gjøres en egen avtale mellom partene om eventuell kostnadsfordeling og eiendomsrett.
3. HiG står ikke som garantist for at det oppdragsgiver har bestilt fungerer etter hensikten, ei heller at prosjektet blir fullført. Prosjektet må anses som en eksamensrelatert oppgave som blir bedømt av faglærer/veileder og sensor. Likevel er det en forpliktelse for utøverne av prosjektet å fullføre dette til avtalte spesifikasjoner, funksjonsnivå og tider.
4. Den totale besvarelsen med tegninger, modeller og apparatur så vel som programlisting, kildekode, disketter, taper mv. som inngår som del av eller vedlegg til besvarelsen, gis det en kopi av til HiG, som vederlagsfritt kan benyttes til undervisnings- og forskningsformål. Besvarelsen, eller vedlegg til den, må ikke nyttes av HiG til andre formål, og ikke overlates til utenforstående uten etter avtale med de øvrige parter i denne avtalen. Dette gjelder også firmaer hvor ansatte ved HiG og/eller studenter har interesser.

Besvarelser med karakter C eller bedre registreres og plasseres i skolens bibliotek. Det legges også ut en elektronisk prosjektbesvarelse uten vedlegg på bibliotekets del av skolens Internett-sider. Dette avhenger av at studentene skriver under på en egen avtale hvor de gir biblioteket tillatelse til at deres hovedprosjekt blir gjort tilgjengelig i papir og netutgave (jfr. Lov om opphavsrett). Oppdragsgiver og veileder godtar slik

offentliggjøring når de signerer denne prosjektavtalen, og må evt. gi skriftlig melding til studenter og dekan om de i løpet av prosjektet endrer syn på slik offentliggjøring.

5. Besvarelsens spesifikasjoner og resultat kan anvendes i oppdragsgivers egen virksomhet. Gjør studenten(e) i sin besvarelse, eller under arbeidet med den, en patentbar oppfinnelse, gjelder i forholdet mellom oppdragsgiver og student(er) bestemmelsene i Lov om retten til oppfinnelser av 17. april 1970, §§ 4-10.
6. Ut over den offentliggjøring som er nevnt i punkt 4 har studenten(e) ikke rett til å publisere sin besvarelse, det være seg helt eller delvis eller som del i annet arbeide, uten samtykke fra oppdragsgiver. Tilsvarende samtykke må foreligge i forholdet mellom student(er) og faglærer/veileder for det materialet som faglærer/veileder stiller til disposisjon.
7. Studenten(e) leverer 3 - tre - eksemplarer av oppgavebesvarelsen med vedlegg til Studenttorget. I tillegg leveres et eksemplar til oppdragsgiver. HiG kan stille til disposisjon ytterligere eksemplar(er) for oppdragsgiver mot at denne godtgjør produksjonskostnadene.
8. Denne avtalen utferdiges med et eksemplar til hver av partene. På vegne av HiG er det dekan som godkjenner avtalen.
9. I det enkelte tilfelle kan det inngås egen avtale mellom oppdragsgiver, student(er) og HiG som nærmere regulerer forhold vedrørende bl.a. eiendomsrett, videre bruk, konfidensialitet, kostnadsdekning og økonomisk utnyttelse av resultatene.  
  
Dersom oppdragsgiver og student(er) ønsker en videre eller ny avtale, skjer dette uten HiG som partner.
10. Når HiG også opptrer som oppdragsgiver trer HiG inn i kontrakten både som utdanningsinstitusjon og som oppdragsgiver.
11. Eventuell uenighet vedrørende forståelse av denne avtale løses ved forhandlinger avtalepartene i mellom. Dersom det ikke oppnås enighet, er partene enige om at tvisten løses av voldgift, etter bestemmelsene i tvistemålsloven av 13.8.1915 nr. 6, kapittel 32.
12. Deltakende personer ved prosjektgjennomføringen:

HiGs veileder (navn):

George Kvern

Oppdragsgivers  
kontaktperson (navn):

Georg Guard

Student(er) (signatur):

Rakel R. Gilje

dato 26.01.2011

dato

Andre Botnen

dato 26/1-11

dato

Oppdragsgiver (signatur):

Inne Krøger Sjøseth

dato 18.01.2010

Dekan (signatur):

