



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

**Masteroppgave 2022 30 stp**  
Fakultet for realfag og teknologi

# **Fotogrammetri til innmåling av ledninger i henhold til ledningsregistreringsforskriften**

Use of Photogrammetry for Measuring Cables in  
Accordance With the New Regulation for Cable  
Registration

Sjur Spjeld Klemetsen og Ola Flesche Hellenes  
Geomatikk

# Sammen drag

Formålet med oppgaven er å vurdere fotogrammetri som innmålingsmetode, i henhold til ledningsregistreringsforskriftens standard. Oppgaven har fokus på avdekkede ledninger som befinner seg i åpen grøft. Det ble foretatt innmålinger av ledninger i tre ulike prøvegroper. Metodene som har blitt brukt er fotogrammetri med speilreflekskamera, og visuell posisjoneringsteknologi med GS18 I. Det ble også gjennomført laserskanning på en av gropene. Samlet maksimalt avvik ble beregnet for de ulike metodene, og sammenlignet med kravene til standarden. En ferdig leveranse ble utarbeidet, der det ble tatt i bruk en punktsky generert fra 30 bilder. Dette ble gjennomført for å undersøke hvor godt egnet fotogrammetri er fra innmåling til leveranse.

Resultatet viser at begge metodene egner seg bra i vårt tilfelle, og at nøyaktigheten ligger godt innenfor kravene. Det er mange faktorer som bestemmer om de utprøvde metodene egner seg til formålet. Faktorer som tid, anvendelighet og evnen til å registrere egenskaper, spiller også en stor rolle. Resultatet viser også at det å fremstille en punktsky av ledningene, gjør registrering av påkrevde egenskaper enklere og mer effektivt. I oppgaven blir det diskutert ytterligere muligheter og endringer for landmålerens rolle i innmålingsprosessen. Ved å vise at fotogrammetri fungerer som metode, vil det åpnes muligheter for at graveentreprenøren selv kan ta bilder i felt.

# Abstract

The purpose of this thesis is to evaluate photogrammetry as a measurement method in accordance with the new regulation for cable registration. The thesis focus mainly on uncovered cables, which are located in open trenches. Cables were measured in three different test pits. The methods that have been used are photogrammetry with single-lens reflex camera and visual positioning technology with GS18 I. A laser scan was also performed on one of the pits. The total maximum deviation was calculated for the different methods, and compared with the requirements from the standard. A finished delivery was made, where a point cloud with 30 images was used. This was done to investigate how well-suited photogrammetry is from measuring, to delivery.

The result shows that both methods are well suited in this case, and that the accuracy is well within the requirements. There are many factors that determine whether the tried and tested methods are suitable for the purpose. Factors such as time, usability and the ability to register attributes, also play a major role. Our result shows that producing a point cloud of the cables makes the registration of required attributes easier and more efficient. The thesis discusses further possibilities and changes for the surveyor's role in the surveying process. By showing that photogrammetry works as a method, opportunities will open up for the excavation contractor to take pictures in the field.

# Forord

Med denne oppgaven markeres avslutningen på vår mastergrad innen Geomatikk ved Norges miljø- og biovitenskapelig universitet. Oppgaven er skrevet våren 2022 i samarbeid med Scan Survey AS. Vi ønsker å takke vår hovedveileder Ivar Maalen-Johansen for god og rask veiledning. Vi ønsker også å rette en stor takk til biveilederne våre hos Scan Survey, Håkon Andresen og Olav Røer Ellefsen. Takk for gode råd, og innholdsrike veiledningssamtaler. Videre ønsker vi også å takke Tommy S. Elnæs og Per-Ola Berntsen for intervju og innsikt i bransjen. Takk til Andreas Torsvik fra Leica Geosystems for lån av GS18 I, og lisens til tilhørende program. Takk til Kjetil Gjesdal i Volue for lån av lisens til Gemini Terreng.

# Begreper

**Ledning:** Samlebetegnelse på rør, kabler, kanaler, kulverter, borehull og andre lignende ledninger.

**Ledningsstrase:** Felles begrep for alle typer framføringsveier for ledninger som skal stedfestes.

**Ledningsanlegg:** Avgrensede deler av et ledningsnett. Brukes for eksempel i forbindelse med nye ledninger.

**Kabelpåvisning:** Ledningens posisjon blir oppmerket i terrenget. Ofte med spraymerker på bakken.

**Passpunkt:** Punkt med kjente koordinater som identifiseres i ulike bilder. Brukes til å georeferere punktsky.

**Metadata:** Data som tjener til å definere eller beskrive andre data.

**Variasjonsbredde:** Et spredningsmål som viser hvor spredt tallene ligger rundt de sentrale verdiene.

**Strålebuntutjevning:** Metode innen fotogrammetri brukt til å estimere struktur i tre dimensjoner, fra bilder av to dimensjoner.

**DXF:** Et CAD filformat utviklet av Autodesk. Formatet bruker tekstbasert koding (ASCII).

**DWG:** Et CAD filformat utviklet av Autodesk. DWG filer bruker binær kode.

**Semi-strukturert intervju:** Temaene som dekkes er fastlagt på forhånd, og rekkefølgen på spørsmål og tema blir bestemt underveis. Dette gjør at intervjuer kan følge intervjuobjektets fortelling, og samtidig få informasjon om fastlagte temaer.

# Forkortelser

**XML:** Extensible Markup Language

**GML:** Geographic Markup Language

**OGC:** Open Geospatial Consortium

**ISO:** International Organization for Standardization

**LRF:** Ledningsregistreringsforskriften

**VA:** Vann og Avløp

**VP:** Visuell posisjonering

**PPM:** Parts Per Milion / Andeler per million

**CC:** CloudCompare

**CAD:** Computer Aided Design / Dataassistert konstruksjon

**RTK:** Real Time Kinematic / Realtids Kinematisk Måling

**GNSS:** Global Navigation Satellite Systems / Globale navigasjonssatellitt-systemer

**IMU:** Inertial Measurement Unit / Treghetsmåleenhet

**INS:** Inertial Navigation System

**lidar:** Light Detection and Ranging

**DMS:** Degrees Minutes Seconds

**HMS:** Helse, miljø og sikkerhet

# Figurer

2.1	Nøyaktighetskrav for ulike områdetyper [17] . . . . .	7
2.2	Punktidentifikasjonsnøyaktighet til en ledningstrase ([17]) . . . . .	8
2.3	Variierende bredde på en ledningstrase [17] . . . . .	9
2.4	Pilhøyde i vertikalplanet [17] . . . . .	9
2.5	Den indre geometrien til kameraet [1] . . . . .	11
2.6	Soneinndeling for NTM [18] . . . . .	13
2.7	Oversikt over oppbyggingen til GML [7] . . . . .	14
3.1	Leica GS18 I . . . . .	15
3.2	Optimaliseringsprosess for kameraposisjon til visuell posisjonering [14] . . . . .	16
3.3	a) Sony A7s b) Parametrene fra kalibreringen . . . . .	17
3.4	Oversiktskart over området . . . . .	19
3.5	Bilde av området før graving . . . . .	20
3.6	Oversiktsbilde av prøvegroppene . . . . .	21
3.7	Bilder fra ulike vinkler i grop 5 . . . . .	22
3.8	Veibanen til VP under fotografering av grop 4 . . . . .	23
3.9	Punktsky med tilhørende bilder fra grop 4, vist i Agisoft Metashape . . . . .	26
3.10	Resulterende punktskyer fra grop 5 vist i CC . . . . .	27
3.11	Punktsky av grop 4 generert i Leica infinity . . . . .	28

3.12	Ledningsseksjoner og validerings punkt (hvite) . . . . .	29
3.13	Georefererte bilder . . . . .	33
4.1	Grop 2 i grunnriss (a) Avvik fra valideringspunkt (b) Middelerdi for metodenenes avvik	36
4.2	Grop 4 i grunnriss (a) Avvik fra valideringspunkt (b) Middelerdi for metodenenes avvik	36
4.3	Samlet maksimalt avvik i grunnriss . . . . .	39
4.4	Samlet maksimalt avvik i høyde . . . . .	39
4.5	BoksploTT som viser gjennomsnitt og variasjon for samlet maksimalt avvik (a) Grunn- riss (b) Høyde . . . . .	40
4.6	CAD-tegning visualisert i Gemini terreng . . . . .	42
4.7	Ledningene visualisert i 3D . . . . .	42
4.8	Sammenligning med kartgrunnlaget . . . . .	44
4.9	Ledningene drapert på en terrengmodell . . . . .	45
5.1	Nærbilde av punktskyen i grop 4 . . . . .	49
D.1	Utsnitt av observasjonsfilen til GS18 I . . . . .	72



# Tabeller

3.1	Leica RTC360 spesifikasjoner . . . . .	16
3.2	Koordinater til passpunktene (Euref89 NTM10 NN2000) . . . . .	20
3.3	Antall bilder tatt med Sony A7 . . . . .	21
3.4	Antall bilder for VP . . . . .	24
3.5	Valideringsdata innmålt med GNSS . . . . .	24
3.6	Diameter til ledningene. De brune ledningene er nummerert fra venstre til høyre . . .	31
3.7	Bildekoordinater i DMS . . . . .	32
4.1	Middelverdi og standardavvik for grunnriss (cm) . . . . .	37
4.2	Middelverdi og standardavvik for høyde (cm) . . . . .	37
4.3	Målenøyaktighet for metodene i grunnriss og høyde (cm) . . . . .	38
4.4	Pilhøyde for metodene i grunnriss og høyde (cm) . . . . .	38
4.5	Forklaring til kompletthetstabell . . . . .	41
4.6	Kompletthetstabell for metodene utprøvd . . . . .	41
4.7	Gjennomsnittlig avstand fra kartgrunnlag . . . . .	43
4.8	Tegnforklaring til kartgrunnlag . . . . .	44

# Innhold

<b>1 Innledning</b>	<b>2</b>
1.1 Bakgrunn . . . . .	2
1.2 Mål for oppgaven . . . . .	3
1.3 Tidligere forskning . . . . .	3
1.4 Scan Survey As . . . . .	4
1.5 Tommy S. Elnæs Maskinentreprenør As . . . . .	4
1.6 Oppgavens struktur . . . . .	5
1.7 Fordeling av arbeidsoppgaver . . . . .	5
<b>2 Teori</b>	<b>6</b>
2.1 Ledningsregistreringsforskriften . . . . .	6
2.1.1 Hva skal registreres . . . . .	6
2.2 Nøyaktighetskrav i ledningsregistreringsforskriften . . . . .	7
2.2.1 Punktidentifikasjonsnøyaktighet . . . . .	8
2.2.2 Målenøyaktighet . . . . .	8
2.2.3 Nøyaktighet på målt høyde/bredde eller diameter . . . . .	8
2.2.4 Pilhøyde . . . . .	9
2.3 Målefeil . . . . .	10
2.4 Stereofotogrammetri . . . . .	10

2.4.1	Indre orientering . . . . .	11
2.4.2	Ytre orientering . . . . .	12
2.5	Koordinatsystem . . . . .	12
2.5.1	NTM10 . . . . .	12
2.5.2	NN2000 . . . . .	13
2.6	GML . . . . .	13
<b>3</b>	<b>Metode</b>	<b>15</b>
3.1	Utstyr og programvare . . . . .	15
3.1.1	Leica GS18 I . . . . .	15
3.1.2	Leica RTC360 . . . . .	16
3.1.3	Speilreflekskamera . . . . .	16
3.1.4	Agisoft Metashape . . . . .	17
3.1.5	CloudCompare . . . . .	17
3.1.6	Leica infinity . . . . .	18
3.1.7	Gemini terreng . . . . .	18
3.1.8	Leica Cyclone REGISTER 360 . . . . .	18
3.1.9	Jupyter Notebook . . . . .	18
3.1.10	ExifTool . . . . .	18
3.1.11	Pyproj . . . . .	18
3.2	Feltarbeid . . . . .	19
3.2.1	Feltarbeid med kamerametoden . . . . .	21
3.2.2	Feltarbeid med visuell posisjonering . . . . .	22
3.2.3	Laserskanning . . . . .	24
3.2.4	Innsamling av valideringsdata . . . . .	24
3.2.5	Problemer i felt . . . . .	24
3.2.6	Intervju . . . . .	25

3.3	Generering av punktsky . . . . .	25
3.3.1	Kamera metoden . . . . .	25
3.3.2	Visuell posisjonering . . . . .	27
3.3.3	Laserdata etterprosessering . . . . .	28
3.4	Analyse av punktskymodellene . . . . .	28
3.4.1	CloudCompare . . . . .	28
3.4.2	Nøyaktighet . . . . .	30
3.5	Utarbeiding av ferdig leveranse . . . . .	31
3.5.1	Registrering av egenskaper . . . . .	31
3.5.2	Billedokumentasjon . . . . .	32
3.5.3	Oppretting av GML-fil . . . . .	33
3.5.4	Sammenligning med kartgrunnlag . . . . .	34
3.5.5	Drapert på terrengmodell . . . . .	34
<b>4</b>	<b>Resultat</b>	<b>35</b>
4.1	Nøyaktighet . . . . .	35
4.1.1	Systematisk avvik . . . . .	35
4.1.2	Punktidentifikasjonsnøyaktighet . . . . .	37
4.1.3	Målenøyaktighet . . . . .	37
4.1.4	Pilhøyde . . . . .	38
4.1.5	Samlet maksimalt avvik . . . . .	38
4.2	Kompletthetstabell . . . . .	40
4.3	Ferdig leveranse . . . . .	41
4.3.1	Tidligere kartgrunnlag . . . . .	43
4.3.2	Visualisert over en terrengmodell . . . . .	44
<b>5</b>	<b>Diskusjon</b>	<b>46</b>

5.1	Metodenes nøyaktighet . . . . .	46
5.1.1	Kamerametoden . . . . .	46
5.1.2	Visuell posisjonering . . . . .	48
5.2	Fordeler med bruk av fotogrammetri . . . . .	48
5.2.1	Punktsky . . . . .	49
5.2.2	Andre fordeler . . . . .	50
5.2.3	Muligheter . . . . .	51
<b>6</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>52</b>
6.1	Videre arbeid . . . . .	52
<b>A</b>	<b>Intervju</b>	<b>54</b>
A.1	Tommy S. Elnæs Maskinentreprenør As . . . . .	54
A.2	Per Ola Berntsen . . . . .	60
<b>B</b>	<b>Landmålingsrapport</b>	<b>62</b>
<b>C</b>	<b>GML-fil</b>	<b>67</b>
<b>D</b>	<b>Rapporter</b>	<b>72</b>

# Kapittel 1 | Innledning

## 1.1 Bakgrunn

Det har lenge vært etterlenget med en standard for registrering og dokumentering av infrastruktur under bakken. Nøyaktigheten på ledningskart kan ofte variere med opptil flere meter, og det avdekkes stadig ledninger som ikke er kartlagt. Dette skaper daglige problemer for graveentreprenører, når de må arbeide utifra dårlig stedfestet ledningsdata. I Norge oppstår det rundt 3000 graveskader hvert år. Graveskader forårsaker samfunnet mellom 655 og 909 millioner kroner i samfunnsøkonomiske kostnader hvert år [4]. Stadig mer infrastruktur legges i grunnen, og behovet for bedre kartlegging av dette er derfor svært økende. På bakgrunn av dette ble det utarbeidet en forskrift som trådte i kraft 1. Juli 2021. Forskriften har som formål å sikre en nøyaktig og pålitelig innmåling av ledninger, samt gjøre det enklere å få tilgang til denne informasjonen [8].

I anledning forskriften ønsket vi sammen med Scan Survey å undersøke fotogrammetri som metode for innmåling av ledninger i åpen grøft. Vi vil derfor vurdere om fotogrammetri egner seg i henhold til standarden, og se på hvilke muligheter som kan åpne seg dersom dette er tilfellet. Graveprosjekter har ofte stort tidspress, og grøfter skal ofte graves igjen så fort som mulig (A.1). Tanken var derfor at fotogrammetri kan effektivisere innmålingsprosessen av ledninger. Fotogrammetri kan gi entreprenøren muligheten til å ta bilder av ledningene på egenhånd. Passpunktene kan enten måles inn med maskinstyring, eller på et senere tidspunkt av en landmåler.

## 1.2 Mål for oppgaven

Det har blitt utarbeidet et hovedmål og tre delmål. Dette er mål som vil bli undersøkt og diskutert gjennom oppgaven.

### Hovedmål

Undersøk og vurder fotogrammetri som metode til innmåling av ledninger, i henhold til ledningsregistreringsforskriften.

### Delmål

1. Undersøk nøyaktigheten til de ulike metodene, og vurder om de er innenfor kravene satt av standarden.
2. Undersøk fordeler og muligheter med bruk av fotogrammetri som innmålingsmetode.
3. Utarbeid en ferdig leveranse med fotogrammetri som innmålingsmetode.

For å undersøke hovedmålet i oppgaven, ble det tatt i bruk to ulike metoder. Begge metodene benytter seg av nærfotogrammetri for å generere punktskyer. I den første metoden tok vi bilder med Sony A7s speilreflekskamera. Denne metoden vil videre i oppgaven bli kalt kamerametoden. Den andre metoden benytter den visuelle posisjoneringsteknologien til Leica GS18 I. Det ble også samlet inn data med laserskanning. Laserskanningen er ikke en veldig sentral del av oppgaven, og vil derfor ikke bli gjennomgått i detalj. Resultatet fra laserskanning ble sammenlignet med punktskyene fra fotogrammetri.

## 1.3 Tidligere forskning

Nærfotogrammetri har blitt forsket mye på, og blir anvendt i mange ulike fagfelt. I arkitekturen er det blant annet blitt forsket på for å bevare kulturminner [21]. Det å benytte fotogrammetri for dokumentasjon og visualisering gir mange fordeler. Det gir blant annet muligheten til å arbeide på 3D-modellene selv etter objektet er tapt. På samme måte kan ledninger som blir nedgravd, bli studert i ettertid.

Teknologien til bildesensoren er en av nøkkelfunksjonene når det kommer til fotogrammetri. Generelt sett er det best å bruke et kamera som gir rask datafangst, og høyest mulig oppløsning og nøyaktighet [10]. Med dagens teknologi har mobiltelefoner mulighet til å ta høyoppløselige bilder, som kan brukes

til nærfotogrammetri. En studie gjort ved Kafr El-Sheikh University i Egypt, har sammenlignet tre mobilkameraer med det høyoppløselige Nikon D3100 kameraet [6]. Det ble konkludert at nøyaktigheten til mobilkameraene er god, sammenlignet med det høyoppløselige kameraet. Påvirkningen av antall passpunkt og deres plassering, ble også undersøkt. I studien ble det totalt brukt 16 passpunkt, fordelt rundt objektet. Studien konkluderte at passpunktene bør være godt fordelt rundt objektet, og at nøyaktigheten øker raskt med bruk av flere passpunkt.

Det har også blitt gjennomført en evaluering av den visuelle posisjoneringsteknologien til GS18 I, der nøyaktigheten ble satt på prøve. University of Pavia gjennomførte studien, der 10 punkt på en fasade ble målt gjentatte ganger [3]. De resulterende RMSE verdiene ble henholdsvis 45, 22 og 66 mm, for x, y og z i et lokalt kartesisk system.

## 1.4 Scan Survey As

Scan Survey er et av Norges ledende bedrifter innenfor fagfeltet geomatikk. De driver blant annet med digitale terrengmodeller, fastmerkeetablering og analyse av geodetiske nett. Scan Survey tar mye i bruk fotogrammetri til innmåling. Gjennom egenutviklede metoder leverer Scan Survey 3D-modeller av kummer og rørstrekk for VA. Metodene kalles 3D-kum og 3D-rør, og er svært nyttig for prosjekter i nærheten av kritisk infrastruktur [13]. Tradisjonelt har man benyttet prøvegraving for å avdekke ledningens plassering. Dette gir en punktvis plassering av ledningene, og gravingen medfører store inngrep i terrenget. Dette løser Scan Survey med måleutstyr som fysisk trekkes gjennom rør, og tar bilder til fotogrammetri. Utstyret benytter IMU og innmålinger fra inn og utløp, for å georeferere med en nøyaktighet på centimeter nivå.

## 1.5 Tommy S. Elnæs Maskinentreprenør As

Bedriften hadde oppstart i 1989, og har på det meste 10-12 ansatte. De har gravd i Oslo siden 2000 skiftet, og driver stort sett med renovering av VA. Arbeidsoppgavene dreier seg mye om prøvegraving, trafikk teknisk, og andre mellomstore oppdrag i Oslo/Viken-området.



## 1.6 Oppgavens struktur

Oppgaven består av seks hovedkapitler.

### **Kapittel 1. Innledning**

Presentasjon av bakgrunn og mål for oppgaven. Kapitlet tar også for seg tidligere forskning.

### **Kapittel 2. Teori**

Kapitlet går gjennom grunnleggende teori, som er nødvendig for å forstå oppgaven.

### **Kapittel 3. Metode**

Beskrivelse av utstyr og programvare benyttet i oppgaven. Feltarbeid og etterprosessering blir også gjennomgått.

### **Kapittel 4. Resultat**

Resultatet fra metoden blir presentert. Dette innebærer mål på nøyaktighet, en ferdig leveranse, og annen analyse.

### **Kapittel 5. Diskusjon**

Resultatene framlagt i forrige kapittel blir diskutert, og analysert i forhold til målene.

### **Kapittel 6. Konklusjon**

Svar på hovedmålet presentert i innledning, og forslag til videre arbeid.

## 1.7 Fordeling av arbeidsoppgaver

Denne oppgaven er skrevet i samarbeid mellom to masterstudenter i Geomatikk. Oppgavene utført i metoddelen, ble derfor fordelt på følgende måte:

- Sjur Spjeld Klemetsen genererte punktsky fra VP og laserskanning, og utarbeidet den ferdige leveransen.
- Ola Hellenes genererte punktsky fra kamerametoden og utførte beregninger på nøyaktighet.

Resten av oppgaven ble skrevet i fellesskap, med et tett samarbeid på de øvrige arbeidsoppgavene.