Joy Olm

dato 08.02.11

Revidert 11.10.07, Ivar Moe

## Vedlegg B – Logg

Uke nr.	Arbeidsoppgaver	Kommentar
4	Grunnleggende bruk av skanner	I Stavanger
5	Grunnleggende bruk av skanner/ opplæring i programvare	I Stavanger
6	Jobbing med programvare	På Gjøvik
7	Jobbing med programvare	Jobbing med andre emner
8	Jobbing med programvare	Jobbing med andre emner
9	Jobbing med programvare/ uthenting av resultater	Jobbing med andre emner
10	Jobbing med programvare/ uthenting av resultater	Jobbing med andre emner
11	Jobbing med programvare/ uthenting av resultater	Jobbing med andre emner
12	Jobbing med programvare/ uthenting av resultater	Jobbing med andre emner
13	Innsamling av data	I Stavanger
14	Uthenting av resultater i programvare	På Gjøvik
15	Uthenting av resultater i programvare	På Gjøvik
16	Påskeferie	Ingen jobbing
17	Påskeferie	Jobbing hver for seg
18	Analyse av data	På Gjøvik
19	Analyse av data/ rapportskrivning	På Gjøvik
20	Jobbing med rapport	På Gjøvik
21	Ferdigstilling av rapport	På Gjøvik
22	Forberedelser til fremføring	På Gjøvik
23	Fremføring av prosjektet	På Gjøvik

## Vedlegg C – Møtereferat med oppdragsgiver

### Møtereferat 2/2 2011 med Georg Gaard og Trond Helgøy

- Onsdag 2/2 hadde vi møte med Georg hos Aker i Stavanger. Her ble det presentert en framdriftsplan som viste hva som skal gjøres.
  
- Vi ble enige om i første omgang å konsentrere oss om software og lære oss å kunne jobbe på egenhånd. Dette er veldig viktig slik at vi kan få jobbet med dataene når vi kommer tilbake til Gjøvik. Dette bør vi ha ganske god kontroll på før vi reiser tilbake til Gjøvik:
  - SC4W – beregne grid
  - Cyclone – sette sammen flere skann, finne "targets" i modellen, samt enkel modellering
  - Microstation – modellere
  - Cloudworks
  
- I tillegg bør vi kunne gjøre et skann med flere oppstillinger og dumpe data til PC før vi drar tilbake til Gjøvik. I første omgang ble vi enige om å konsentrere oss om HDS6100 skanneren (short range). Først og fremst fordi C10 skanneren (long range) er ute på jobb, og fordi det kan være lurt å ikke sikte for høyt med tanke på arbeidsmengde og tid vi har til rådighet. Med tanke på resultatet er det kanskje ikke heller så veldig interessant med tanke på at viss metodene skulle vise seg å fungere med en type skanner er det lite som skulle tilsa at det da ikke skulle fungere med en annen skannertype.
  
- Vi diskuterte videre litt hvilke metoder som kan være aktuelle å benytte for å kontrollere skannere. Her flere faktorer som spiller inn, men først og fremst avstand til objektet som skannes. Derfor bør det nok gjøres skann fra ulike avstander til objektet. Vi drøftet også hva som bør kontrollmåles. Her kom vi framtil at vegg, og avstand senter søyler kan være godt egnet. (Vi har tilgang til godt egnet software som beregner diameteren på rør/ søyler, både med målinger gjort med skanner og med kikkert).

Georg mente også at det var lurt at vi tok utgangspunkt i å etablere testbasen innendørs. Både fordi der er det mest stabile forhold, men også fordi ved skanning utendørs er en veldig avhengig av bra vær. I verste fall kunne vi risikert å reis til Stavanger uten å få gjort et eneste skann!

- Vi skal måle de aktuelle objektene nøyaktig med kikkert. Dette skal være fasiten.



- Ved en eventuell etablering av testområde for C10 vil en likevel måtte gjøre utendørs. (Får ikke lange nok avstander innendørs)
- Prosedyrene for sjekk og kalibrering av utstyret i dag trodde Georg var at de ble sendt til Leica 1 gang pr. år. Her har det vært litt ulike prosedyrer (etter 300 dagers bruk, etter X antall timer osv) For hver service er skanneren utilgjengelig i omtrent en måned. Dette vil med andre ord si at det er store økonomiske tap å ha en skanner til service. Georg skulle komme tilbake med reelle tall her.
- Vi var alle enige om at det bør allerede fra starten av tenkes på hvordan dette skal presenteres, da både på framføring og i rapporten. Vi ble også gjort oppmerksomme på at vi ikke skulle være redde for å konkludere med at dette er en lite egnet metode. Selvfølgelig skal dette da dokumenteres, men det er like fullt en konklusjon! Det er fullt mulig at de prosedyrene som blir brukte i dag er de beste.
- Vi skulle også høre med George, eventuelt HiG, hvordan det ligger an med tilgang til Cyclone på skolen. Det hadde vært en stor fordel om skolen kunne ha ordnet lisens til oss privat, men i alle fall at vi får tilgang på skolen. Vi er avhengig av å ha tilgang til versjon 7.1.
- Trond kom med forslag om at vi kunne teste ut å beregne griden i Gemini/ GisLine, og eventuelt sammenlikne resultatet opp mot beregning gjort i SC4W.