# Kapittel 2 | Teori

## 2.1 Ledningsregistreringsforskriften

Høsten 2015 fikk Statens Kartverk et oppdrag fra Kommunal- og moderniseringsdepartementet, om å utarbeide et forslag til felles krav for innmåling av ledninger og andre anlegg. Kartverket med hjelp fra ledningsaktører og andre berørte parter, har siden jobbet med å utarbeide denne standarden, samt to tilhørende produktspesifikasjoner. Forskriften trådte i kraft 1. juli 2021, og har ikke tilbakevirkende kraft. Standarden forskriften viser til, gjelder alle nye ledninger og anlegg i grunnen, sjø og vassdrag. Standarden inngår også for eksisterende ledninger som avdekkes, og eventuelt flyttes i forbindelse med anleggsarbeid. Standarden definerer hvordan eieren av infrastruktur skal registrere og dokumentere opplysninger om ledninger. Opplysninger om egenskaper og plassering, er viktig informasjon når ledningen på et senere tidspunkt skal lokaliseres.

### 2.1.1 Hva skal registreres

Det er definert et krav om at alle ledninger skal måles inn med x, y og z koordinater. Kravet om innmåling av høydekoordinat, er en av de største endringene. Tidligere var det ikke krav om å dokumentere hvor langt under bakken en ledning kunne ligge. Det kan forårsake store problemer for entreprenører når de skal grave (A.1). Det er også krav om registrering av diameter til ledninger, slik at de kan gjenskapes som 3D-objekt på et senere tidspunkt. Alle ledninger skal også være dokumentert med georefererte bilder. Det skal gi en visuell oversikt over tilstanden til ledningene, og omgivelsene rundt. I tillegg til nevnte krav, skal følgende egenskaper registreres for hver ledningstrase:

- Objekttype
- Stedfestningsmetode
- Målenøyaktighet
- Stedfestingsdato

- Stedfestingsforhold
  - Hvor godt synlig objektet var under stedfestingen.
- Maksimalt 3D avvik
  - Det største avviket mellom ethvert sted på modellert ledning, og samsvarende punkt på det virkelige objektet.
- Høydereferanse
  - Hvor på ledningen objektets høydekoordinat refererer til.
- Vertikalnivå
  - Hvor objektet ligger i forhold til jordoverflaten. Dette kan for eksempel være under sjøen, eller i en åpen grøft.

## 2.2 Nøyaktighetskrav i ledningsregistreringsforskriften

“Stedfestingen skal skje slik at ledningsanleggets beliggenhet og sammenheng kan dokumenteres med tilfredsstillende nøyaktighet. For at kravene ikke skal være strengere enn nødvendig, er de tilpasset ulike områdetyper” [17]. Det aktuelle området i denne oppgaven ligger i områdetype 1, og har det strengeste kravet (2.1). Hvilken områdetype ledninger befinner seg i, avhenger av hvor i landet man er. Områdetype 1 er for tettbygde strøk, der det er lite med plass. Det kreves derfor en strengere nøyaktighet.

Områdetyper		Maksimalt tillatt avvik for et hvert sted på ytre avgrensning	
		Grunnriss	Høyde
Land-områder	Område 1	20 cm	30 cm
	Område 2	40 cm	50 cm
Sjø-/vann-områder	Område 3	2 meter	2 meter
	Område 4	30 meter	10 meter

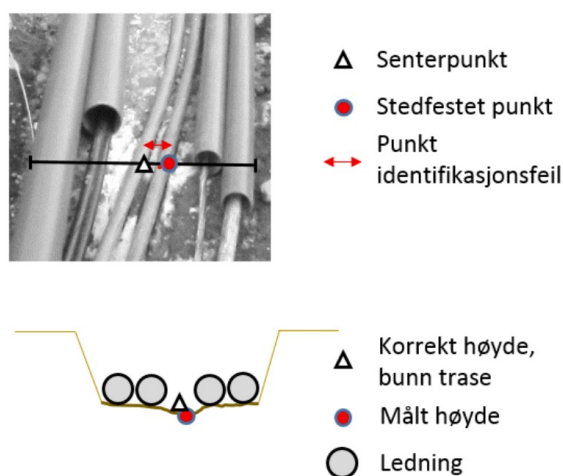
Figur 2.1: Nøyaktighetskrav for ulike områdetyper [17]

Stedfestingsnøyaktigheten for et ledningsobjekt avhenger av flere parametre. Standarden fastslår et krav som sier at ledningsobjekter skal finne seg innenfor et maksimalt tillatt avvik. Feilforplantningsloven (2.3) med standardavvikene for punktidentifikasjon( $p$ ), målenøyaktighet( $m$ ), og bredde/-diameter( $b$ ), brukes til å finne standardavviket til ledningsobjektets ytterkanter. Standardavviket multipliseres med 3 for å finne det maksimale avviket til objektets ytterkanter. Til slutt blir pilhøyden( $pil$ ) summert på, for å finne ledningsobjektets samlede maksimale avvik (2.1). Andre kombinasjoner for beregning av samlet maksimalt avvik, kan også tilfredstille kravet [17].

$$SMA = \left( \sqrt{(\sigma p)^2 + (\sigma m)^2 + (\sigma b)^2} \right) 3 + pil \quad (2.1)$$

### 2.2.1 Punktidentifikasjonsnøyaktighet

Nøyaktigheten avhenger av hvor på ledningstraseen senterpunktet blir plassert [17]. I vårt tilfelle vil det være plasseringen av senterpunkt i punktskyen under vektorisering. Senterpunkt i ledningstraseer med flere ledninger, kan være spesielt vanskelig å fastsette som vist i figur 2.2. Senterpunktet kan da befinne seg i luften mellom ledningene.



Figur 2.2: Punktidentifikasjonsnøyaktighet til en ledningstrase ([17])

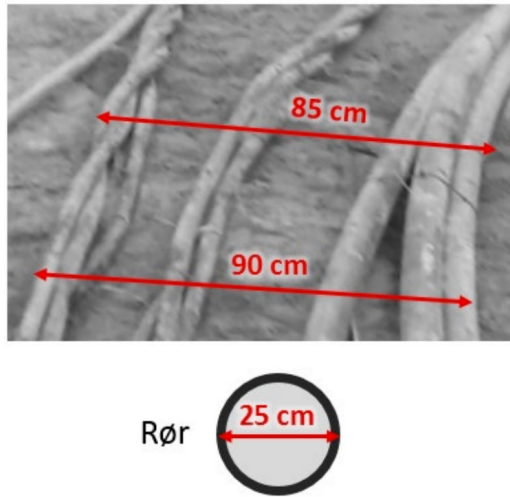
### 2.2.2 Målenøyaktighet

Målenøyaktigheten refererer til hvor nøyaktig målemetoden greier å bestemme koordinatene til det stedfestede punktet [17]. Målenøyaktigheten til fotogrammetri blir først og fremst bestemt av hvor nøyaktig passpunktene er målt inn. I tillegg bidrar registreringen av passpunkt til nøyaktigheten. Punktetthet i punktskyen grunnet kameraets optikk, vil også påvirke nøyaktigheten [10].

### 2.2.3 Nøyaktighet på målt høyde/bredde eller diameter

Bredde og høyde på en ledningstrase kan variere. Det kan derfor være vanskelig å angi en felles bredde eller høyde. Diameteren til en ledningstrase, blir målt fra ytterkantene til ledningene (2.3). Dersom bredden/høyden varierer for mye i forhold til nøyaktighetskravene, må ledningstraseen deles

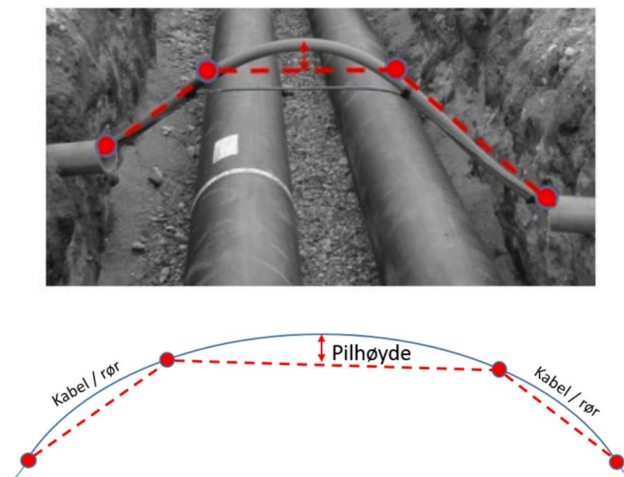
i flere traseseksjoner med riktig bredde/høyde. Ledningstraseer som kun består av en enkelt ledning, kan presist angis med ytre diameter [17].



Figur 2.3: Varierende bredde på en ledningstrase [17]

## 2.2.4 Pilhøyde

Ved vektorisering av ledningsobjektet blir det gjort en generalisering av ledningen. Avviket mellom prosjektet ledning og objektets faktiske beliggenhet, omtales som pilhøyde [17]. Figur 2.4 viser avviket en slik generalisering kan gi i høyde.



Figur 2.4: Pilhøyde i vertikalplanet [17]

## 2.3 Målefeil

“Målingene som foretas kan ikke være fullkomne, og derfor foretar man i alminnelighet ikke bare én, men en rekke målinger for å oppnå større nøyaktighet. Disse målingene er beheftet med feil” [19].

Målefeil vil alltid være tilstede, og må derfor korrigeres. Målefeil kan deles inn i systematiske og tilfeldige feil. Systematiske feil skyldes feil i målemetode eller måleredskap, og gir avlesninger med for høy eller for lav verdi hver gang. Hvis det er små systematiske feil, er målingen nøyaktig. Uavhengig av metode og redskap, vil gjentatte målinger av samme størrelse gi forskjellig resultat. En metode eller et redskap som gir liten tilfeldig feil, kan kalles presis [9].

For å rapportere variasjonen som tilfeldige feil medfører, bruker man ofte et spredningsmål. Et vanlig mål på spredningen er standardavvik. Standardavvik gir verdienes gjennomsnittlige avstand fra gjennomsnittet, og er definert i formel 2.2. En verdi som er 3 ganger standardavviket kalles ofte grove feil, og forekommer sjeldent i stokastiske variabler.

$$s^2 = \frac{1}{n}((x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2) \quad (2.2)$$

For en størrelse som avhenger av flere målte størrelser, benyttes Gauss feilforplantningslov. Feilforplantningsloven viser hvordan feil propageres i en beregnet størrelse med flere målte variabler. Parametrene  $x$  og  $y$  fra formel 2.3, er målte størrelser med sine egne måleusikkerheter.

$$\delta f = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\delta x\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\delta y\right)^2 + \dots} \quad (2.3)$$

## 2.4 Stereofotogrammetri

For at oppgaven skal forstås av folk uten kjennskap til fotogrammetri, vil de grunnleggende prinsippene bak fotogrammetri bli forklart. Fotogrammetri handler om å gjøre målinger på fotografiske bilder. I nærfotogrammetri blir det tatt bilder på nært hold, ofte med et håndholdt kamera. Dette gjør at man kan skaffe informasjon om størrelse, form, og beliggenhet til objektet som blir fotografert. Ved stereofotogrammetri blir objektet fotografert fra to eller flere ulike posisjoner. Deretter blir fotograferingssituasjonen rekonstruert i en orienteringsprosess. Denne orienteringsprosessen består av to deler, kalt indre- og ytre orientering [5].

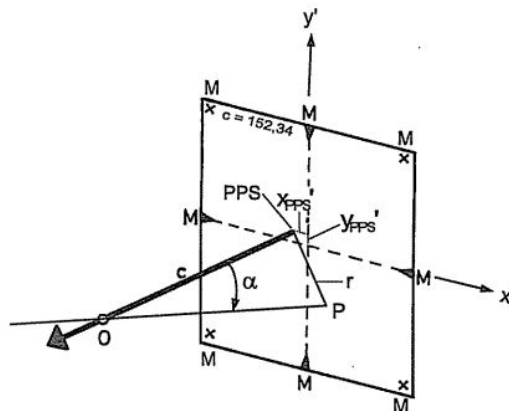
Ved å ta bilder av det samme objektet fra ulike posisjoner, vil et vilkårlig punkt være synlig i flere

bilder. For hvert bilde kan en rett linje bli dratt fra kameraneteret, til pikselet i bildet. Linjene fra alle bildene vil krysse på ett punkt, og dermed gi 3D posisjonen til det vilkårlige punktet [15]. På denne måten kan det etableres punktskyer av omgivelsene, ved å ta bilder fra mange ulike posisjoner.

### 2.4.1 Indre orientering

“Med indre orienteringselementer forstås de størrelser, vedrørende kameraets indre geometri og annet, som må være kjent for at den strålebunten som danner bildet, skal kunne rekonstrueres” [1]. Den indre orienteringen definerer strålebuntens form (2.5). Størrelsen til den indre orienteringen blir bestemt under en kamerakalibrering. Følgende størrelser blir da estimert:

- Hovedpunktets bildekoordinater (PPS)
  - Punktet som går fra bildeplanet, normalt ned på projeksjonssenteret.
- Kamerakonstant ( $c$ )
  - Distanse fra projeksjonssenter normalt ned på bildeplanet, gjennom hovedpunktet.
- Bildedeformasjon ( $p$ )
  - Korrigerer for deformasjon av linsesystemet. I en perfekt linse går lysstrålen parallelt inn og ut av linsesystemet, men i praksis er det aldri tilfelle.
- Radiell fortegning ( $k$ )
  - På grunn av sentralprojeksjonen blir objekter i utkanten av bildet forskjøvet i forhold til korrekt posisjon.



Figur 2.5: Den indre geometrien til kameraet [1]

## 2.4.2 Ytre orientering

Ytre orientering angir strålebuntens beliggenhet i rommet [1]. Beliggenheten blir beskrevet i foto-graferingsøyeblikket med totalt seks parametre.  $(x, y, z)$  beskriver kameraets posisjon, og  $(\omega, \phi, \kappa)$  beskriver kameraets orientering. Parametrene til den ytre orienteringen kan enten estimeres ved direkte bestemmelse, eller ved tilbakeskjæring i rommet. Ved direkte bestemmelse benyttes INS og GNSS, for å regne ut de ytre parametrene. Tilbakeskjæring i rommet benytter målte bildekoordinater for gittpunkt, til å finne posisjonen og orienteringen til kameraet.

## 2.5 Koordinatsystem

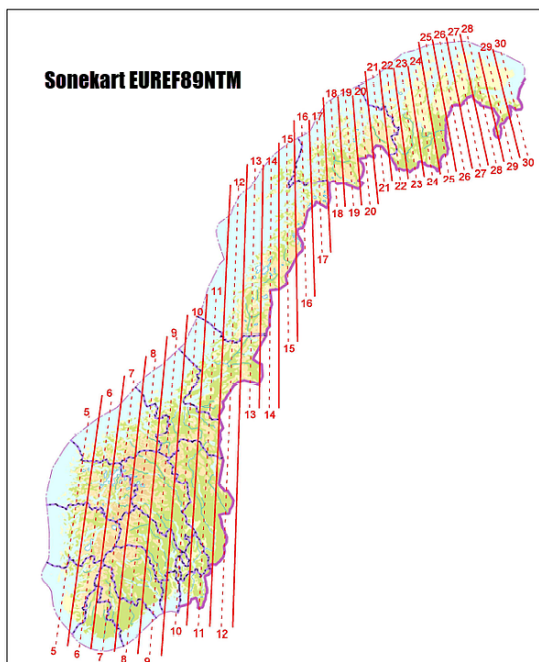
Det offisielle geodetiske datumet i Norge er EUREF89 [18]. Datumet definerer en ellipsoide, som punktene på jorden blir overført til. Punktene kan deretter bli overført til kartplanet ved hjelp av en kartprojeksjon. EUREF89 sørger for et homogent og nøyaktig geodetisk grunnlag, som for de fleste formål kan ansees som feilfritt. Den offisielle kartprojeksjonen til EUREF89 er UTM. Det medfører konsekvenser som blant annet går utover byggeprosjekter med høy toleranse for nøyaktighet. UTM-projeksjonen har en målestokkfaktor på 0.9996 i sentralmeridianen. En avstand målt i terrenget må derfor korrigeres med inntil 400 ppm, for å kunne gjøres om til en avstand i kartplanet.

### 2.5.1 NTM10

For å løse problemet med målestokkfaktoren i byggebransjen, ble det innført en sekundær offisiell projeksjon [18]. Projeksjonen heter NTM, og har sonene 5–30 (2.6). NTM har en maksimal målestokk korreksjon på 11 ppm. Det løser problemene til byggeprosjekter som krever høy nøyaktighet. NTM har følgende egenskaper:

1. En grads sonebredde
2. Sentralmeridian hver halve grad
3. Målestokk 1.0000 i sentralmeridianen
4. 1 000 000 i falsk offset nord og 100 000 i falsk offset øst





Kilde: Kartverket

Figur 2.6: Soneinndeling for NTM [18]

## 2.5.2 NN2000

NN2000 er det nasjonale høydesystemet i Norge [11]. Systemet omfatter et høydedatum, og et nett med fastmerker satt i dette datumet. Høydedatumet er et referansesystem som angir hvor mange meter over havet et punkt ligger. Nullhøyden er satt til havets middelvannstand.

## 2.6 GML

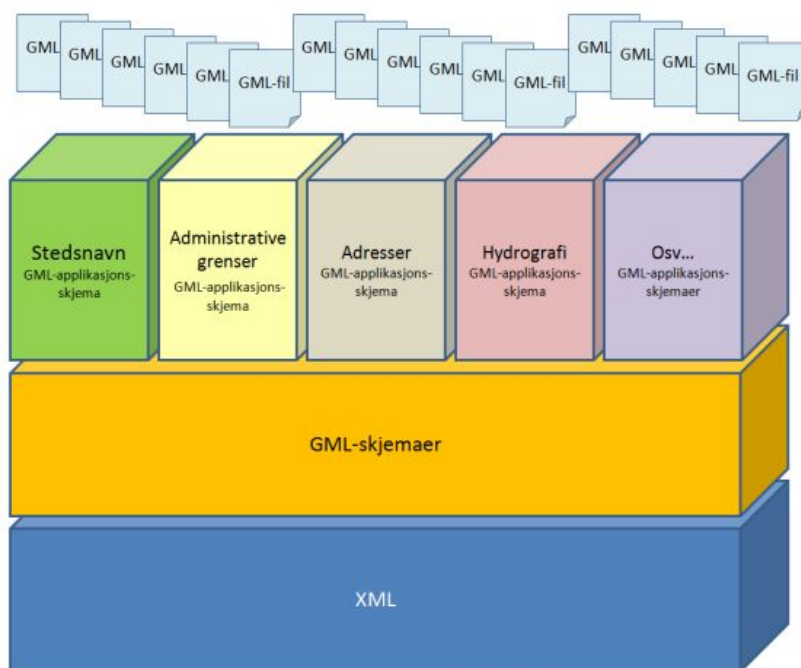
En av endringene som følger med LRF er kravet om levering i GML format. GML står for «Geography Markup Language», og er et XML-basert format for utveksling av geografisk informasjon [7]. GML er lagd av OGC, og standardisert av ISO. GML er bygget opp av tre hoveddeler:

1. GML-skjema
2. GML-applikasjonsskjema
3. GML-fil

Et GML-skjema er en generell regelbeskrivelse som viser til grunnleggende geografiske objekter, og tilhørende egenskaper. Ved å følge regelbeskrivelsene for GML, kan man enkelt lage GML-filer med objekter som punkt, linje og polygon. GML-skjema lages, forandres og forvaltes av OGC. De sørger for at skjemaene er kvalitetssikret til enhver tid.

Hvis man vil beskrive mer komplekse objekttyper, kan man benytte seg av et GML-applikasjonsskjema. I et applikasjonsskjema kan man definere nye og mer avanserte geografiske objekttyper, ved å bruke ferdig definerte objekttyper fra et GML-skjema. Hvis en GML-fil er laget i samsvar med et applikasjonsskjema, kan man være sikker på at datastrukturen er ivaretatt. Applikasjonsskjema lages, forandres, og forvaltes innenfor det enkelte domene.

GML-filen inneholder geografisk data om objekter fra virkeligheten. Utformingen av objektene er beskrevet i tilhørende GML-applikasjonsskjema. Dette applikasjonsskjemaet vil igjen referere til ett eller flere GML-skjemaer. Hvordan de ulike delene forholder seg til hverandre, er illustrert i figur 2.7.



Figur 2.7: Oversikt over oppbyggingen til GML [7]

# Kapittel 3 | Metode

## 3.1 Utstyr og programvare

### 3.1.1 Leica GS18 I



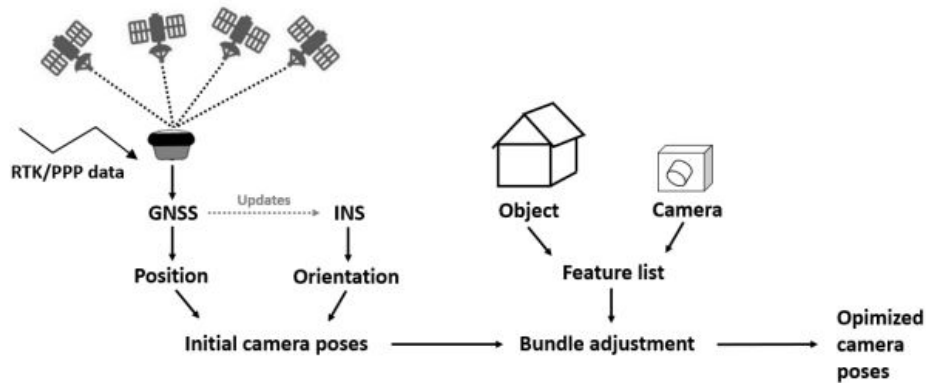
Figur 3.1: Leica GS18 I

GS18 I (3.1) er en GNSS RTK rover produsert av Leica. GS18 I gir brukeren flere muligheter for hvordan innmålingen kan foregå. Ved å kombinere integrert GNSS, IMU og kamerateknologi, kan den benytte seg av visuell posisjoneringsteknologi til å måle punkter fra avstand. Dette gjøres ved å måle direkte på bildene, eller på en punktsky i etterkant. GS18 I kan også brukes som en tradisjonell GNSS rover, der målestangen plasseres fysisk på objektet. Den innebygde tiltkompensatoren kommer da til stor nytte, ved at man ikke trenger å holde målestangen i vater.