Stavanger 2/2 2011

## Vedlegg D – Koordinatliste for grid

XB314	11.8358	16.8159	0.8936
XB313	11.8003	16.7379	0.8968
XB312	11.7980	16.6524	0.9016
XB311	11.8198	16.5787	0.9047
XB310	11.8770	16.5058	0.9093
XB308	12.0371	16.4564	0.9115
XB307	12.1476	16.4969	0.9085
XB306	12.1413	16.4923	1.6567
XB305	12.0232	16.4548	1.6585
XB304	11.9346	16.4709	1.6594
XB303	11.8290	16.5605	1.6534
XB302	11.8004	16.6355	1.6567
XB301	11.7951	16.7120	1.6592
XB300	11.8277	16.8045	1.6590
XB218	12.1378	9.6756	0.9611
XB217	12.0496	9.7083	0.9575
XB216	11.9755	9.7059	0.9549
XB215	11.9122	9.6834	0.9557
XB214	11.8504	9.6351	0.9615
XB213	11.8118	9.5787	0.9644
XB212	11.7931	9.5163	0.9634
XB211	11.7992	9.4212	0.9613
XB210	11.8415	9.3412	0.9620
XB209	11.8442	9.3361	1.9646
XB208	11.8003	9.4178	1.9631
XB207	11.7915	9.4933	1.9612
XB206	11.8042	9.5578	1.9626
XB205	11.8234	9.5973	1.9635
XB204	11.8580	9.6413	1.9638
XB203	11.9020	9.6752	1.9612
XB202	11.9618	9.6994	1.9588
XB201	12.0216	9.7089	1.9586
XB200	12.1335	9.6753	1.9600
X2007	27.3430	10.3340	1.6340
X2006	9.8023	8.6578	1.6098
X2005	7.5615	15.0858	1.6114
X2004	11.7222	15.5308	1.5963
X2003	31.6960	12.1782	1.6088
T43	38.7127	21.3483	1.7788
T42	21.7135	21.3624	1.8147
T40	1.4356	-0.0012	2.0297
T39	43.1468	-17.2175	1.9259
T38	36.1915	-9.7304	2.0670
T37	30.5863	-4.5279	1.9003
T35	19.6910	16.8763	2.0269
T34	29.1915	16.5747	1.8134
T33	8.3024	33.4854	1.3146
T32	0.0013	5.2643	1.8670
T31	10.7423	-0.0111	1.3555
T30	47.6038	13.2160	1.8262
T29	0.7404	33.4858	1.4723
T28	27.7488	9.2712	2.0713
T27	-0.0009	10.8363	1.9062
T25	18.7449	9.4814	1.9189
T24	6.7102	19.2596	1.7938
PLAN6	11.0791	14.8555	0.0045

PLAN5	7.4294	11.7825	0.0064
PLAN4	5.0185	9.2659	0.0056
PLAN3	5.0008	3.0548	0.0003
PLAN2	7.4043	2.2260	0.0000
PLAN1	9.4422	3.1610	0.0029
Søyle 2 bunn	12.0201	16.6823	0.8996
Søyle 2 topp	12.0200	16.6824	1.6588
Søyle 1 bunn	12.0179	9.4831	0.9609
Søyle 1 topp	12.0177	9.4811	1.9614
B106	0.0027	15.9487	1.6691
B105	0.0019	14.9471	1.6679
B104	-0.0019	13.9436	1.6727
B103	0.0008	12.9419	1.6606
B102	-0.0021	11.9381	1.6563
B101	-0.0022	10.9382	1.6770
B100	-0.0023	9.9431	1.6834
AY1005	11.5050	-0.0122	1.6820
AY1004	9.3909	-0.011	1.9070
AY1003	6.8634	-0.008	1.6810
AY1002	4.6362	-0.0039	0.4658
AY1001	3.1148	-0.0054	1.3812
AY1000	0.4581	0.0015	1.8294
AX1005	-0.0007	1.4109	1.6609
AX1004	0.0016	5.4856	1.8010
AX1003	0.0003	8.8436	1.9494
AX1002	-0.0012	11.0094	1.8760
AX1001	0.0002	13.3923	1.8203
AX1000	0.0006	15.3181	1.2225
1111	38.5078	21.3889	2.0810
1109	29.9885	16.4735	1.6987
1108	-0.0436	10.0081	1.8750
1107	16.8114	9.4307	1.8051
1106	0.0004	14.3215	1.9477
1105	19.8209	9.3788	1.9494
1104	8.3455	33.5258	1.4865
1103	36.1925	-9.7302	1.7452
1101	47.6435	15.8879	2.0358
1008	30.6168	-4.5679	2.0831
10010	6.7635	-0.0302	2.2722