#### Visuell posisjonering

I denne oppgaven er det den visuelle posisjoneringsteknologien til GS18 I som er satt i fokus. VP benytter seg av GNSS og IMU, til å regne ut initiell posisjon og orientering for hvert enkelt bilde [14]. Under innmåling vil sensorene motta korreksjonsdata, og informasjon om satellitter. Dette blir brukt til å regne ut presis GNSS informasjon. Sensorens kraft, vinkelhastighet og retning, vil bli målt og

rapportert av den innebygde IMU-en. Orienteringen til sensoren vil derfor alltid forbli kjent. I tillegg blir egenskaper registrert og gjenkjent i ulike bilder. Dette kan for eksempel være hjørner til objekter. Den optimaliserte kameraposisjonen til hvert bilde blir til slutt beregnet ved en strålebuntutjevning (3.2).



Figur 3.2: Optimaliseringsprosess for kameraposisjon til visuell posisjonering [14]

### 3.1.2 Leica RTC360

Leica RTC360 er en liten og portabel laserskanner. Skanneren benytter lidar teknologi til å lage tette punktskyer av omgivelsene (D). Spesifikasjoner til skanneren er vist i tabell 3.1.

Tabell 3.1: Leica RTC360 spesifikasjoner

Maksimal avstand	130m
Oppløsning	3/6/12mm @ 10m
Skannerate	Opptil 2 millioner punkt/s
Laserklasse	1
Nøyaktighet 3D	1.9mm @ 10m, 2.9mm @ 20m, 5.3mm @ 40m
FOV	360 grader

### 3.1.3 Speilreflekskamera

For å fotografere ledningene fra ulike posisjoner, ble det benyttet Sony A7s ILCE-7S speilreflekskamera (3.3). Bildene har en oppløsning på 2768x1848 piksler, og en maksimal brennvidde på 35 mm. Kameraet var kalibrert på forhånd, med parametre vist i figur 3.3.



(a)

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
- <calibration>
  <projection>frame</projection>
  <width>2768</width>
  <height>1848</height>
  <f>1447.9781452787795</f>
  <cx>-3.0868400716722904</cx>
  <cy>6.060600330119954</cy>
  <b1>0.33344008326737967</b1>
  <b2>0.09532171522549807</b2>
  <k1>-0.08246386749370356</k1>
  <k2>0.05625221543509069</k2>
  <k3>-0.007994797348023809</k3>
  <k4>0.0</k4>
  <p1>5.5969069778294775e-05</p1>
  <p2>-0.00022430105659035344</p2>
  <p3>0.000000000000000</p3>
  <p4>0.000000000000000</p4>
  <date>2019-07-11T09:26:08Z</date>
</calibration>
```

(b)

Figur 3.3: a) Sony A7s  
b) Parametrene fra kalibreringen

### 3.1.4 Agisoft Metashape

Agisoft Metashape er en programvare for fotogrammetriske prosesser. Programvaren er tilgjengelig i både standard, og profesjonell utgave. Den profesjonelle utgaven gjør det mulig å utføre flere forskjellige målinger og analyser. Metashape kan prosessere alt fra bilder tatt med terrestrisk kamera, til mer høyoppløselige bilder fra satellitt og fly. Av prosessene i programmet er det mulig å produsere mange ulike modeller:

- 3D punktsky
- 3D modell
- Digitale høydemodeller: DTM og DOM
- Ortomosaikk

### 3.1.5 CloudCompare

CloudCompare er et program med åpen kildekode, for behandling, sammenligning og prosessering av 3D punktskyer. Programmet gjør det lett å importere, visualisere og jobbe med flere punktskyer samtidig. CC ble originalt utviklet for å sammenligne to punktskyer. I senere tid har det derimot blitt en mer generisk programvare, for behandling av punktskyer. Dette innebærer avanserte algoritmer for blant annet registrering, statistikk, beregning, segmentering og visualisering.

### **3.1.6 Leica infinity**

Leica infinity er en programvare for landmålere, utviklet for å behandle, prosessere og analysere innmålingsdata. Måledata kan komme fra totalstasjon, GNSS-data, droner og fotogrammetri. Programvaren inneholder mange forskjellige verktøy som er nyttig for generering av punktskyer.

### **3.1.7 Gemini terreng**

Gemini terreng er et 3D-verktøy som dekker oppgaver innenfor planlegging, prosjektering, utførelse og dokumentasjon. Programmet er utviklet av det norske selskapet Volue, og blir brukt i forbindelse med de fleste infrastrukturprosjekter i Norge. Gemini terreng er kompatibelt med et stort utvalg filformater, og har mange forskjellige funksjoner for analyse og redigering. Programmet gjør det også mulig å utføre transformasjoner mellom koordinatsystemer, og arbeidsoppgaver kan utføres i både 2D og 3D.

### **3.1.8 Leica Cyclone REGISTER 360**

Cyclone er et program utviklet av Leica Geosystems, for behandling og registrering av punktskyer. I programmet er det mulig å sammenkoble og georeferere skann, samlet inn med en laserskanner.

### **3.1.9 Jupyter Notebook**

Jupyter Notebook er en web-applikasjon som kan brukes til å skrive og visualisere Python kode.

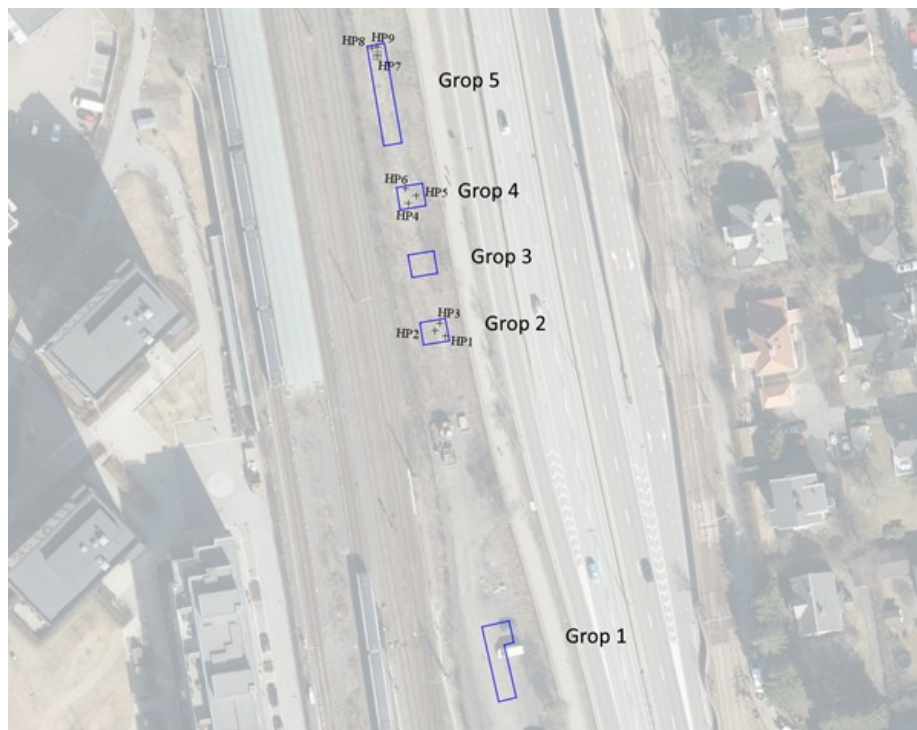
### **3.1.10 ExifTool**

ExifTool er et åpent kildekode-verktøy som lar brukeren endre og skrive metadata til filer. Verktøyet kan blant annet brukes til å geotagge bildefiler.

### **3.1.11 Pyproj**

Pyproj er et åpent kildekode-bibliotek for Python, og brukes til koordinattransformasjoner.

## 3.2 Feltarbeid



Figur 3.4: Oversiktskart over området

Feltarbeid for oppgaven ble gjennomført torsdag 9. Desember 2021. Sweco var hovedoppdragsgiver, og leide inn underleverandørene Scan Survey AS og Tommy S. Elnæs Maskinentreprenør As. De ble leid inn for å gjennomføre henholdsvis innmåling av ledninger, og graving av prøvegroper. Sweco planlegger å bygge gangbro over t-banesporet ved Storo stasjon, og ønsker derfor å måle inn ledningene i det aktuelle området (3.4). Feltarbeidet til denne oppgaven ble gjennomført samtidig som Scan Survey gjennomførte sine målinger. Det aktuelle området er en anleggsplass, og det ble derfor tatt i bruk koordinatsystemet Euref89 NTM10. Det ble totalt gravd fem prøvegroper, hvorav grop 2, 4 og 5 er benyttet i denne oppgaven. I området er det kartlagt to ledningstraseer fra før. Når prøvegroperne ble gravd opp, viste det seg at det lå opptil seks ledninger i de ulike gropene. Det ble avdekket en grønn høyspentkabel, en svart telekabel, og en lavspent ledningstrase med fire brune kabler.

Det ble først målt inn passpunkt i gropene med GNSS (3.2). Passpunktene vil fungere som sammenbindingspunkt, og sørge for at modellene blir georeferert. Passpunktene i grop 2 og 4 er spraymerker på toppen av trestikk. I grop 5 ble det tatt i bruk spraymerker på bakken istedenfor. Punktene ble målt inn to ganger, med et tidsintervall på en time. De to målingene ble deretter midlet.



Figur 3.5: Bilde av området før graving

Det ble målt inn toppunkt langs alle ledningene med GNSS. Punktene skal fungere som et sammenligningsgrunnlag for de andre modellene. Selve datainnsamlingen bestod av å ta overlappende bilder, med både speilreflekskamera og VP. Dette ble gjennomført på alle tre gropene (3.6). Det ble også laserskannet med RTC360 i grop 4, for å samle inn en tett punktsky av den mest innholdsrike gropen.

Tabell 3.2: Koordinater til passpunktene (Euref89 NTM10 NN2000)

		X	Y	Z
<b>Grop 2</b>	HP1	1216597.371	115614.649	109.667
	HP2	1216598.391	115612.305	109.820
	HP3	1216600.148	115613.209	109.670
<b>Grop 4</b>	HP4	1216626.214	115604.445	110.041
	HP5	1216628.027	115606.053	109.879
	HP6	1216629.469	115603.627	109.970
<b>Grop 5</b>	HP7	1216658.496	115595.297	110.454
	HP8	1216659.969	115593.936	110.410
	HP9	1216660.430	115595.220	110.390





(a) Grop 2

(b) Grop 4



(c) Grop 5

Figur 3.6: Oversiktsbilde av prøvegropene

### 3.2.1 Feltarbeid med kamerametoden

Det ble tatt overlappende bilder for å generere punktskyer av de ulike prøvegropene. For å sikre nok data ble det tatt flere bilder enn nødvendig. Antall bilder tatt fra hver grop er vist i tabell 3.3.

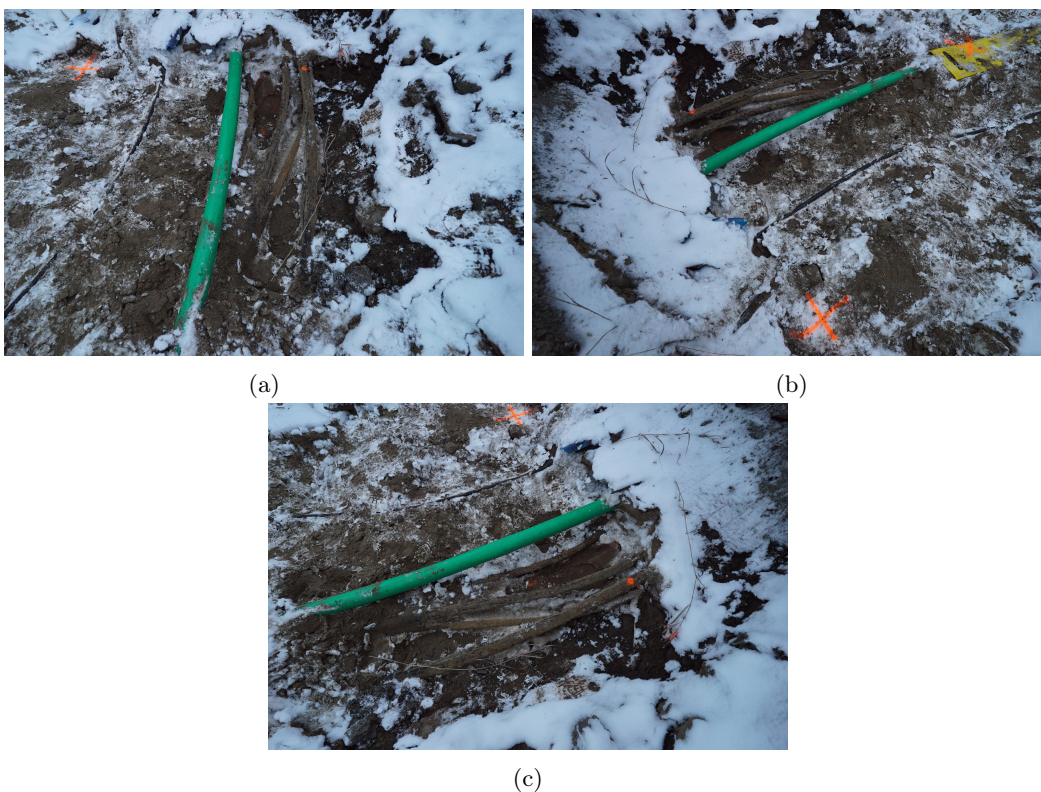
Tabell 3.3: Antall bilder tatt med Sony A7

Grop	Antall bilder
2	89
4	52
5	62

Når det blir tatt bilder som skal brukes til fotogrammetri, er det flere faktorer som må tas hensyn til [2]. Det er viktig at bildene blir tatt med god stereodekning, som vist i figur 3.7. Dårlig lysforhold vil medføre at egenskaper på objektene ikke blir fanget opp. Objektene og omgivelsene som fotograferes, kan heller ikke ha for homogene egenskaper. Det vil medføre at det blir vanskelig å fange opp egenskapene til ledningene. Kamerametoden benytter seg av kjente passpunkt i terrenget, til å regne

ut ytre orientering. Følgende faktorer ble tatt hensyn til under fotograferingen i felt:

- Det må være minst tre passpunkt til georeferering [20].
- Et vilkårlig passpunkt må være godt synlig i minst to bilder.
- Et vilkårlig punkt på objektet bør være synlig i minst to bilder. Det er derfor viktig med nok bilder og bildeoverlapp.
- Fotografering fra ulike vinkler for å sikre god stereodekning av objektet.
- Objektet bør være mulig å skille ut fra omgivelsene.
- Gode lysforhold. Verken for lite eller for mye lys.



Figur 3.7: Bilder fra ulike vinkler i grop 5

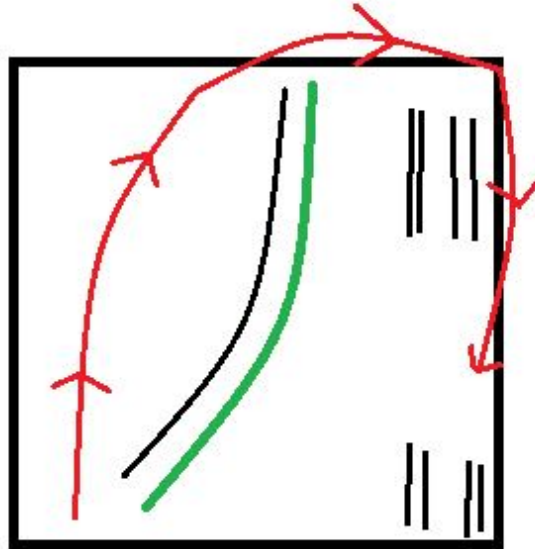
### 3.2.2 Feltarbeid med visuell posisjonering

Måleboken Leica CS20 i kombinasjon med GS18 I, ble brukt for å måle inn ledningene med visuell posisjonering. GS18 I bruker det innebygde kameraet på antennen, samt de interne sensorene, til å

ta orienterte og georefererte bilder. Funksjonen «Fang bildegruppe» ble brukt for å starte fotograferingen. Under fotograferingen ble det gått i en kurve langs gropa, med kamera rettet mot ledningene (3.8). Da vi var ferdige med fotograferingen ble bildene overført fra antennen til måleboken, ved hjelp av et trådløst lokalt datanett. Med VP er det viktig å ta hensyn til mange av de samme faktorene som med kamerametoden. Visuell posisjonering trenger derimot ikke definerte passpunkt i terrenget.

Med VP er det viktig å passe på følgende faktorer [12]:

- Antennens kamera må være orientert mot objektet av interesse.
- Motta RTK-korreksjoner for GNSS-posisjonen.
- Tilt-kompensatoren må være aktivert og initiert.
- Hold en avstand på 2-10 m fra måleobjektet.
- Gå i normalt tempo i en kurve rundt måleobjektet.



Figur 3.8: Veibanen til VP under fotografering av grop 4

Bildene ble tatt med en avstand på 2-5 m. En avstand på under 2 meter, vil resultere i mindre overlapp mellom bildene. Dette gjør at antall bilder et vilkårlig punkt er synlig i, vil være mindre. Hvis man er lengre unna enn 10 meter fra objektet, vil krysningsvinkelen mellom bildene bli mindre. Dette vil påvirke nøyaktigheten på resultatet, og det vil bli vanskeligere å definere punkt i bildene [12]. Antall bilder etter endt fotografering er oppført i tabell 3.4.

Tabell 3.4: Antall bilder for VP

Grop	Antall bilder
2	11
4	34
5	45

### 3.2.3 Laserskanning

Laserskanningen ble gjennomført i grop 4. Det ble totalt gjennomført tre oppstillinger, i en trekant rundt ledningene. Vi hadde begrenset med tid, og valget falt derfor på å skanne gropen med flest synlige ledninger. For å georeferere og registrere punktskyene, ble det tatt i bruk targets. De ble plassert i vater over passpunktene, med en kjent høyde.

### 3.2.4 Innsamling av valideringsdata

Det ble også foretatt målinger av ledningene med GNSS (D). Dette ble gjennomført for å skaffe et sammenligningsgrunnlag til punktskyene. Målestangen ble plassert fysisk på ledningene, og det ble målt senterpunkt. Bruk av GNSS er den tradisjonelle måten å måle inn ledninger på. Punktene samlet inn fra GNSS, blir derfor benyttet til validering (3.5). GNSS har en målenøyaktighet som vil kunne oppfylle kravene til standarden [3]. Grunnet målefeil ble det samlet inn mindre valideringsdata enn planlagt. Vi endte derfor opp med et svakere sammenligningsgrunnlag for modellene.

Tabell 3.5: Valideringsdata innmålt med GNSS

Grop	Antall valideringspunkt
2	14
4	14
5	16

### 3.2.5 Problemer i felt

Mange av problemene vi møtte på i felt skyldtes årstiden. Feltarbeidet ble gjennomført i desember, og det var derfor en del snø i gropene. Snø skapte hovedsaklig to problemer. For det første vil snø tildekke objektene som skal måles inn, og gjøre de usynlig. For det andre skaper snø veldig homogene omgivelser, som kan medføre problemer under bildematchingen [2]. Det var også et problem at det blir fort mørkt i desember, og vi var avhengig av gode lysforhold under fotograferingen. Mange av

ledningene som ble gravd opp ble raskt tildekket av grunnvann. Verken laser eller fotografering kan trenge gjennom vann. Dette resulterte i at noen ledninger ikke var synlig i punktskyen.

### 3.2.6 Intervju

Det ble gjennomført et intervju med Elnæs graveentreprenør, for å få innsikt og kunnskap om bransjen. Intervjuet var et semi-strukturert intervju, og varte i 37 minutter. Det ble også sendt skriftlige spørsmål til Per Ola Berntsen angående maskinstyring. Han jobber som «Support and training manager» hos SITECH-Norway As. Referat fra intervjuene er lagret i vedlegg A.

## 3.3 Generering av punktsky

For bildene tatt med speilreflekskamera, ble prosesseringen gjennomført i Agisoft Metashape. Bildene fra GS18 I ble prosessert i Leica Infinity, og laserdataen ble behandlet i Cyclone REGISTER 360.

### 3.3.1 Kamera metoden

Arbeidsflyten i Agisoft Metashape bestod hovedsaklig av tre steg:

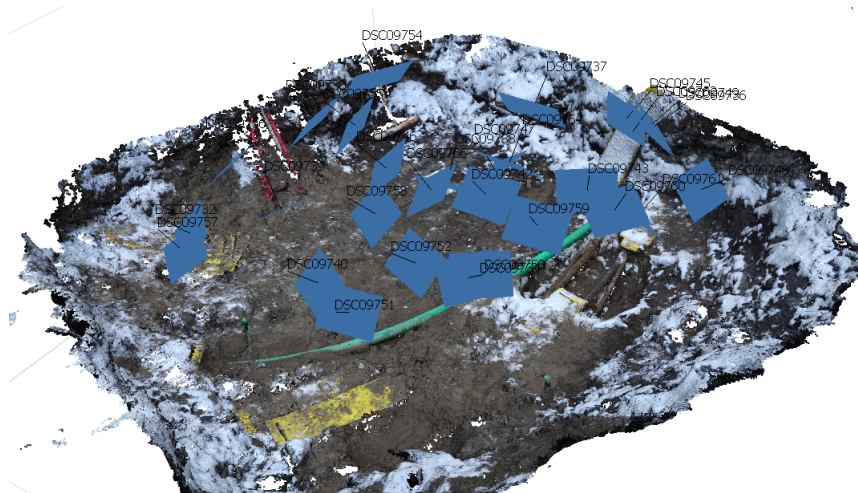
1. Add photos
2. Align photos
3. Build dense cloud

I «Add photos» ble det valgt bilder til generering av punktsky. Det ble generert fire forskjellige modeller for hver grop. Hver modell hadde følgende antall bilder:

- 30 bilder
- 15 bilder
- 8 bilder
- 4 bilder

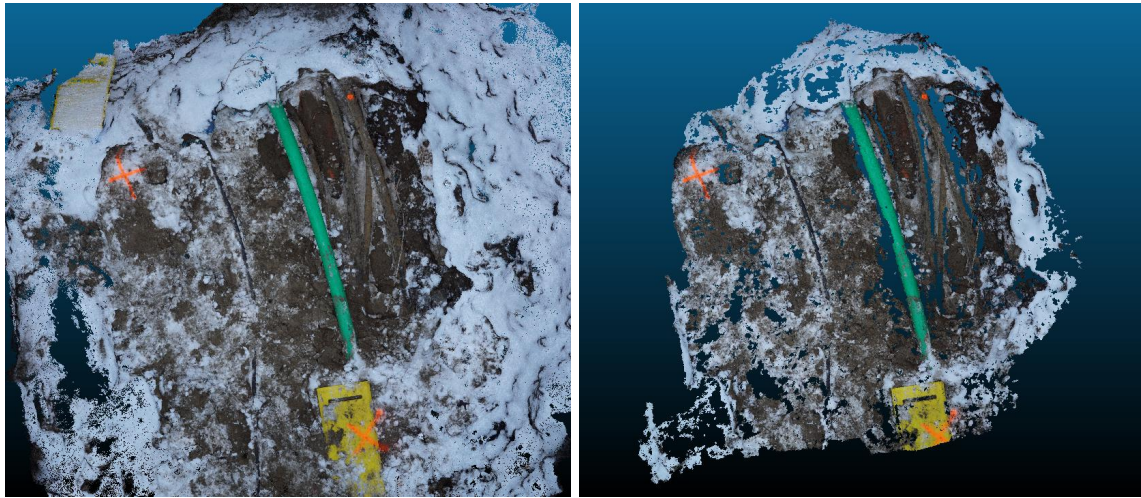
Dette ble gjort for å undersøke hvor mange bilder som er nødvendig for å tilfredstille kravene til standarden. Ved færre bilder var det ekstra viktig å velge bildene som inneholdt tilstrekkelig med passpunkt. Det var også ekstra viktig med god stereodekning når det ble tatt i bruk færre bilder. For å georeferere en punktsky i Agisoft Metashape, må det først settes riktig koordinatsystem.

Koordinatsystemet Euref89 NTM10 NN2000 ble lastet ned fra nettsiden til Agisoft, og importert inn i programmet. Deretter la vi inn parametrene for kamerakalibreringen (3.3). Videre importerte vi en tekstfil med de kjente passpunktene. Registrering av passpunktene i bildene ble gjort manuelt med markører.



Figur 3.9: Punktsky med tilhørende bilder fra grop 4, vist i Agisoft Metashape

I «Align photos» blir bildenes posisjon og orientering justert i forhold til hverandre. Det blir da generert en tynn og midlertidig punktsky. Grop 4 viste seg utfordrende å modellere med få bilder. I denne gropen slet bildene med å justere seg riktig, grunnet manglende sammenbindingspunkt. I «Build dense cloud» ble punktskyene generert med ulikt antall bilder (3.10). Resulterende punktsky fra 30 bilder, er vist i figur 3.9, sammen med posisjonen til bildene. Modellene ble lagret i LAS format for videre arbeid og analyse.



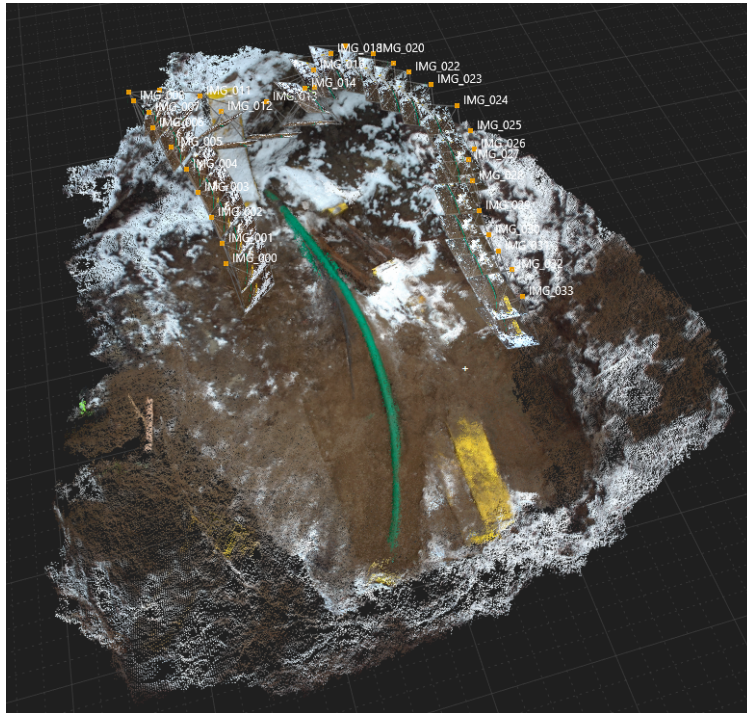
(a) 30 bilder

(b) 4 bilder

Figur 3.10: Resulterende punktskyer fra grop 5 vist i CC

### 3.3.2 Visuell posisjonering

I Leica Infinity ble bildegruppene fra GS18 I orientert, og omgjort til tette punktskyer. Beregning av kamerakalibreringen ble automatisk gjort i programmet. Punktskyene ble generert med den høyeste oppløsningen. Dette ble valgt for å undersøke metodens høyeste potensial, med det antallet bilder som ble samlet inn. Prosesseringen ble startet ved bruk av funksjonen «Tett punktsky». Støy på punktskyene ble både fjernet manuelt, og ved hjelp av automatiske funksjoner. Den resulterende punktskyen fra grop 4, er visualisert i figur 3.11. Figuren viser også hvor bildene ble tatt fra, for å sikre god stereodekning. Da alle punktskyene var generert, ble de eksportert til LAS format for videre arbeid og analyse.



Figur 3.11: Punktsky av grop 4 generert i Leica infinity

### 3.3.3 Laserdata etterprosessering

Filene fra skanningen ble importert inn i Cyclone REGISTER 360. Funksjonene «Auto-Cloud» og «Auto-B/W target» ble benyttet under importen. Oppstillinger og targets blir dermed automatisk registrert, og skannene blir koblet sammen. Skannene blir deretter georeferert, ved hjelp av de kjente targetsene.

## 3.4 Analyse av punktskymodellene

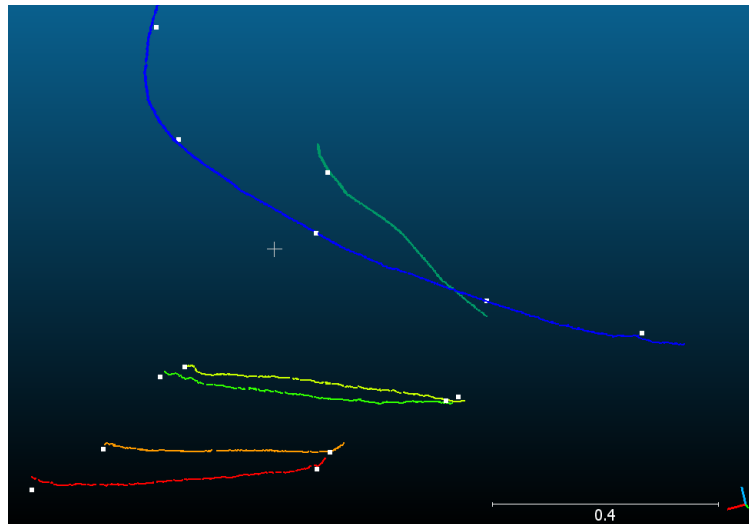
For å analysere punktskyene fra de ulike metodene, ble det benyttet CC og Jupyter Notebook.

### 3.4.1 CloudCompare

Valideringsdataen og punktskyene ble importert inn i CC for analysering. Der ble ledningene først vektorisert. Dette ble gjort manuelt ved å plukke ut punkt på toppen av ledningene, med verktøyet



«Trace a polyline». Deretter ble segmenter av punktskyen trukket ut ved bruk av verktøyet «Extract cloud sections along polylines». På den måten ble det trukket ut seksjoner bestående av alle punkt under vektorene. Diameteren på seksjonene ble satt til 0.003 m, for å få tilstrekkelig med punkt på tvers av vektorene. Vi har dermed seksjoner med punkt, som kan sammenlignes med valideringsdataen fra GNSS-innmålingene. Ledningsseksjonene sammen med valideringspunktene er vist i figur 3.12.



Figur 3.12: Ledningsseksjoner og validerings punkt (hvite)

For å beregne avviket fra seksjonene til valideringspunktene, ble funksjonen «Cloud to cloud distance» tatt i bruk. Funksjonen benytter algoritmen «Nearest neighbour distance» for å beregne avstand. Dette gir avvik i x, y og z retning. Avvikene utregnet i CC, vil bli brukt til å beregne punktidentifikasjonsnøyaktighet og pilhøyde. Verdiene ble lagret i en csv-fil for videre analyse i Jupyter Notebook.

For langsgående ledningstraseer beregnes nøyaktigheten til tverravviket i grunnriss. Metoden beskrevet over, vil også gi avvik i andre retninger enn tverravviket. For tynne punktskyer vil dette være spesielt gjeldende. Det vil derfor forekomme større avvik enn om vi hadde hatt en vektorlinje å beregne avviket til. Denne faktoren vil påvirke parametrene punktidentifikasjonsnøyaktighet og pilhøyde. Resultatet for samlet maksimalt avvik vil derfor i realiteten være noe mindre. Det ble forsøkt å bruke vektorlinjene til å beregne avvik fra valideringspunktene, men det lot seg ikke gjøre i CC.

### 3.4.2 Nøyaktighet

Analysen av nøyaktighetene ble gjennomført i Jupyter Notebook. Grunnet få valideringspunkt ble det beregnet nøyaktighet for hver grop. Alle ledningene i gropene ble behandlet som enkle ledninger. Nøyaktigheten på målt høyde/bredde eller diameter kan derfor neglisjeres, fordi ledningstraseene vil ha en bredde lik sin egen diameter.

#### Systematiske feil

For å kunne gå videre med beregning av nøyaktighetene, undersøkte vi først målemetodene for systematiske feil (2.3). I felt ble det benyttet ulike typer passpunkt, og passpunktene ble plassert forskjellig rundt ledningsobjektene. Dette er faktorer som kan føre til systematiske feil. For at det ikke skal være systematiske feil, bør avvikene være normalfordelt, og ha en middelvei for grunnriss og høyde lik 0. For å undersøke dette ble det derfor beregnet middelvei i grunnriss og høyde.

#### Punktidentifikasjonsnøyaktighet

De ulike metodenes punktidentifikasjonsnøyaktighet ble funnet ved å beregne standardavviket (2.2) til avvikene beregnet i CC. For å finne standardavviket i grunnriss, ble feilforplantningsloven (2.3) brukt med standardavvikene til  $x$  og  $y$ . For høyde ble det brukt standardavviket til  $z$ . Metoden forutsetter at vi ikke har systematiske feil, og at vektorene er nøye plassert i CC.

#### Målenøyaktighet

Målenøyaktighet for kamerametoden avhenger av flere feilkilder (2.2.2). Nøyaktigheten til GNSS-innmålingene ble utregnet med verdiene hentet fra observasjonsfilen til instrumentet ( $D$ ). Det ble benyttet tre passpunkt for å georeferere modellene fra kamerametoden. Dette er relativt lite, og resulterer i en usikkerhet når standardavviket beregnes ut fra passpunktene. Nøyaktigheten for den manuelle registreringen av passpunktene, ble hentet fra Agisoft Metashape. For å beregne målenøyaktigheten til kamerametoden, ble feilforplantningsloven brukt, med de ulike nøyaktighetene som innsatte variabler. Målenøyaktigheten for VP er hentet direkte fra vedlegg D.

#### Pilhøyde

Pilhøyden for hver modell, ble funnet ved å beregne det maksimale avviket. Avvikene fra CC ble derfor brukt til å finne pilhøyden i både grunnriss og høyde. Dette vil gi en tilnærmet pilhøyde

fordi avviket blir avstanden fra et generalisert segment, og ikke en virkelig ledning. Det kan derfor eksistere et større avvik fra den virkelige ledningen.

### Samlet maksimalt avvik

Samlet maksimalt avvik ble til slutt beregnet i henhold til standarden. Standardavvikene for punkt-identifikasjonsnøyaktighet, målenøyaktighet, og pillhøyde ble brukt i formel 2.1. Bredde/diameter er utelatt siden det bare ble innmålt valideringspunkt for ledningstraseer bestående av enkle ledninger.

## 3.5 Utarbeiding av ferdig leveranse

Hovedmålet med oppgaven var å undersøke og vurdere fotogrammetri som metode til innmåling av ledninger. Det har derfor blitt utarbeidet en ferdig leveranse av de innmålte ledningene. Leveransen skal gi grunnlag for å si hvor effektiv fotogrammetri er til å samle inn, registrere og dokumentere ledningsdata i henhold til standarden. En leveranse skal ifølge standarden bestå av en vektorfil på GML-format, georefererte bilder, og en landmålingsrapport [17]. Mange entreprenører vil også ha en CAD-tegning av ledningene på DWG-format. En CAD-tegning er derfor også inkludert i den ferdige leveransen. Arbeidsoppgavene ble gjennomført i Gemini Terreng og CC. Leveransen ble utarbeidet ved bruk av kamerametoden med 30 bilder.

### 3.5.1 Registrering av egenskaper

Diameteren til ledningene ble målt ved å bruke funksjonen «Point picking» i CC. Diameteren er et snitt av fem avstandsmålinger på hver enkelt ledning. Den ble også målt manuelt i felt, for å verifisere resultatet. Hver enkelt ledning sin diameter, kan leses i tabell 3.6. Ledningene ble deretter vektorisert med funksjonen «Trace a polyline by point picking». Vektorene går langs de øverste punktene på ledningene. De ble til slutt lagret i DXF-format, for videre arbeid i Gemini Terreng.

Tabell 3.6: Diameter til ledningene. De brune ledningene er nummerert fra venstre til høyre

Ledning	Grønn	Svart	Brun 1	Brun 2	Brun 3	Brun 4
Diameter	0.070	0.020	0.030	0.045	0.035	0.050

### 3.5.2 Bildedokumentasjon

I standarden er det krav om georeferert bildedokumentasjon av registrerte ledninger. Informasjonen skal både lagres i metadataen til bildet, og som en egenskap i GML-filen. Den letteste måten å georeferere et bilde på er å bruke mobiltelefonen. Er man i et område med dårlig dekning eller bruker et kamera uten integrert GNSS, må bildene georefereres i etterkant.

I oppgaven har det blitt tatt høyoppløselige bilder med speilreflekskamera. For å kunne benytte bildene som bildedokumentasjon, må de derfor geotagges i etterkant. Kameraposisjonen til de ulike bildene (3.13) ble hentet fra Agisoft Metashape. Koordinatene var i NTM10, og måtte derfor transformeres til WGS84. Bildene kan da bli visualisert i et kartprogram. For å gjennomføre koordinattransformasjonen, ble Pyproj benyttet med følgende kode:

```
1 from pyproj import CRS
2 from pyproj import Transformer
3
4 crs_5110 = CRS.from_epsg(5110)
5 crs_4326 = CRS.from_epsg(4326)
6
7 transformer = Transformer.from_crs(crs_5110, crs_4326)
```

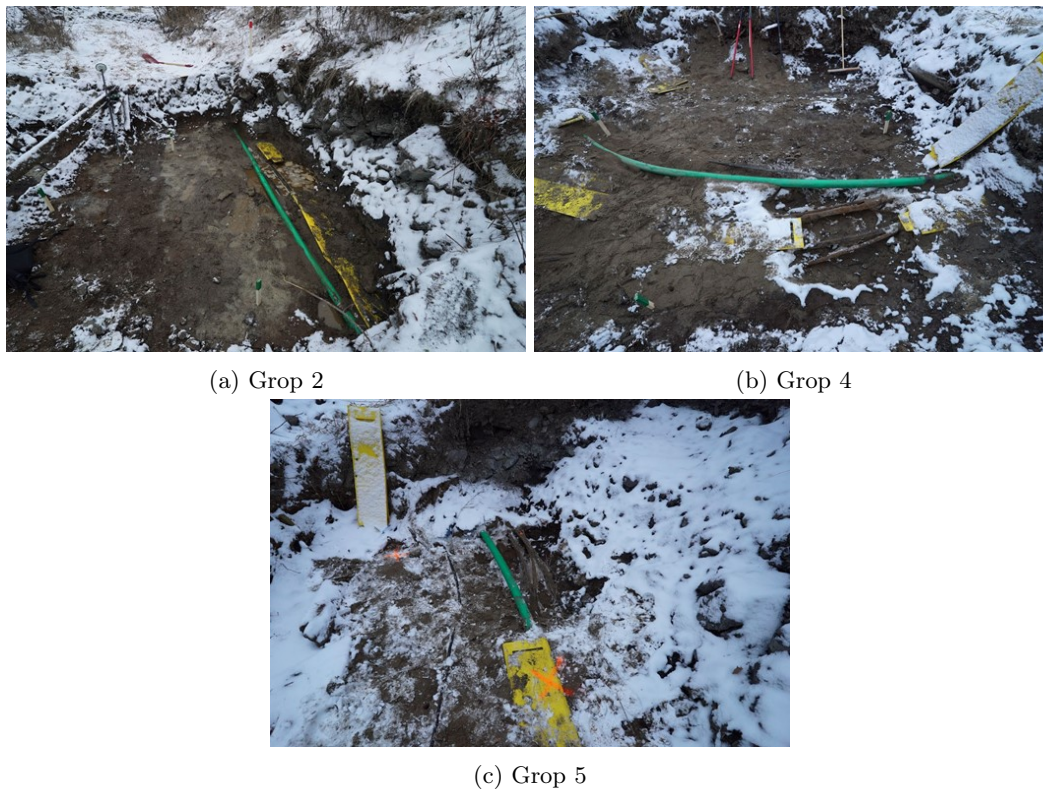
Koordinatene ble deretter omgjort fra lengde og breddegrader til DMS. De resulterende koordinatene som ble lagt inn i metadataen, er vist i tabell 3.7. For å geotagge bildene ble programvaren ExifTool benyttet, ved å kjøre følgende kode i et kommandovindu.

```
1 exiftool -GPSLatitude="59; 56; 38.8037" -GPSLatitudeRef=N
2 -GPSLongitude="10; 46; 45.6965" -GPSLongitudeRef=E
3 -overwrite_original Groft2.jpg
4
5 exiftool -GPSLatitude="59; 56; 39.8614" -GPSLatitudeRef=N
6 -GPSLongitude="10; 46; 45.1808" -GPSLongitudeRef=E
7 -overwrite_original Groft4.jpg
8
9 exiftool -GPSLatitude="59; 56; 40.7941" -GPSLatitudeRef=N
10 -GPSLongitude="10; 46; 44.4598" -GPSLongitudeRef=E
11 -overwrite_original Groft5.jpg
```

Tabell 3.7: Bildekoordinater i DMS

Grop	Nord	Øst
2	59°56'38.8037''	10°46'45.6965''
4	59°56'39.8614''	10°46'45.1808''
5	59°56'40.7941''	10°46'44.4598''

Posisjonen til bildet er dermed lagret i metadataen, og kan åpnes i for eksempel Google Maps. Bildenes NTM10 koordinater ble lagt ved hver ledning, som en hyperlenke i GML-filen.



Figur 3.13: Georefererte bilder

### 3.5.3 Oppretting av GML-fil

For å fremstille den ferdige GML-filen, ble det benyttet Gemini Terreng. Der ble de ulike ledningsvektorene samlet til en CAD-tegning, og tildelt beskrivende egenskaper. Dette er egenskaper som er beskrevet i seksjonen «Hva skal registreres». Det ble benyttet et applikasjonsskjema for å være sikker på at alle påkrevde egenskaper var tatt med. Applikasjonsskjemaet ble hentet fra produktspeifikasjonen for påviste eller avdekkede ledningsnett [16]. Ledningene ble deretter tildelt ulike farger, for en bedre visuell presentasjon. De brune ledningene ble fargelagt blå istedenfor brun, for å lettere skilles fra de andre ledningene. Ledningene ble også klassifisert som rør med en viss diameter, for å kunne visualisere dem i 3D. Ledningsvektorene ble til slutt eksportert til en GML-fil, som inneholdt alle registrerte egenskaper.

### 3.5.4 Sammenligning med kartgrunnlag

Vi fikk tilgang til grunnlagsdata for det aktuelle området. Grunnlagsdataen viser alle de kartlagte ledningene i grunnen. I Gemini Terreng ble det målt hvor langt unna de innmålte ledningene ligger fra sin kartlagte posisjon. Det ble foretatt fem målinger for hver ledning, og gjennomsnittet ble beregnet for hver ledning. Resultatet skal bli brukt til å diskutere behovet for den nye standarden.

### 3.5.5 Drapert på terrengmodell

Laserdata fra «Høydedata.no» ble brukt til å etablere en terrengmodell. Terrengmodellen ble laget ut ifra prosjektet «Oslo kommune tynnet laserskanning 2019». Det ble utført en 3D-triangulering av punktskyen, for å visualisere terrenget rundt prøvegroppene. Ledningene ble deretter drapert ned på terrenget, og tildelt en offset-høyde som attributt. Offset-høyden viser hvor langt under bakken ledningene egentlig befinner seg. En rett vektor ble tegnet mellom de innmålte ledningene, for å lettere visualisere hvordan det ville sett ut med et større ledningsnett.

# Kapittel 4 | Resultat

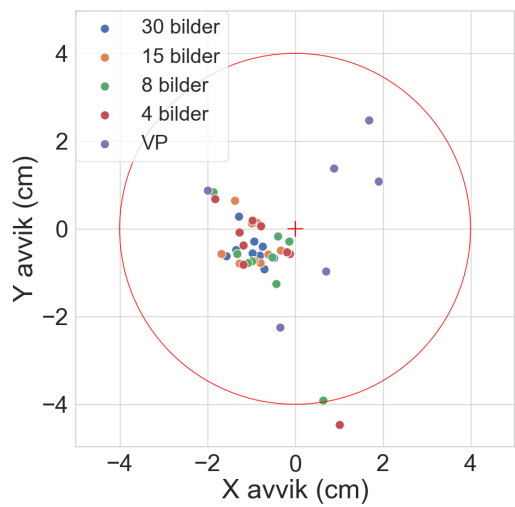
## 4.1 Nøyaktighet

I denne seksjonen blir resultatet for samlet maksimalt avvik presentert. Parametrene som inngår vil også bli vist, for å gi en oversikt over de ulike metodenes nøyaktigheter. Presisjonen for de ulike modellene vil først bli presentert.

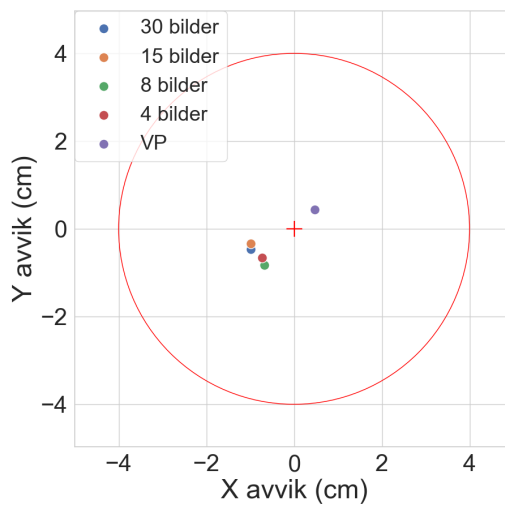
### 4.1.1 Systematisk avvik

Kamerametoden i grop 2 hadde den største tendensen til systematisk avvik. I figur 4.1 ser vi at både avvikene i grunnriss, og avvikenes middelvei, ligger samlet sør-vest for valideringspunktene. Middelveien for hver modell sitt avvik, kan leses av i tabell 4.1. I tabellen ser vi at middelveien er størst i grop 2. Middelveien for avvikene i høyde er også signifikant større i denne gropen (4.2). Her ligger punktene på ledningene omtrent tre cm under valideringspunktene. I motsetning til grop 2, viser grop 4 en mindre tendens til systematisk avvik (4.2). Avvikene er mer samlet, og middelveien ligger nærmere sentrum. Dette var også gjeldende for grop 5.

VP gir stort sett en lavere middelvei i grunnriss, sammenlignet med kamerametoden (4.1). VP sin middelvei varierte med 0.3 cm i grunnriss mellom de ulike gropene. Middelveien til kamerametoden varierte derimot med omtrent 1 cm. I høyde så vi en større variasjon i middelvei for alle metodene. Her var middelveien til VP høyest, med unntak av grop 2 (4.2). Laserskanning resulterte i en lav middelvei for både grunnriss og høyde, i den ene gropen som ble skannet.



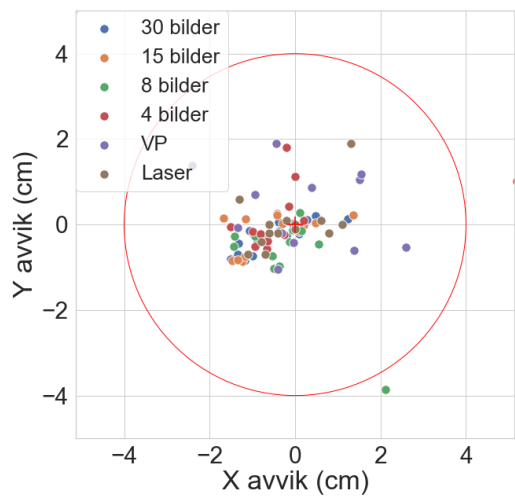
(a)



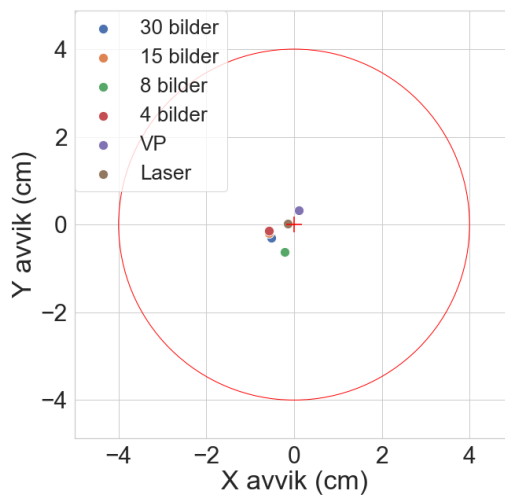
(b)

Figur 4.1: Grop 2 i grunnriss

(a) Avvik fra valideringspunkt (b) Middelerdi for metodenes avvik



(a)



(b)

Figur 4.2: Grop 4 i grunnriss

(a) Avvik fra valideringspunkt (b) Middelerdi for metodenes avvik



### 4.1.2 Punktidentifikasjonsnøyaktighet

Beregnet punktidentifikasjonsnøyaktighet for metodene i grunnriss, kan leses under standardavvik i tabell 4.1. For kamerametoden avhengte nøyaktigheten mye av antall bilder. I tabellen ser vi en stor variasjon i nøyaktighet, for de ulike modellene. Variasjonen var spesielt stor i grup 2 og 4. Grup 5 hadde derimot en høy nøyaktighet på modellene, også med 4 bilder. Nøyaktigheten var relativt lik for modellene med 15 og 30 bilder. Disse modellene ga den klart høyeste nøyaktigheten for alle grøpene. I grunnriss ga VP noe svakere nøyaktighet enn kamerametoden. I grup 2 ser vi at VP gir en nøyaktighet på 2.25 cm, for en modell generert med 11 bilder (3.4). Til sammenligning ga kamerametoden med 8 bilder, en nøyaktighet på 1.48 cm i samme grup.

Tabell 4.1: Middelerdi og standardavvik for grunnriss (cm)

Metode		Grup 2		Grup 4		Grup 5	
		Middelerdi	Standardavvik	Middelerdi	Standardavvik	Middelerdi	Standardavvik
Kamera	30 bilder	1.09	0.48	0.60	0.89	0.07	0.57
	15 bilder	1.04	0.66	0.60	0.98	0.05	0.57
	8 bilder	1.07	1.48	0.67	1.33	0.10	0.56
	4 bilder	0.98	1.72	0.84	2.81	0.10	0.69
GS18 I	VP	0.64	2.25	0.35	1.63	0.65	1.67
	Laser	Ingen data		0.14	1.03	Ingen data	

Punktidentifikasjonsnøyaktighet for høyde er vist i tabell 4.2, under kolonnen for standardavvik. Nøyaktigheten er relativt lik både for de ulike grøpene, og for antall bilder brukt. Variasjonen er allikevel noe større for VP, enn for kamerametoden. Den dårligste nøyaktigheten ser vi for VP i grup 5.

Tabell 4.2: Middelerdi og standardavvik for høyde (cm)

Metode		Grup 2		Grup 4		Grup 5	
		Middelerdi	Standardavvik	Middelerdi	Standardavvik	Middelerdi	Standardavvik
Kamera	30 bilder	-3.32	1.10	-0.07	0.93	0.34	0.92
	15 bilder	-3.34	1.13	-0.11	0.88	0.30	0.94
	8 bilder	-3.24	1.18	-0.04	0.72	0.40	0.94
	4 bilder	-2.98	0.97	-0.01	1.25	0.19	0.96
GS18 I	VP	-2.87	0.62	-2.01	0.96	-1.21	1.47
	Laser	Ingen data		-0.14	0.64	Ingen data	

### 4.1.3 Målenøyaktighet

Laser resulterte i den beste målenøyaktigheten, både i grunnriss og høyde. Målenøyaktigheten for kamerametoden i grunnriss varierte mellom 1.1 cm og 1.5 cm for de ulike grøpene (4.3). I høyde var målenøyaktigheten omtrent lik i alle tilfeller.

Tabell 4.3: Målenøyaktighet for metodene i grunnriss og høyde (cm)

Metode	Grop 2		Grop 4		Grop 5	
	Grunnriss	Høyde	Grunnriss	Høyde	Grunnriss	Høyde
30 bilder	1.5	1.5	1.2	1.5	1.4	1.5
15 bilder	1.5	1.5	1.2	1.5	1.4	1.5
8 bilder	1.5	1.5	1.2	1.5	1.4	1.5
4 bilder	1.2	1.5	1.1	1.5	1.4	1.5
VP	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0
Laser	Ingen data		0.9	1.2	Ingen data	

#### 4.1.4 Pilhøyde

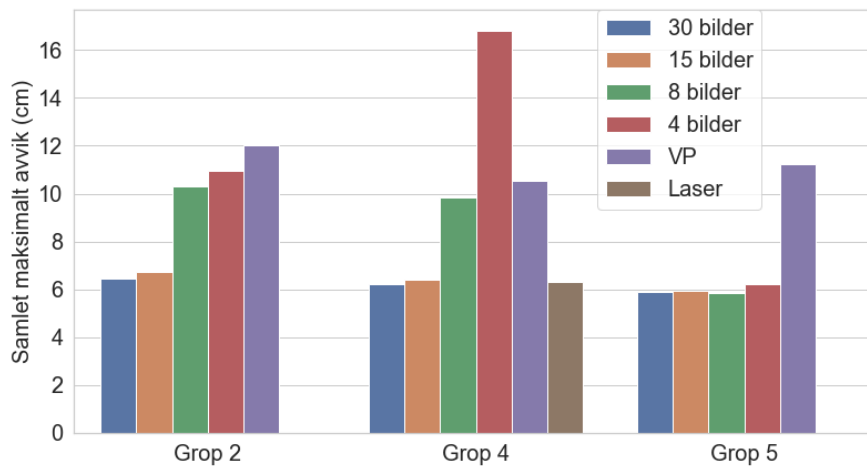
Grop 2 og 4 med kamerametoden ga de høyeste verdiene for pilhøyde i grunnriss (4.4). Resultatet viser at modellene med få bilder, gir den høyeste pilhøyden. I høyde varierte ikke pilhøyden like mye for antall bilder, som den gjorde for grunnriss. Ser man bort ifra kamerametoden med 8 og 4 bilder, har pilhøyden stort sett en større verdi i høyde, enn i grunnriss. For VP varierte pilhøyden lite i både grunnriss og høyde.

Tabell 4.4: Pilhøyde for metodene i grunnriss og høyde (cm)

Metode	Grop 2		Grop 4		Grop 5	
	Grunnriss	Høyde	Grunnriss	Høyde	Grunnriss	Høyde
30 bilder	1.7	4.5	1.7	1.9	1.3	2.1
15 bilder	1.8	4.5	1.7	2.0	1.4	2.3
8 bilder	4.0	4.5	4.4	1.5	1.4	2.3
4 bilder	4.6	4.0	7.8	3.0	1.6	2.2
VP	3.0	3.5	2.8	3.4	3.4	3.2
Laser	Ingen data		2.3	1.2	Ingen data	

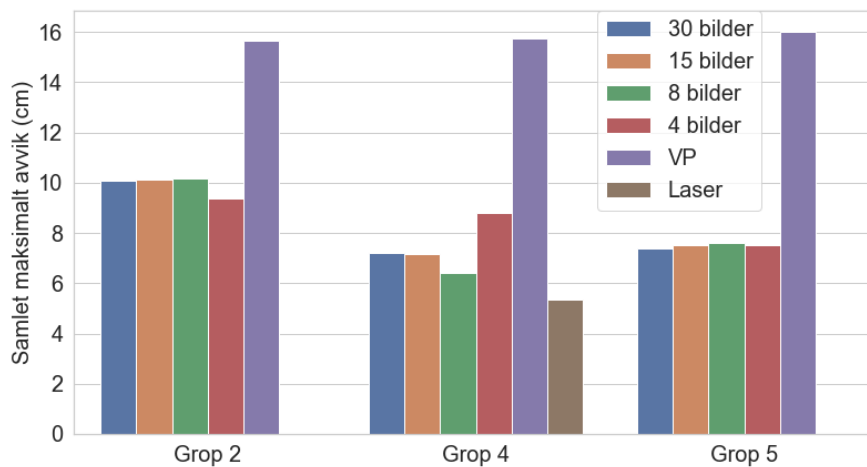
#### 4.1.5 Samlet maksimalt avvik

I grop 5 hadde antall bilder mindre å si, for samlet maksimalt avvik i grunnriss (4.3). I denne gropen fikk alle modellene et lavt samlet maksimalt avvik. I grop 2 og 4 ser vi gode resultater for modellene med 15 og 30 bilder. Modellene generert med 4 og 8 bilder gir derimot et langt høyere avvik.



Figur 4.3: Samlet maksimalt avvik i grunnriss

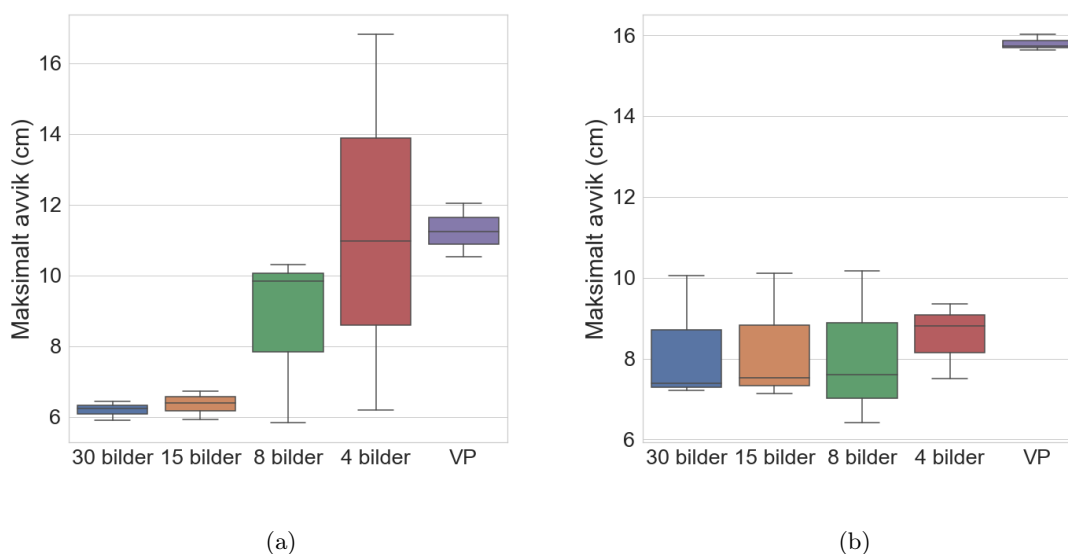
Samlet maksimalt avvik i høyde for de ulike modellene, er illustrert i figur 4.4. Her ser vi at samlet maksimalt avvik for kamerametoden er omtrent 3 cm større i grop 2, enn i de andre gropene. Modellene fra VP resulterte i et større samlet maksimalt avvik, sammenlignet med de andre modellene. Laser ga det laveste maksimale avviket, på litt over 5 cm i grop 4.



Figur 4.4: Samlet maksimalt avvik i høyde

Boksplottet i figur 4.5 illustrerer hvordan det samlede maksimale avviket varierer for de ulike meto-

dene. I boksplottet er alle gropene slått sammen, og gjennomsnittet er representert med den svarte streken i midten. For grunnriss blir både gjennomsnittet og variasjonen minimal, når det blir tatt i bruk 15 eller flere bilder. Med 4 og 8 bilder ble det derimot en større variasjon mellom gropene. Antall bilder med kamerametoden har mindre å si for resultatet i høyde. Her er både gjennomsnittet, og variasjonen nokså lik. Gjennomsnittet for VP er dårligst i både grunnriss og høyde, men metoden har til gjengjeld liten variasjon. Laserdata ble bare samlet inn for en grop, og er derfor ikke inkludert i boksplottet.



Figur 4.5: Boksplott som viser gjennomsnitt og variasjon for samlet maksimalt avvik  
(a) Grunnriss (b) Høyde

## 4.2 Kompletthetstabell

Tabell 4.6 viser egenskaper til de resulterende punktskyene, og tilhørende informasjon. De tre første radene angir hvor mange ledninger som har målbare egenskaper. De er farget med en fargekode, forklart i tabell 4.5. De to neste radene er beskrivende trekk ved metodene, og er derfor ikke fargelagt. I de tre gropene var det totalt 15 ledningsseksjoner. Laser ble gjennomført på en grop, og har derfor totalt seks ledningsseksjoner. Om en ledning er målbar eller ikke, avhenger av om den er mulig å vektorisere i punktskyen. Maksimalt tillat avvik for ledningsobjekt angir hvor mange ledninger i modellen som er innenfor kravet til standarden.

Tabell 4.5: Forklaring til kompletthetstabell

	Komplett innhenting av data eller egenskap
	Mulig å innhente data eller egenskap, men ikke alltid
	Ikke mulig å innhente data eller egenskap

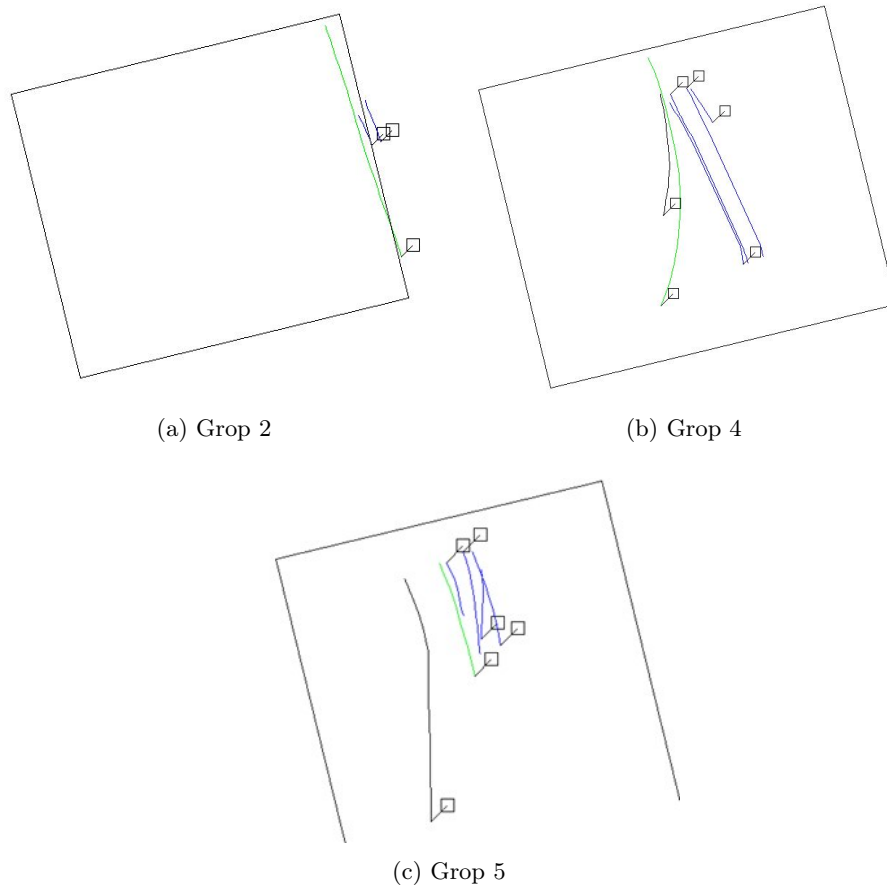
Tabell 4.6: Kompletthetstabell for metodene utprøvd

Egenskaper	30 bilder	15 bilder	8 bilder	4 bilder	VP GS18 I	Laser
Antall målbare ledninger	15/15	15/15	15/15	13/15	13/15	6/6
Mål på bredde/diameter	15/15	15/15	14/15	11/15	13/15	6/6
Maksimalt tillat avvik for ledningsobjekt	15/15	15/15	15/15	13/15	13/15	6/6
Punkt på ledninger (gj. snitt for gropene)	4 952	4 199	4 019	3 218	1 710	81 483
Filstørrelse (gj. snitt for gropene)	160 MB	120 MB	82 MB	58 MB	24 MB	2.43 GB

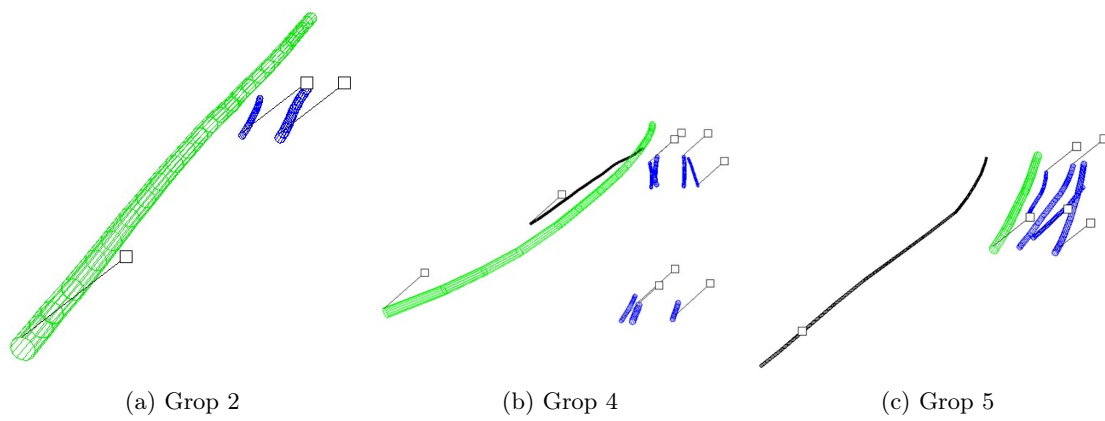
Tabellen viser at kamerametoden med 30 og 15 bilder, egner seg godt til innhenting av data og egenskaper. Med punkttskyer som samler inn færre punkter, vil det naturligvis bli vanskeligere å registrere egenskaper. Det er for eksempel tilfelle for VP, og kamerametoden med 4 bilder. De fleste modellene klarte dog å innhente egenskaper for de fleste ledningene. Laserskanning ga en modell det var enkelt å gjøre målinger på, men også den klart største filen.

### 4.3 Ferdig leveranse

Leveransen består av en vektorfil på GML-format (C), en landmålingsrapport (B), og en CAD-tegning på DWG-format (4.6). Det er ikke krav om å levere ledningsdata i 3D, men diameter og topplinje til hver ledningstrase skal registreres. Ledningsobjektet kan dermed gjenskapes i 3D ved behov. Ledningene representert i 3D, er illustrert i figur 4.7. Den resulterende GML-filen for de tre gropene var på 18 sider. De første fire sidene er lagret i vedlegg C. I filen er hver ledning representert som en «FeatureMember». Ledningene inneholder alle påkrevde egenskaper i henhold til produktspesifikasjonen for påviste eller avdekkede ledninger.



Figur 4.6: CAD-tegning visualisert i Gemini terreng



Figur 4.7: Ledningene visualisert i 3D

### 4.3.1 Tidligere kartgrunnlag

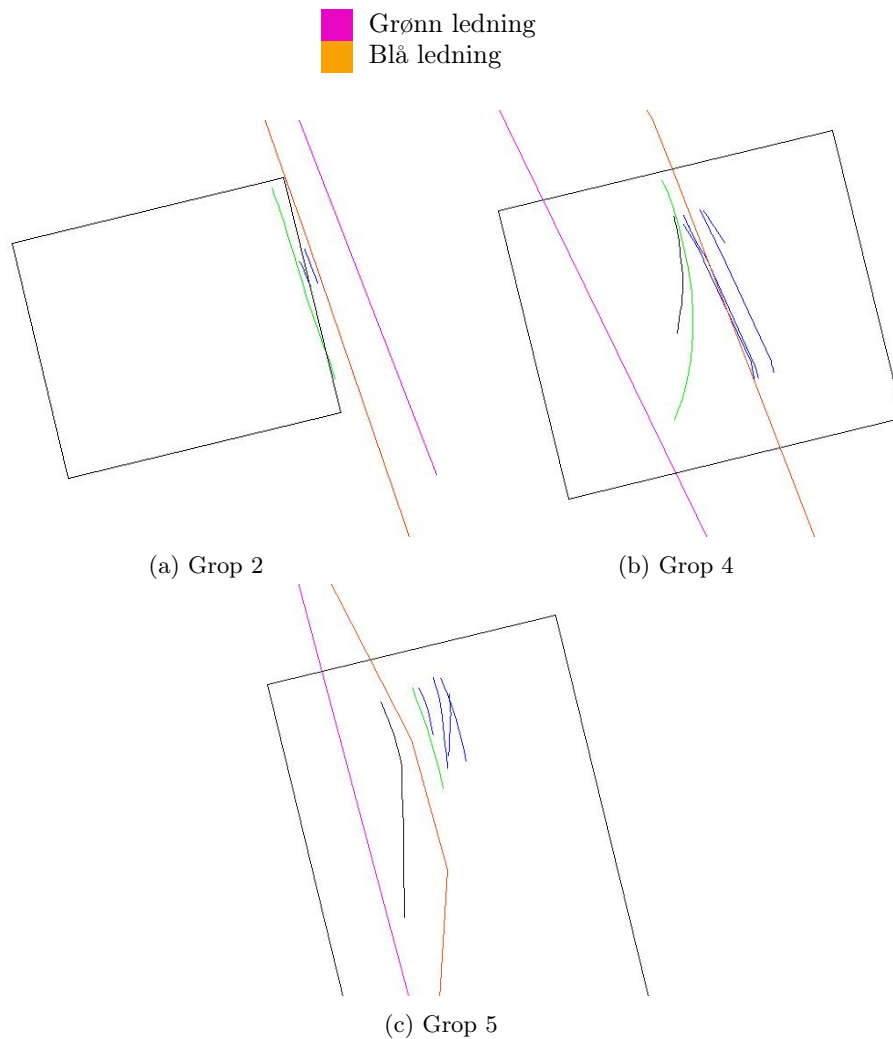
Kartgrunnlaget og de innmålte ledningene, er visualisert sammen i figur 4.8. Den rosa og den oransje ledningen, er ledninger kartlagt i området fra før. Den grønne, svarte, og de blå ledningene, er ledninger målt inn i oppgaven. Tegnforklaringen 4.8 viser hvilke kartlagte og innmålte ledninger som hører sammen. Den svarte telekabelen er antakelig ikke kartlagt, men den kan være kartlagt som en del av ledningstraseen til den grønne ledningen. De blå ledningene vi har målt inn, er representert som en ledningstrase i kartgrunnlaget.

Tabell 4.7: Gjennomsnittlig avstand fra kartgrunnlag

<b>Grop</b>	<b>Grønn ledning</b>	<b>Blå ledning</b>
2	1.2	0.17
4	1.7	0.07
5	1.2	0.05

Tabell 4.7 viser at den grønne ledningen er desidert verst kartlagt. I prøvegrop 4 er den gjennomsnittlige avstanden hele 1.7 m fra kartgrunnlaget. Den blå ledningstraseen er derimot bedre kartlagt, og er på sitt verste kun 0.17 m fra sin kartlagte posisjon.

Tabell 4.8: Tegnforklaring til kartgrunnlag

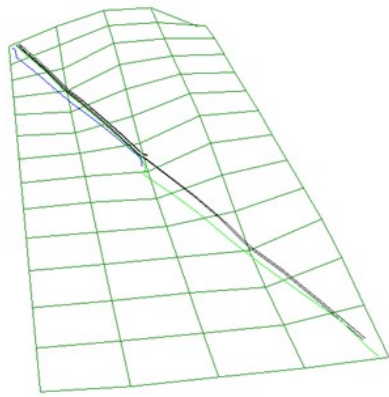


Figur 4.8: Sammenligning med kartgrunnlaget

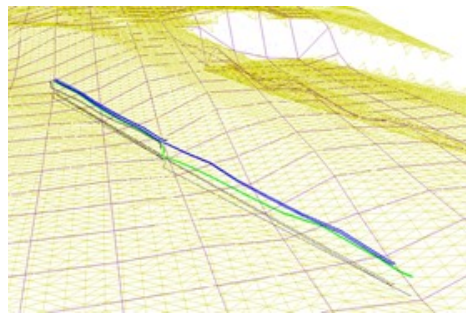
### 4.3.2 Visualisert over en terrengmodell

Figur 4.9 viser ledningene drapert over en terrengmodell. På figuren kan det visualiseres hvordan ledningene ligger i forhold til terrenget. Når CAD-tegningen eksporteres, vil offset-høyden følge med ledningen. På den måten er det mulig å vite hvor langt under terrenget ledningen egentlig befinner seg. I figuren vises ledningene både drapert på terrenget, og i sin originale posisjon under terrenget.

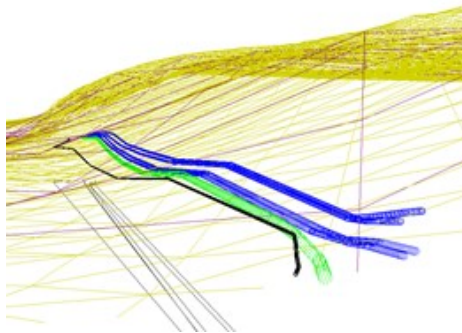




(a) Grid



(b) Triangulært nett



(c) Triangulært nett med 3D rør

Figur 4.9: Ledningene drapert på en terrengmodell

# Kapittel 5 | Diskusjon

På Storo stasjon har det i denne oppgaven kommet frem store avvik i kartgrunnlaget. Det er blitt avdekket ledninger som ligger opptil 2 m unna sin kartlagte posisjon (4.7). Lignende avvik er også erfart i bransjen av graveentreprenører som Elnæs (A.1). Ledningsregistreringsforskriften er derfor svært etterlengtet, og behovet for bedre kartlegging er stort. I dette kapitlet skal vi derfor diskutere resultatet, og vurdere om fotogrammetri kan hjelpe bransjen til å imøtekomme dette behovet. Diskusjonen er delt i to deler. Første del (5.1) tar for seg nøyaktigheten til metodene, og undersøker om de er innenfor kravene satt av standarden. Andre del (5.2) fokuserer på fordeler med fotogrammetri over tradisjonell GNSS, samt hvilke muligheter som åpner seg ved bruk av fotogrammetri.

## 5.1 Metodenes nøyaktighet

Nøyaktigheten for metodene baseres hovedsaklig på samlet maksimalt avvik (2.1). I denne seksjonen vil det bli diskutert hvorvidt metodene er nøyaktig nok til formålet. For å bestemme dette, må samlet maksimalt avvik være innenfor kravet. For områdetype 1 ligger kravet på 20 cm i grunnriss, og 30 cm i høyde (2.1). Det vil også bli diskutert systematisk avvik for å vurdere metodenes presisjon.

### 5.1.1 Kamerametoden

Alle modellene med ulikt antall bilder, kom innenfor kravene i både grunnriss (4.3) og høyde (4.4). På tross av dette hadde modellene nokså forskjellige verdier for samlet maksimalt avvik. Den største faktoren for denne forskjellen, ligger i antall bilder i forhold til størrelsen på måleobjektet. Det beste resultatet oppnådde vi med 15 og 30 bilder. Det samlede maksimale avviket varierte lite for disse modellene 4.5. Modellene generert med 4 og 8 bilder, hadde derimot en større variasjon mellom gropene. Det verste resultatet fikk vi med 4 bilder i grop 4. I denne gropen ligger samlet maksimalt avvik kun 3 cm under kravet.

Antall bilder er derfor en av de viktigste faktorene, for om en ledning kommer innenfor kravet eller ikke. En modell generert av få bilder vil gi dårligere verdier for både punktidentifikasjonsnøyaktighet (2.2), og pilhøyde (2.4). Dette kan raskt forårsake et samlet maksimalt avvik over tillat verdi. I tabellene ser vi at begge parametrene forbedres når det er en økning i antall bilder. Viktigheten av antall bilder kommer også tydelig frem i grop 5. Dette er den minste gropen, og har de korteste ledningene. Det resulterte i et lavt maksimalt avvik, selv med 4 bilder. Når det er kortere ledninger som skal måles inn, kreves det altså færre bilder for å sikre god stereodekning.

Det var liten variasjon i samlet maksimalt avvik for høyde, mellom de ulike modellene (4.5). Dette begrunnes med at ledningene ligger vannrett. Antall bilder får derfor mindre betydning for avviket i høyderetningen, siden alle punktene ligger i omtrent samme plan. Punktidentifikasjonsnøyaktigheten(4.2) og pilhøyden(4.4) blir derfor ikke påvirket i like stor grad som for grunnriss.

Ifølge resultatene hadde plasseringen av passpunkt mye å si for kamerametodens presisjon og nøyaktighet. I grop 2 var alle passpunktene plassert på siden av ledningsobjektene. I grop 4 og 5, ble derimot passpunktene plassert rundt ledningsobjektene. I figur 4.1 ser vi en klar tendens i hvordan avvikene gjenspeiler passpunktens plassering. Avvikene dreier her i retning mot passpunktene. I høyde ser vi også et stort systematisk avvik i grop 2. Middelerdien for modellene er omtrent 3 cm under valideringspunktene (4.2). Pilhøyden er derfor 3 cm større i denne gropen, noe som resulterer i et samlet maksimalt avvik 3 cm høyere enn de andre. Resultatene tilsier derfor at passpunktene bør plasseres rundt ledningsobjektet som skal fotograferes. Det samme ble observert i studien til Hossam El-Din Fawzy [6].

Til sammenligning kan man se på grop 5. Her var det kortere avstand imellom passpunktene, og de ble plassert mer spredt rundt ledningene. Vi ser derfor ingen tegn til systematisk avvik, som vist under middelerdi i tabellene 4.1 og 4.2. Alle metodene hadde ganske like verdier for middelerdi, uavhengig av antall bilder brukt. Middelerdi avhengte derfor mer av plassering til passpunkt, enn antall bilder.

Resultatene for laser bygger opp under viktigheten av plassering for passpunkt. Samme passpunkt ble benyttet av laser og kamera i grop 4. På tross av dette endte laser opp med en bedre middelerdi (4.1). Det kan forklares med at laserskanning foretar avstandsmålinger for hver laserpuls, i tillegg til at den benytter en IMU. Bilder er derimot i 2D, og av den grunn brukes det kun passpunkt for å georeferere modellen. Kamerametoden er derfor mer avhengig av at passpunktene er plassert homogent rundt ledningsobjektet.

### 5.1.2 Visuell posisjonering

Som vist i figur 4.3 og 4.4, er kravene innfridd for visuell posisjonering. I gjennomsnitt ligger samlet maksimalt avvik på omtrent halvparten av kravet, for både grunnriss og høyde. Sammenlignet med kamerametoden presterte VP noe dårligere. Dette skyldtes hovedsaklig færre punkt på ledningene, som vist i komplettstabelen (4.6). VP hadde lavere punkttetthet enn modeller fra kamerametoden, selv om de hadde likt antall bilder. Dette er på grunn av forskjellen i bildekvalitet til de ulike kameraene [10]. Sony A7s gir bedre oppløsning og bildekvalitet, enn kameraet til GS18 I. Det maksimale avviket var spesielt stor i høyde, sammenlignet med kamerametoden. Dette skyldtes hovedsaklig målenøyaktigheten til instrumentet (4.3).

Påliteligheten og presisjonen til VP er en av de større styrkene med instrumentet. Det samlede maksimale avviket varierte lite mellom gropene (4.5). VP presterte altså like bra uavhengig av størrelsen på ledningsobjektet. Nøyaktigheten var ikke like god som for kamerametoden med likt antall bilder, men presisjonen var høy.

Vi oppdaget ingen tegn til systematiske avvik for VP. Sammenlignet med kamerametoden var VP mer presis i grunnriss, som vist med middelveidien i tabell 4.1 og i figur 4.1. Instrumentets presisjon i høyde var derimot svakere enn for kamerametoden. Middelveidien for de tre gropene ligger langt over kamerametodens middelveidi (4.2). Grunnen til det er mest sannsynlig at valideringspunktene, og passpunktene til kamerametoden, ble målt inn med samme GNSS.

## 5.2 Fordeler med bruk av fotogrammetri

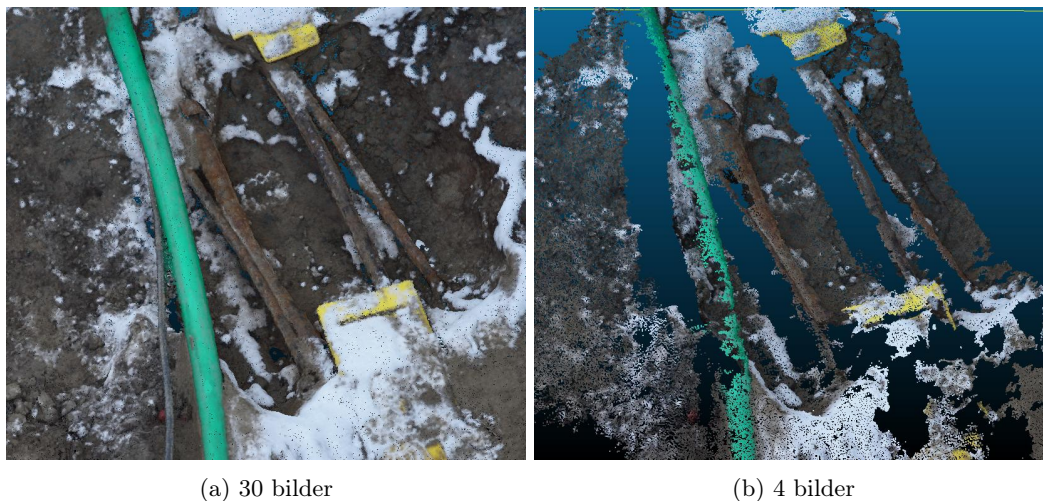
Ved utarbeidingen av den ferdige leveransen kom det frem mange ulike fordeler ved å bruke fotogrammetri over tradisjonell GNSS. Vi har tidligere vist at både kamerametoden og VP kan tilfredstille maksimalt tillat avvik. Men for å bestemme om en metode egner seg til formålet, er det ikke bare nøyaktigheten som må vurderes. Metodenes evne til å innhente informasjon er minst like viktig. Laserskanning, VP og kamerametoden presterte bra også på dette området. For kamerametoden ble det vist at selv med få bilder, var det ofte mulig å registrere de påkrevde egenskapene (4.6).

Både kamerametoden og VP fungerer derfor godt til innmåling av ledninger i åpen grøft. Ved å bruke fotogrammetri til dette formålet, vil det også bringe med seg andre fordeler. Dette er fordeler man ikke nødvendigvis vil kunne dra nytte når det måles med GNSS. Hvor stor disse fordelene er, vil også ha en innvirkning på egnetheten til fotogrammetri som innmålingsmetode.

## 5.2.1 Punktsky

Metodene vi har undersøkt i denne oppgaven, har alle en stor fordel i at det er mulig å produsere en punktsky som resultat. Som vist i GML-filen (C) for den ferdige leveransen, er en punktsky av ledningen et godt utgangspunkt for å registrere de påkrevde egenskapene (2.1.1). Egenskaper som for eksempel diameter, topp senterlinje, bildedokumentasjon og stedfestingsforhold, kan enkelt samles inn i løpet av prosessen. En punktsky gir muligheten til å samle inn mer virkelighetsnær informasjon om ledningsobjektene. Mange ledninger har varierende egenskaper, som det kan være vanskelig å fange opp når det bare måles enkle punkt med GNSS. I en punktsky kan man gjennomføre tilnærmet kontinuerlige målinger langs ledningsobjektet, for å fange opp dens varierende egenskap. En ledningstrase kan for eksempel variere veldig mye i bredde. Denne variasjonen er viktig å fange opp fordi det er den som bestemmer om ledningstraseen må deles i flere traseseksjoner, for å opprettholde nøyaktighetskravet. Sammenlignet med GNSS, er en punktsky mer egnet til å gjøre slike målinger på grunnnet mengden med punkt å velge mellom.

En punktsky gir også muligheten til å samle inn ytterligere informasjon om ledningene på et senere tidspunkt. I intervjuet gjennomført med Elnæs var det stort fokus på at åpne grøfter, ofte må bli gravd igjen så fort som mulig (A.1). Dette kan fort bli et problem hvis det oppdages manglende eller dårlig måledata, etter at gropen er gravd igjen. En punktsky gir også informasjon om hvordan punktene ligger i forhold til omgivelsene rundt. Dette gjør det enklere å oppdage feil, og man kan være sikker på at ledningene er tildelt riktig egenskap.



Figur 5.1: Nærbilde av punktskyen i grop 4

Den ferdige leveransen ble laget fra en punktsky med 30 bilder. Det var da ingen problemer med å registrere alle ledningene, og deres egenskaper. Kompletthetstabellen (4.6) viser at dette også lar

seg gjøre for VP, og modellene med færre bilder. Antall bilder brukt i fremstilling av punktskyen, har mye å si for hvor enkelt det er å gjøre målinger på ledningene. Det er for eksempel stor forskjell i punkttettheten for modellene med 4 og 30 bilder (5.1). Dette resulterer i mindre synlige ledninger i modellene lagd av 4 bilder.

Punktskyer har også stor nytteverdi når det kommer til prosjektering og planlegging, i områder med store og komplekse ledningsnett. Prosjektering og prosjektgjennomføring er ofte unødvendig dyrt og tidskostbart, fordi det ligger mye i grunnen man ikke vet om (A.1). Ved å besitte fargede punktskyer istedenfor enkle punkt, vil man få et godt innblikk i hva som befinner seg under grunnen. En punktsky vil gi informasjon om hvilke masser og objekter som finnes i det aktuelle området. Dette kan være til stor hjelp under gravearbeid. I figur 4.9 blir det illustrert hvordan ledninger kan bli drapert over en terrengmodell. Dette kan være veldig nyttig i planlegging av prosjekter, for å visualisere hvordan ledningene ligger i forhold til terrenget. Ved å bruke en punktsky til å utarbeide slike modeller, kan modellen gjøres så nøyaktig som planleggingsfasen krever.

### 5.2.2 Andre fordeler

Fotogrammetri gjør det mulig å måle objekter fra avstand. Dette kan være nyttig med tanke på HMS, da det ikke er alle groper det er forsvarlige å gjennomføre fysiske målinger i. Med fotogrammetri kan man i stedet stå utenfor gropen og fotografere ledningene. Det forutsetter at det er mulig å plassere passpunkt rundt gropen, hvis man benytter seg av kamerametoden. VP slipper å benytte passpunkt, siden instrumentet registrerer orientering og kameraposisjon til hvert bilde.

Med fotogrammetri samles det inn mange bilder, som også kan brukes til å oppfylle kravet om bildedokumentasjon. Under fremstillingen av det ferdige produktet ble det vist hvordan dette kan utføres (3.5.2). Posisjonsbestemmelsen for disse bildene vil være mer nøyaktig enn bilder fra et mobilkamera, siden kameraposisjonen er beregnet ut fra passpunkt. Punktskyen kan også fungere som bildedokumentasjon. Punktsky modellen kan for eksempel overføres til PDF, og visualiseres i 3D med Adobe Reader.

En stor fordel med kamerametoden er at den ikke trenger å være så kostbar. I denne oppgaven ble fotograferingen gjennomført med et speilreflekskamera til cirka 20 000kr<sup>1</sup>. Det samlede utstyret for GS18 I har en pris på cirka 340 000kr<sup>2</sup>. Kamerametoden krever også en måte å måle inn passpunktene på, som vil medføre en kostnad det ikke vil bli gått nærmere inn på. Det er ikke gjort en økonomisk analyse utover utstyrets veiledende pris. Som vist i tidligere studier, er nøyaktigheten god for mobilkamera sammenlignet med høyoppløselige kamera [6]. Mobilkamera har derfor mulighet til å være et billig alternativ.

---

<sup>1</sup>Veil. pris er hentet fra produktets hjemmeside.

<sup>2</sup>Veil. pris er hentet fra leverandør.

### 5.2.3 Muligheter

Med introduksjonen av den nye ledningsregistreringsforskriften, vil det i følge Elnæs maskinentreprenør bli et større behov for planlegging under graveprosjekter (A.1). Det er flere regler å ta hensyn til, og det stilles høyere krav til stedfestning. Kravene gjelder for ledninger som avdekkes, flyttes eller er dårlig stedfestet. En effektiv innmåling vil derfor kreve et godt samarbeid med personen som skal måle inn ledningene. Det er i denne prosessen fotogrammetri som innmålingsmetode bringer med seg mange nye muligheter.

Vi har i oppgaven vist at kamerametoden har gode forutsetninger for å komme innenfor tillat maksimalt avvik. Dette åpner for muligheten til bruk av maskinstyring for å måle inn passpunktene. Med 30 og 15 bilder fikk vi en målenøyaktighet på 1-2 cm (4.3). Maskinstyring har en opplevd målenøyaktighet på tenner/kniv til skuffen, på 3-4 cm (A.2). Påliteligheten vil redusere dette til cirka 5 cm. Nøyaktigheten til maskinstyring avhenger av en del andre faktorer enn bare målenøyaktigheten. Hvor dyktig og erfaren maskinføreren er, samt kalibreringen til instrumentet, vil også påvirke nøyaktigheten til utstikkingen. Bruken av maskinstyring til innmåling av passpunkt, kan bidra til å effektivisere prosessen ytterligere.

Entreprenøren kan selv ta bilder av ledninger, der passpunktene er synlig i bildene. Passpunktene kan for eksempel være spraymerker, som er målt inn med skuffen på maskinen. Det kan også være mulig å benytte et mobilkamera til fotografering, men et bedre kamera vil alltid være å foretrekke da dette gir mer nøyaktige målinger [10]. Etter fotografering kan entreprenøren sende bildene videre til en som kan registrere og dokumentere ledningene i den resulterende punktskyen.

Det er også mulig at landmåler måler inn passpunktene på et senere tidspunkt. For å gjennomføre dette må passpunktene være synlige i bildene, sammen med ledningene som skal måles inn. Det forutsetter også at passpunktene ikke har endret posisjon, fra fotografering til innmåling. Ifølge resultatene i denne oppgaven, vil dette kunne fungere bra til formålet. Men det krever at en landmåler kommer til gropen, og måler inn passpunktene. En slik løsning kan være spesielt nyttig ved oppdagelse av ledninger som ikke er kartlagt. Hvis det er etablert kjente passpunkter i terrenget, kan entreprenøren ta bilder av de nyoppdagede ledningene, og sende de videre.

# Kapittel 6 | Konklusjon

Denne oppgaven har undersøkt hvordan fotogrammetri fungerer som metode for innmåling av ledninger i åpen grøft. For å svare på målene til oppgaven, har ledningsregistreringsforskriftens krav og toleranser blitt brukt som målestokk. Både kamerametoden og visuell posisjonering gir et samlet maksimalt avvik godt innenfor kravene. For kamerametoden ble det kun benyttet tre passpunkt for å georeferere modellene. På tross av dette var modellene innenfor tillat avvik. Kamerametoden har dermed gode forutsetninger hvis det benyttes tre eller flere godt plasserte passpunkt. Resultatene viser at metodene også egner seg bra til å registrere ledningene, og deres egenskaper. Det var allikevel ikke alle modellene som hadde målbare ledninger. Det viser viktigheten av å ha god stereodekning, og nok antall bilder av ledningene som skal måles inn.

Det er vist gjennom denne oppgaven at fotogrammetri gir mange fordeler man ikke får ved bruk av GNSS. Mange av disse fordelene innebærer det å besitte en punktsky istedenfor enkle punkt. Som vist i GML-filen til den ferdige leveransen, gjør en punktsky det enklere å registrere nøyaktig og riktig informasjon om ledningenes egenskaper. Det er også en stor fordel at denne informasjonen kan hentes ut i ett tid. Fotogrammetri er en billig, effektiv og anvendelig innmålingsmetode, som gir brukeren mulighet til å måle ledninger på avstand. Det kan derfor konkluderes med at fotogrammetri er en godt egnet metode til dette formålet. Med denne konklusjonen, vil det åpnes muligheter for å effektivisere og forbedre innmålingsprosessen. En av mulighetene kan være at entreprenøren selv tar bilder av ledningene som skal måles inn. For å realisere dette, krever det et godt samarbeid mellom graveentreprenør og landmåler.

## 6.1 Videre arbeid

Ledninger som ligger nærme nok, og er av samme ledningstype, kan måles inn som en trase [17]. I denne oppgaven ble alle ledningene behandlet som ledningstraseer med en enkel ledning. Da det ble beregnet samlet maksimalt avvik, ble derfor ikke nøyaktigheten til innmålt bredde/diameter tatt



med. Det kan være interessant å undersøke hvor stor påvirkning denne parameteren har på det samlede maksimale avviket. Senterpunkt på en ledningstrase med flere ledninger, kan også være vanskelig å bestemme. Det vil derfor være interessant å undersøke hvordan en punktsky fra fotogrammetri kan hjelpe med dette. Ledningstraseens senterpunkt kan for eksempel finnes ved følgende metode:

1. Avsette en linje mellom hvert av ytterpunktene i en ledningstrase.
2. Fastsette midtpunktet av linjen som senterpunkt.
3. Legge til radius av ledningsobjekt til vertikal planet for senterpunktet.

Maskinstyring er også en interessant studie for videre arbeid. Ved å bruke gravemaskinens skuffe til å fastsette passpunkt kan feltarbeidet effektiviseres ytterligere. I tillegg vil behovet for en landmåler i felt, kunne bli mindre. Det er derfor av interesse å undersøke om kamerametoden fortsatt kommer innenfor maksimalt tillat avvik, når passpunktene er målt inn med ulike former for maskinstyring.

Det ville vært interessant å undersøke bruk av mobilkamera til fotografering for kamerametoden. Det kan da vurderes hvor stor påvirkning kamerakvalitet har på det samlede maksimale avviket. Andre former for laserskanning og fotogrammetri enn de benyttet i oppgaven, kan også være interessant å undersøke. Dette kan for eksempel være håndholdte laserskannere, eller apper som PIX4Dcatch.

# Vedlegg A | Intervju

## A.1 Tommy S. Elnæs Maskinentreprenør As

Intervjuet er et referat fra en muntlig samtale. Det gjør at visse grammatiske feil kan forekomme.

**Har du hørt om ledningsregistreringsforskriften? Hva har du hørt om den? Vet du hva den innebærer?**

Jeg skal innrømme at jeg ikke har satt meg veldig dypt inn i den. Men jeg har skjønt at det settes strengere krav til dokumentasjon av det vi legger ned i bakken, og hvordan det skal legges. For oss som har gravd noen år i Oslo så er det veldig kjærkomment med en innstramning, fordi vi sliter daglig med ting som er lagt feil, og med ting som ikke er registrert. Så både prosjektering og prosjektgjennomføring, blir unødvendig dyrt og tar lengre tid, fordi det ligger mye rart i bakken vi ikke vet om. Det tar noen år før vi får skikkelig effekt av dette, men det er veldig kjærkomment.

**Så du ser på det som en positiv forandring? At det vil hjelpe entreprenører som deg?**

Ja

**Hvordan tror du det vil endre arbeidshverdagen deres? Hvilke endringer trer i kraft når denne kommer. Vil dere måtte gjøre noe annerledes?**

Ja man vil måtte planlegge arbeidet bedre. Vi har alltid prøvd å gjøre det. Man må sette seg inn i kravet selvfølgelig, og planlegge ut ifra det. Man må lage seg nye interne rutiner på hvordan man gjennomfører det. Og kursing internt blir annerledes. De man har med seg som graver, legger rør og utfører oppgaver, må også være klar over disse kravene når de jobber. Det er ikke sånn som før der man bare kan grave og legge rør hvor man vil. Det blir mer planlegging rundt det. Det er sånne ting vi må planlegge, som er utfordrende. Så må vi passe på å få betalt for det vi gjør, så kanskje vi må se på enhetsprisen vi bruker. At man må ha betalt for å gjøre et ekstra omfang utav det.

**Så det kan bli større oppdrag, ved å utføre samme jobb?**

Ja litt konsekvenser som pris og tid. De henger litt sammen. Krever litt mer ressurser.

**Oppstår det ofte graveskader eller andre utfordringer knyttet til kabler og ledninger som det ikke er opplyst om? Er det ofte ledninger som ikke er kartlagt eller som er kartlagt feil?**

Ja det gjør vi nesten hvert sted som graves tror jeg. Det er selvfølgelig alltid opplyst om at det er måleusikkerhet når vi får påvisning. Det er innenfor et spekter på en meter eller to avhengig av om det er høyspent eller lavspent, der kabelen kan ligge. Så det er opplyst i påvisning om at det er en måleusikkerhet, og vi får ikke angivelse på hvor dypt kablene ligger. Vi opplever et hvert sted at det er avvik. Ofte er plasseringen et avvik, i hvert fall på signalkabler. Strømkabler er litt mer eksakt, fordi de er lettere å lytte frem. Men for tele og fiber kabler er det veldig store avvik på plassering.

**Med VA også?**

Ja vann og avløp avhenger litt av hvilken kommune man er i. Oslo kommune har bra dokumentasjon, og vi opplever faktisk mindre avvik enn andre steder. Stikkledninger kan vi slite litt med, på grunn av arkivtegninger og gamle dokumentasjoner. Men vi opplever mindre avvik på vann og avløp enn på kabler. Kabler er den store heksen, som vi ikke helt vet hvor ligger før man starter. Kabler som ikke er påvist i det hele tatt, er de som utgjør den største risikoen. Er det ikke påvist noen kabler, så skal man allikevel grave forsiktig. Men man graver kanskje litt mer uforsiktig enn du hadde gjort hvis du hadde hatt en strek på bakken. Så med tanke på HMS og framdrift, så er den kabelen som ikke er påvist, det største problemet. Er det ett avvik på en halvmeter så er det selvfølgelig dumt, men da vet du i det minste at den er der et sted. Det er en stor forskjell på om den er på kartet eller ikke. Litt banalt kan man si at det er dumt at det er avvik, men det er bedre at det er avvik, enn at den ikke er på kartet i det hele tatt.

**De fleste som graver vet at det kan være avvik på flere meter, men er forsiktig når man er innenfor sonen?**

Ja. Man er forsiktig når man er innenfor sikkerhetssonen man blir opplyst om. Om det er 1 eller 2 m, så vet man i hvert fall at det kan være noe i nærheten.

**Med standarden skal kommer det krav om stedfestingsnøyaktighet på 20cm i grunnriss og 30cm i høyde**

Ja stemmer.

**Tidligere har det ikke vært en høydekoordinat heller. Da vet man ikke hvor langt ned man skal grave før man når kabelen**

Ja det er det som er problemet. Det har vært opp til ledningseier å bestemme. Strømlleverandører har ofte en minimumsdekning, men med fiber og EL har det vært mer ullent. Du kan si at det verste er kanskje fiber kabler. Det var en stor utbygging på starten av 2000 tallet da alle skulle ha fiber i Oslo. Da ble alle kablene bare kastet i bakken. Det kan ligge alt fra 0 cm til 1m ned i bakken. Man vet aldri. Det var en ekstrem vekst i fiber nettet, og det ble bare kastet ut i gatene. Det var helt forferdelig.

**Så du er enig i at forskriften vil bidra til bedre dokumentasjon av infrastruktur i grunnen på sikt, og at det vil ha positiv effekt for entreprenører**

Ja absolutt.

**Er det du som må be om kabelpåvisning, eller er det de som hyrer dere inn, som skal gi dere all kartdata om hvor ting ligger i terrenget.**

Det er litt forskjellig praksis ute og går men hvis vi skal følge lover og regler, og ha forsikringen inntakt, så er det den som utfører arbeidet som må be om kabelpåvisning. Så hvis jeg kommer på et prosjekt der en annen er hovedentreprenør, så må jeg ta ut min egen kabelpåvisning der jeg graver. Hvis jeg graver i stykker den kabelaen, så er det mitt ansvar, og jeg må bruke min forsikring. Da må jeg kunne vise til min kabelpåvisning. Rent formelt sett så er det den som utfører jobben, som må gjøre det. Men i prosjekteringsfasen så kan en rådgiver som for eksempel Sweco bestille påvisning, men det er da for å prosjektere. Man må da bestille en ny når du skal begynne å utføre, fordi den har en viss gyldighet i tid.

**Så det kan altså gjøre at påvisning av og til må bestilles to ganger?**

Det stemmer.

**Hvordan tenker du at et landmålingsselskap kan bidra dere på best mulig måte på de innmålingsoppgavene som kreves av dere? Hva er det dere trenger en landmåler til når dere skal grave?**

Når vi får et prosjekt med dokumentasjonsbiten, så engasjerer vi landmåler tidlig i fasen. Vi har blitt glad i å bruke Scan Survey fordi det fungerer godt. Vi forteller hva vi skal gjøre og gir de tegninger. Ofte har vi stikningsdata som vi har fått av prosjektet, som vi sender videre til landmålere. Så kommer deretter landmålere og setter ut det vi skal jobbe etter. Underveis i prosjektet er vi avhengig av at vi har god dialog med landmålere, slik at han kan komme og måle inn i tråd med vår framdrift. Når vi legger rør, er vi avhengig av å fylle inn fortløpende. Landmåler må derfor også kunne komme og måle inn det han skal fortløpende. Den prosessen krever et godt samarbeid, slik at man ikke fyller inn for mye før landmåler har fått målt inn det han skal.

**Tar det ofte lang tid før en landmålerne kommer til felt?**

Det kommer an på hvor flink entreprenøren er til å planlegge. Vi gjør ofte slik at vi vet hvor mye vi produserer per dag, også booker vi landmålere for et par dager. Da vet vi at vi har røret klart. Deretter holder vi løpende dialog. Jo bedre vi klarer å planlegge arbeidet vårt, jo kjappere går innmålingen også. Det er opp til oss selv. Jeg opplever å ha brukt andre landmålere i andre sammenhenger også, og syntes det går veldig fint. Men som sagt, planlegger man dårlig så må man stå og vente.

**Er det ofte sånn at grøften skal lukkes igjen så kjapt som mulig?**

Ja grøften skal helst lukkes i går. Det er alltid en innkjørsel, fortau, sinte naboer, osv. som gjør at

grøfter burde lukkes igjen kjapt. Viktig med en god arbeidsflyt på det der. Det er viktig at vi har informert landmåleren om hvilke krav som gjelder. Oslo kommune har for eksempel egne krav til innmåling for hvordan ledninger skal måles inn, hvilke toleranser det er, og hvor på ledninger det skal måles. Om det er skjøte eller ledning, osv. Det er viktig at vi som oppdragsgiver kan informere landmåler om sånn informasjon, og hva han skal måle.

**I masteren vår undersøker vi alternative metoder for å måle inn ledninger under bakken. Spesielt i åpen grøft som i dette tilfellet. En av de metodene er bildematching, der vi tar mange bilder av ledningene, også har vi for eksempel tre kjentpunkt som er synlig på bildene. Det kan for eksempel være tusjmerker eller spraymerker på bakken. Vi kan deretter sitte på pc-en på kontoret og lage modeller som er georeferert. Vi har også undersøkt laserskanning for å se om det også kan funke. Det er en ganske kostbar metode, så det er ikke sikkert den vil bli så mye brukt**

**Har du noen forslag til måter hele den innmåling av ledninger i grøft kan gjøres enklere eller mer effektiv?**

Jeg tenker på den fotometoden. Er det sånn at landmåleren må komme og ta bilde, eller kan det bli tatt av andre også?

**Ja det er det vi prøver å undersøke. Om det hadde vært mulig for dere å spraye opp noen merker på bakken, også ta bilder av grøften der de merkene er synlig. Også sørge for at de er med på flere av bildene, også sende oss bildene. Har dere GPS?**

Vi har GPS på maskinene for å kunne bruke maskinstyring. Da har man muligheten til å sette ut XYZ for eksempel.

**Da kunne nok det funket. Er den nøyaktig?**

Det er kanskje litt feil måleusikkerhet på det. I hvert fall i Oslo. Vi opplever at innenfor ring tre i Oslo så er det litt dårlig dekning i maskinstyring. Det er derfor litt mer aktuelt å bruke utenfor bykjernen, og det er litt synd. Men det blir bedre og bedre. Er vi utenfor Oslo kan vi måle inn rør med maskinen, og altså måle inn punkter. Landmåleren kan da hente ut de punktene. Men det er ikke noen som bruker det som ferdig dokumentasjon tror jeg, fordi det ikke er nøyaktig nok. Men for arbeidsstikking så kan det være godt nok. Men jeg tenker at en sånn fotovariant hadde vært veldig greit, så lenge dere får knyttet det til et kjent punkt.

**Vi må helst ha tre kjentpunkt**

Nå har ikke vi det nyeste utstyret av maskinstyring. Men hvis det er sånn at vi kan klare å sette et punkt i grøften som vi har koordinatene på i xyz, og at man da kan sette det sammen med det bildet. Så tror jeg det kunne vært en veldig effektiv måte å få dokumentert grøft og ledninger på. Spesielt på et slikt prosjekt som Storo der man skal kartlegge punkter, og det er mange kabler man skal dokumentere. Så istedenfor å kjøre ut og måle inn hver enkelt kabel. Så kunne man hatt kjentpunkt

som er med på bilder som vi kan ta. Så kan dere sitte og jobbe med det på kontoret.

### **Da kan man til og med jobbe med det imens grøften kan lukkes igjen**

Ikke sant? Det tenker jeg er veldig relevant for sånne situasjoner der grøften ikke kan være åpen så lenge

**Men da har man den faren med at hvis du lukker igjen grøften, også viser det seg at man ikke har tatt tilstrekkelig med bilder, eller at bildene ikke er gode nok. Da kan det oppstå en situasjon der man ikke klarer å lage en god nok modell, og grøften er lukket igjen. Det er noen sånne problemer man må ta hensyn til. Er dette et ansvar du eller andre kunne sett for dere og sittet med. Å ta egne bilder og sende de til et landmålingsselskap?**

Ja, men det måtte nok vært et forbehold der. Det vil alltid være måleusikkerhet uansett hva man måler med. Ja, men med et visst forbehold så kunne man det. Med mindre man blir satt erstatningspliktig, så kunne man fint bidratt til informasjon tenker jeg. Det er jo alle tjent med.

### **Det hadde nok gjort det mer effektivt**

Ja helt klart. Jeg ser i Gemini VA. Så har man ganske bra kart og arkiver i databasen for Oslo. Og der får man opp bilder som er geotagget. Det er ganske nyttig, fordi da kan man kanskje se hvordan en kum ser ut utvendig. Selv om det er asfalt og fylt igjen. Det er en fin database, der man kan finne informasjon som ikke foreligger på andre måter.

**Vi har vært litt usikker på hvor mye ansvar entreprenører har lyst å ta på seg. Nå vet ikke vi hvor mye kompetanse dere sitter på, men bare det å sette tusjmerker eller spraymerker på bakken kan være utfordrende fordi de må være synlig på et par av bildene, og de må kunne måles inn. Vi har også vurdert muligheten for at entreprenøren bare tar bilder med spraymerkene på bakken, også blir merkene målt inn på et senere tidspunkt av en landmåler. Men på byggeplasser så vet vi alle hvor mye som skjer. Der er det mange som går rundt, og som kan ødelegge fastmerkene. Man kan derfor ikke alltid være sikker på at de forblir i samme posisjon. Det er altså mye usikkerhet som er innblandet i dette**

Ja ser den. Det jeg ser på som en stor utfordring er kabler, som ikke alltid trenger å være lagt for så altfor lenge siden, kanskje 10-15 år siden. Også har det skjedd terrengforandringer i etterkant. Der er det enten blitt fylt opp på i området eller det har blitt senket. Den kabelen som ble lagt hadde kanskje riktig overdekking opprinnelig, men så har det blitt gjort forandringer som gjør at man enten graver ned til kabelen med en gang, eller at man må lete lenge. Det er en problemstilling som det hender vi opplever. Vi har ødelagt en ganske stor telefonkabel en gang nede på Bislett, fordi terrenget var tatt ned i gaten. Det er også en ting som man må være obs på. Det med ytre påvirkning av terreng.

### **Ja det er mange ting å ta hensyn til**

Ja absolutt. Mye å ta hensyn til, og kostnadene kan fort bli høy når det skjer feil.

### **Et problem er også at det er så lite av ledningen som faktisk vises. Spesielt i prøvegroper så er det bare en liten ledning som vises, også forsvinner den langt under bakken igjen og blir kanskje dekket av grunnvann. Ofte ser man bare 20cm av ledningen**

Ja det er sant det. Når man holder på å grave på kabler og VA så blir det veldig sånn at man gjør seg erfaringer etter hvert. Når man graver opp, så prøver man å forestille seg hvordan jeg ville lagt denne kablet. Man må tenkte hvor den sannsynligvis ligger. Noen ganger så går det som man tror, og andre ganger ikke. Se etter endring i grunnen. Hvis det ligger en veldig stor stein så er det usannsynlig at kablet ligger akkurat der. Men kommer man inn i finere masse som sand og sånne ting, så er det overfylingsmasser for kabler. Da må man være forsiktig. Kan også bruke røde eller gule plater som legges over for å varsle. Det er en del virkemidler som brukes for å forhindre skader, i tillegg til kabelpåvisning. Det er derfor man har en hjelpemann som står bak skuffen som ser når du graver. Som ser etter endringer i grunnen. Når du sitter i gravemaskin så ser du ikke kablet før det er for seint. Hvis du ser kablet, så er det for seint. Han som står bak maskinen ser hva skuffen skraper opp. Det er han som har "point of view". Det er vanskelig å se for seg prosessen før man har vært med på det en gang. Vanskelig å se for seg hva som skjer før man faktisk står der med grøften åpen. Det er altså en del prosesser som man må gjennom for å få det til å gå helt i orden.

### **Når man bruker bildematching så får man veldig mye mer informasjon enn man kanskje kunne trengt. Kan du se for deg at det kan være et bruksområde for å ha fulle modeller?**

Jeg synes det ser veldig lovende ut. Jeg er ikke rådgiver, men hvis man skulle prosjektert noe kunne det vært nyttig. For eksempel en gangbro over en jernbane, som i dette tilfellet. En ting er hvor kablet ligger, men en annen ting er hvor godt innblikk i grunnforhold man får av en punktsky. Hvilke masser det er i området, i hvert fall i topplaget. Det kan gi en del informasjon om steder som kan være veldig verdifullt. Kan kanskje slå to fluer i en smekk når det gjelder sånne ting. Det finnes nesten ikke for mye informasjon i sånne faser i prosjektet. Jeg tror sånn bildematching ser bra ut, men tror kanskje laserskanning kan være litt "overkill" for slike prosjekter som dette.

### **Laserskanning gir så mange punkter at det blir så store modeller**

Ja det har jeg skjönt. Det kan bli problematisk når man skal lagre og forvalte modellene. Viktig å bruke riktig verktøy til riktig jobb. Det er nok noen komplekse infrastruktur anlegg der det kan være relevant å bruke laser også. At det er nødvendig av og til. Det kan være greit å ha et par alternativer.

### **Men ikke så mye som har endret seg for dere utenom at dere må planlegge mer?**

Det er riktig. Det er planleggingen det går mest på. Det er mange entreprenører som måler inn selv, eller som har utstyr til det. Men vi har alltid brukt et landmåler firma fordi det er et eget fag, og fordi dokumentasjon er en del av vår leveranse. Det er ikke bare gravingen. For at det skal bli 100 prosent, så er det best å la fagfolk gjøre det. For oss så er det å få omstilt seg på planleggingsbiten.

Hva de kravene har å si for vår gjennomføring. Det røret skal ligges der den skal ligges, og den kummen skal bygges der den skal bygges. Før kunne vi fylle inn rundt kummen ganske fort. Men med forhold til XML format, så må vi måle inn kum konstruksjon med fotavtrykket. Vi kan ikke fylle igjen før vi har fått landmåleren til å måle inn konstruksjonen. Litt andre rutiner og planlegging er største forskjellen. Det gir også mer seriøsitet. Jeg syns noe av det fine med denne forskriften som setter krav er at det luker ut en del useriøse. Hver gang det blir strammet inn litt på krav, så faller noen som er veldig useriøse av lasset. Det er veldig fint. Det gagnar oss som bruker tid på å gjøre ting ordentlig.

## A.2 Per Ola Berntsen

**Ville det gått an og målt inn tusjkruss/spraymerker på bakken med skuffen? Og hvor nøyaktig ville den målingen blitt?**

Ja, det er mulig å måle inn spraymerker med skuffen. Når du sier måle inn så antar jeg at dette er spray som allerede er i terrenget, eksempelvis fra kabelpåvisning fra Geomatikk? Maskinfører kan selv spraye, men det blir noe ineffektivt ettersom han må ut fra maskinen for hver gang det skal merkes. Det kan imidlertid legges inn kabel elektronisk på maskinen så operatør kan se linjer i skjermen direkte og få avstand til disse. Opplevd nøyaktighet på tenner/kniv på skuff er 3-4 cm, men påliteligheten vil nok redusere dette til ca. 5 cm. Vi reagerer på avvik som er mer enn 3-4 cm når vi kontrollerer skuff, men vi fokuserer mer på høyde enn grunnriss.

**Må maskinstyringen kalibreres ofte? Hvor stor forskjell utgjør denne kalibreringen?**

Her varierer det litt fra de forskjellige leverandørene. Trimbles system har et slitasjemål på skuff, hvor man endrer lengden på tenner/kniv basert på slitasje. Så selve skuffekalibreringen gjøres ikke på nytt med mindre noe er endret på redskapen. Som oppsveising, ending av feste osv. For andre systemer så foretas det kontroll mot fastmerker daglig, og ved avvik så kalibreres redskapen på nytt. Kontroll mot fastmerker er uansett noe vi anbefaler som en daglig arbeidsflyt.

**Hvis det går an å måle inn et punkt på bakken med grabben. Er det da mulig å bruke kanten av skuffen istedenfor midten?**

Ja, man velger fokuspunkt høyre/senter/venstre selv og bruker dette ved innmåling.

**Er det da vanskelig/stor feilmargin når man skal stikke ut kjentpunktet på bakken med grabben?**

Det er som regel enklest å bruke kanten på skuffen, og det er der vi vanligvis tester nøyaktigheten på maskin etter innmåling og kalibrering.

**Er det vanskelig for han som styrer å treffe?**



En erfaren operatør klarer overraskende godt å treffe et egg med ei tann på skuffen, men dette går på erfaring og kan vanskelig måles med en treffprosent.

**Er det problemer å få dekning/fix med maskinstyring? Eller er det likt som en vanlig GNSS?**

GNSS systemet bruker samme teknologi som en vanlig stikningsrover, og den teoretiske nøyaktigheten er den samme på mottakerne. Det som krever litt mer er at det vanligvis er to antenner som skal plasseres på en maskin. De må ha en minsteavstand mellom seg, og samtidig være lengst mulig unna oppstikkende detaljer som hytte eller hevet bom/stikke. Vi opplever lite problemer med fiksløsning generelt. Er det høye bygg eller skjæringer, eller trær, så vil dette være en utfordring på maskiner i likhet med vanlig stikningsutstyr. Løsningen kan være bruk av totalstasjon som styremetode, noe som også vil forbedre nøyaktigheten betydelig. Det er imidlertid en langt dyrere løsning, som også krever mer tid og mindre frihet på bevegelse.

**Er det mest vanlig med maskinstyring på større maskiner, eller er det også vanlig at mindre og rimeligere gravere har det?**

De aller fleste maskiner fra 8-10 tonn og opp til 35-40 tonn har i dag GNSS styring, og stadig mindre maskiner får dette. De aller største står stort sett bare og forflytter masse, og har ikke dette behovet.

**Vet du hva som forventes av maskinstyring i årene fremover? F.eks. at det blir mer vanlig at mindre og rimeligere gravere har maskinstyring, og ikke bare de større?**

Det går i retning av at maskinene kommer med system montert fra fabrikk. Volvo og CAT har kommet lengst her, men de andre fabrikantene kommer etter. Innmålte punkter fra maskin kan kodes med SOSI/NVDB objektkoder fra liste i maskinen. Det er begrenset med attributter vel å merke, så HREF, MEDIUM osv. bør ligge på egne koder for å håndtere dette i etterkant.

# Vedlegg B | Landmålingsrapport

## **Landmålingsrapport**

### **1. GENERELT**

#### **1.1 Oppdrag**

Oppdragets nummer\*:

Oppdragets navn\*:

Kommune: Fylke:

#### **1.2 Oppdragsgiver**

Navn\*:

Foretaksnummer\*:

Postadresse:

Besøksadresse:

Kontaktperson\*:

E-post:

#### **1.3 Oppdragstaker**

Navn\*:

Foretaksnummer\*:

Postadresse:

Besøksadresse:

Kontaktperson\*:

E-post:

#### **1.4 Underleverandører**

Navn\*:

Foretaksnummer\*:

Postadresse:

Besøksadresse:

Kontaktperson\*:

E-post:

## 2. Sammendrag av utført arbeid\*:

Det ble målt inn 6 ledninger i 3 ulike prøvegroper. Innmåling ble gjort med bildematching, og nøyaktigheten er innenfor kravene til standarden for ledningsregistreringsforskriften.

## 3. GEODETISK REFERANSE

### 3.1 Horisontalt:

Datum\*: Euref89

Kartprojeksjon\*: NTM

Sone\*: 10

### 3.2 Vertikalt:

Datum\*: NN2000

Type høyde (ellipsoidisk, ortometrisk): Ortometrisk høyde

### 3.3 Grunnlagspunkter i grunnriss\*:

Kjentpunkt målt med GNSS (N, E)

HP1	1216597.371, 115614.649
HP2	1216598.391, 115612.305
HP3	1216600.148, 115613.209
HP4	1216626.214, 115604.445
HP5	1216628.027, 115606.053
HP6	1216629.469, 115603.627
HP7	1216658.496, 115595.297
HP8	1216659.969, 115593.936
HP9	1216660.430, 115595.220

### 3.4 Grunnlagspunkter i høyde\*:

Kjentpunkt målt inn med GNSS

HP1	109.667 m
HP2	109.820 m
HP3	109.670 m
HP4	110.041 m
HP5	109.879 m
HP6	109.970 m
HP7	110.454 m
HP8	110.410 m
HP9	110.390 m

#### **4. Måle- og beregningsdokumentasjon**

##### **4.1** Opplysninger om hvem som har utført feltarbeidene og tidsrom for utførelsen:

Utførende landmåler\*: Sjur Spjeld Klemetsen og Ola Flesche Hellenes

Kommentar til gjennomføringen:

Startdato\*: 09.12.2021

Sluttdato\*: 09.12.2021

##### **4.2** Måleutstyr\*:

Sony A7s speilreflekskamera og Leica GS18 I

##### **4.3** Målemetode og måleprosedyrer\*:

Fotogrammetri/bildematching

##### **4.4** Begrunnelse for eventuelle avvik fra standarden for «Stedfesting av ledninger og andre anlegg i grunnen, sjø og vassdrag» (Stedfesting av LAGS):

Ingen avvik

##### **4.5** Programvare for-/etterprosessering/bearbeiding av landmålingen\*:

Agisoft Metashape og Gemini Terreng.

##### **4.6** Vanskeligheter under planlegging, måling og etterprosessering:

Snø og grunnvann

#### **5. Billedokumentasjon:**

##### **5.1** Fotoutstyr\*: Sony A7s

##### **5.2** Posisjoneringsutstyr for geotagging av bildene\*: Agisoft metashape og GS18 I

##### **5.3** Bildeplassering (url/mappe)\*: Pictures

##### **5.4** Antall bilder: 3

#### **6. Geometrikontroll\*:**

Fastmerkene ble målt inn to ganger, med 1 times mellomrom. Resultatet ble midlet.

## 7. Resultat:

### 7.1 Leveranse i henhold til standarden:

«Stedfesting av LAGS», versjon nr.\*: 1

Områdetype(r)\*: 1

Maksimalt 3D avvik, horisontalt, for de stedfestede objektene\*:

Grop 2	0.0644 m
Grop 4	0.0623 m
Grop 5	0.0591 m

Maksimalt 3D avvik, vertikalt, for de stedfestede objektene\*:

Grop 2	0.1006 m
Grop 4	0.0721 m
Grop 5	0.0738 m

### 7.2 Dataleveranse:

Type anlegg\*: Høyspent, lavspent og tele

Produktspesifikasjon\*: Stedfestingsdata i henhold til standard datert 01.01.2019 for påviste eller avdekkede ledninger. Versjon: 20190101

Leveranseformat\*: DWG, GML, JPG

## Vedlegg C | GML-fil

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="no" ?>
<gml:FeatureCollection xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml/3.2" gml:id="idb2f0d88a-91ef-42d0-9a87-66eebb283092"
xmlns:app="http://skjema.geonorge.no/SOSI/produktspesifikasjon/LedningsnettPaavistEllerAvdekket/20190101" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xsi:schemaLocation="http://skjema.geonorge.no/SOSI/produktspesifikasjon/LedningsnettPaavistEllerAvdekket/20190101
http://skjema.geonorge.no/SOSI/produktspesifikasjon/LedningsnettPaavistEllerAvdekket/20190101/LedningsnettPaavistEllerAvdekket.xsd">

  <gml:boundedBy>
    <gml:Envelope srsDimension="3" srsName="http://www.opengis.net/def/crs/epsg/0/5950">
      <gml:lowerCorner>115594 1216597 109.2328</gml:lowerCorner>
      <gml:upperCorner>115616 1216661 110.4637</gml:upperCorner>
    </gml:Envelope>
  </gml:boundedBy>

  <gml:featureMember>
    <app:Trase gml:id="idb1923c63-bf6d-4f35-b7bd-50e4601415e0">
      <gml:description>Svart kabel i trase</gml:description>
      <app:datafangstdato>09.12.2021</app:datafangstdato>
      <app:kvalitet>
        <app:Posisjonskvalitet>
          <app:målemetode>19</app:målemetode>
          <app:nøyaktighet>0.017</app:nøyaktighet>
          <app:målemetodeHøyde>19</app:målemetodeHøyde>
          <app:nøyaktighetHøyde>0.006</app:nøyaktighetHøyde>
        </app:Posisjonskvalitet>
      </app:kvalitet>
      <app:informasjon>Målt med kamera og bildematching</app:informasjon>
      <app:status>iBruk</app:status>
      <app:eier>
        <app:Eier>
          <app:eiertype>privat</app:eiertype>
          <app:eier>Navn på eier</app:eier>
        </app:Eier>
      </app:eier>
      <app:maks3dAvvik>
        <app:Maks3dAvvik>
          <app:maksAvvikVertikalt>0.0824</app:maksAvvikVertikalt>
          <app:maksAvvikHorisontalt>0.0705</app:maksAvvikHorisontalt>
        </app:Maks3dAvvik>
      </app:maks3dAvvik>
      <app:vertikalnivå>underGrunnen</app:vertikalnivå>
      <app:høydereferanse>toppUtvendig</app:høydereferanse>
      <app:foto>
        <app:Skråfoto>
          <gml:description>Hyperlink ligger under egenskaper</gml:description>
          <gml:name>Groft2</gml:name>
          <gml:boundedBy>
            <gml:Envelope>
              <gml:coordinates>115614.549774, 1216596.528788</gml:coordinates>
            </gml:Envelope>
          </gml:boundedBy>
          <app:retningsvektor>
            <app:Retning>
              <app:retningsverdi>0</app:retningsverdi>
              <app:retningsenhet>1</app:retningsenhet>
              <app:retningsreferanse>2</app:retningsreferanse>
            </app:Retning>
          </app:retningsvektor>
          <app:fotograferingstidspunkt>09.12.2021</app:fotograferingstidspunkt>
          <app:fotoinformasjon>
            <app:Bildeinformasjon>
              <app:kameratype>Sony A7s</app:kameratype>
              <app:brennvidde>18mm</app:brennvidde>
              <app:fotograf>Sjur Spjeld Klemetsen</app:fotograf>
            </app:Bildeinformasjon>
          </app:fotoinformasjon>
        </app:Skråfoto>
      </app:foto>
    </app:Trase>
  </gml:featureMember>
</gml:FeatureCollection>

```



```

    </app:fotoinformasjon>
  </app:Skråfoto>
</app:foto>
<app:beliggenhet>
  <gml:LineString gml:id="id99eb85fe-fe0e-443d-be8d-31c89ff7338a" srsDimension="3">
    <gml:posList srsDimension="3">115614.951300 1216598.994600 109.245000 115614.900200
1216599.129000 109.242700 115614.843200 1216599.261900 109.241200 115614.789700 1216599.383700
109.235700 115614.772100 1216599.420100 109.236100 115614.741300 1216599.482400 109.232800
115614.718700 1216599.524900 109.233000</gml:posList>
  </gml:LineString>
</app:beliggenhet>
<app:stedfestingsårsak>uendret</app:stedfestingsårsak>
<app:stedfestingsforhold>delvisAvdekket</app:stedfestingsforhold>
<app:stikkledning>nei</app:stikkledning>
<app:bruk>lavspennetnett</app:bruk>
<app:ytreDiameter>0.03</app:ytreDiameter>
</app:Trase>
</gml:featureMember>

<gml:featureMember>
  <app:Trase gml:id="ide7c49530-dd9c-413e-8ae3-c07acc338395">
    <gml:description>Grønn kabel</gml:description>
    <app:datafangstdato>09.12.2021</app:datafangstdato>
    <app:kvalitet>
      <app:Posisjonskvalitet>
        <app:målemetode>19</app:målemetode>
        <app:nøyaktighet>0.012</app:nøyaktighet>
        <app:målemetodeHøyde>19</app:målemetodeHøyde>
        <app:nøyaktighetHøyde>0.005</app:nøyaktighetHøyde>
      </app:Posisjonskvalitet>
    </app:kvalitet>
    <app:informasjon>Målt med kamera og bildematching</app:informasjon>
    <app:status>iBruk</app:status>
    <app:eier>
      <app:Eier>
        <app:eiertype>privat</app:eiertype>
        <app:eier>Navn på eier</app:eier>
      </app:Eier>
    </app:eier>
    <app:maks3dAvvik>
      <app:Maks3dAvvik>
        <app:maksAvvikVertikalt>0.0515</app:maksAvvikVertikalt>
        <app:maksAvvikHorisontalt>0.0623</app:maksAvvikHorisontalt>
      </app:Maks3dAvvik>
    </app:maks3dAvvik>
    <app:vertikalnivå>underGrunnen</app:vertikalnivå>
    <app:høydereferanse>toppUtvendig</app:høydereferanse>
    <app:foto>
      <app:Skråfoto>
        <gml:description>Hyperlink ligger under egenskaper</gml:description>
        <gml:name>Groft4</gml:name>
        <gml:boundedBy>
          <gml:Envelope>
            <gml:coordinates>115606.404330, 1216629.226126</gml:coordinates>
          </gml:Envelope>
        </gml:boundedBy>
        <app:retningsvektor>
          <app:Retning>
            <app:retningsverdi>270</app:retningsverdi>
            <app:retningsenhet>1</app:retningsenhet>
            <app:retningsreferanse>2</app:retningsreferanse>
          </app:Retning>
        </app:retningsvektor>
        <app:fotograferingstidspunkt>09.12.2021</app:fotograferingstidspunkt>
        <app:fotoinformasjon>
          <app:Bildeinformasjon>
            <app:kameratype>Sony A7s</app:kameratype>
            <app:brennvidde>18mm</app:brennvidde>
            <app:fotograf>Sjur Spjeld Klemetsen</app:fotograf>
          </app:Bildeinformasjon>
        </app:fotoinformasjon>
      </app:Skråfoto>
    </app:foto>
  </app:Trase>
</gml:featureMember>

```

```

    </app:Bildeinformasjon>
  </app:fotoinformasjon>
</app:Skråfoto>
</app:foto>
<app:beliggenhet>
  <gml:LineString gml:id="id3c002b3b-db43-4655-a84c-e315f96f727a" srsDimension="3">
    <gml:posList srsDimension="3">115604.561000 1216626.007200 109.758800 115604.697700
1216626.378500 109.754100 115604.778100 1216626.692100 109.756400 115604.835700 1216627.017000
109.763100 115604.868200 1216627.470100 109.788300 115604.866800 1216627.775000 109.810100
115604.849800 1216628.144500 109.829500 115604.789300 1216628.563100 109.826100 115604.730800
1216628.829900 109.821200 115604.628100 1216629.243900 109.816500 115604.506500 1216629.654600
109.813700 115604.447200 1216629.817100 109.816100 115604.393400 1216629.950400 109.821300
115604.361600 1216630.012800 109.823400 115604.343700 1216630.055600 109.825100</gml:posList>
  </gml:LineString>
</app:beliggenhet>
<app:stedfestingsårsak>uendret</app:stedfestingsårsak>
<app:stedfestingsforhold>delvisAvdekket</app:stedfestingsforhold>
<app:stikkledning>nei</app:stikkledning>
<app:bruk>høgspennnett</app:bruk>
<app:ytreDiameter>0.0700</app:ytreDiameter>
</app:Trase>
</gml:featureMember>

<gml:featureMember>
  <app:Trase gml:id="id731f1220-0224-43b5-9cdc-b65b7b2ca585">
    <gml:description>Grønn kabel</gml:description>
    <app:datafangstdato>09.12.2021</app:datafangstdato>
    <app:kvalitet>
      <app:Posisjonskvalitet>
        <app:målemetode>19</app:målemetode>
        <app:nøyaktighet>0.017</app:nøyaktighet>
        <app:målemetodeHøyde>19</app:målemetodeHøyde>
        <app:nøyaktighetHøyde>0.006</app:nøyaktighetHøyde>
      </app:Posisjonskvalitet>
    </app:kvalitet>
    <app:informasjon>Målt med kamera og bildematching</app:informasjon>
    <app:status>iBruk</app:status>
    <app:eier>
      <app:Eier>
        <app:eiertype>privat</app:eiertype>
        <app:eier>Navn på eier</app:eier>
      </app:Eier>
    </app:eier>
    <app:maks3dAvvik>
      <app:Maks3dAvvik>
        <app:maksAvvikVertikalt>0.0824</app:maksAvvikVertikalt>
        <app:maksAvvikHorisontalt>0.0705</app:maksAvvikHorisontalt>
      </app:Maks3dAvvik>
    </app:maks3dAvvik>
    <app:vertikalnivå>underGrunnen</app:vertikalnivå>
    <app:høydereferanse>toppUtvendig</app:høydereferanse>
    <app:foto>
      <app:Skråfoto>
        <gml:description>Hyperlinkt ligger under egenskaper</gml:description>
        <gml:name>Grop2</gml:name>
        <gml:boundedBy>
          <gml:Envelope>
            <gml:coordinates>115614.54977, 1216596.528788</gml:coordinates>
          </gml:Envelope>
        </gml:boundedBy>
        <app:retningsvektor>
          <app:Retning>
            <app:retningsverdi>0</app:retningsverdi>
            <app:retningsenhet>1</app:retningsenhet>
            <app:retningsreferanse>2</app:retningsreferanse>
          </app:Retning>
        </app:retningsvektor>
        <app:fotograferingstidspunkt>09.12.2021</app:fotograferingstidspunkt>
        <app:fotoinformasjon>

```

```

    <app:Bildeinformasjon>
      <app:kameratype>Sony A7s</app:kameratype>
      <app:brennvidde>18 mm</app:brennvidde>
      <app:fotograf>Sjur Spjeld Klemetsen</app:fotograf>
    </app:Bildeinformasjon>
  </app:fotoinformasjon>
</app:Skråfoto>
</app:foto>
<app:beliggenhet>
  <gml:LineString gml:id="id62ce567a-cc0e-4822-8208-961fb44c462a" srsDimension="3">
    <gml:posList srsDimension="3">115615.464600 1216597.084600 109.327700 115615.426300
1216597.199400 109.328400 115615.399200 1216597.275500 109.329500 115615.352600 1216597.420200
109.327900 115615.277900 1216597.619600 109.322000 115615.222600 1216597.767400 109.318300
115615.152200 1216597.953400 109.314700 115615.092800 1216598.125200 109.312100 115615.037700
1216598.283900 109.312700 115614.976000 1216598.467400 109.311600 115614.923800 1216598.627300
109.309300 115614.861900 1216598.807000 109.305400 115614.812600 1216598.959500 109.301500
115614.768500 1216599.106400 109.298200 115614.721700 1216599.275300 109.293500 115614.675000
1216599.412900 109.293600 115614.635900 1216599.556700 109.293300 115614.581500 1216599.740000
109.290700 115614.527500 1216599.922600 109.287800 115614.459900 1216600.132100 109.284300
115614.393300 1216600.338800 109.278300 115614.338900 1216600.497300 109.276700 115614.271500
1216600.695300 109.272600 115614.239200 1216600.791300 109.270700 115614.188000 1216600.946000
109.268500 115614.155000 1216601.053800 109.267100</gml:posList>
  </gml:LineString>
</app:beliggenhet>
<app:stedfestingsårsak>uendret</app:stedfestingsårsak>
<app:stedfestingsforhold>delvisAvdekket</app:stedfestingsforhold>
<app:stikkledning>nei</app:stikkledning>
<app:bruk>høgspennetnett</app:bruk>
<app:ytreDiameter>0.07</app:ytreDiameter>
</app:Trase>
</gml:featureMember>

<gml:featureMember>
  <app:Trase gml:id="id1d1ca185-4683-425d-91c7-56b66127d6db">
    <gml:description>Grønn kabel</gml:description>
    <app:datafangstdato>09.12.2021</app:datafangstdato>
    <app:kvalitet>
      <app:Posisjonskvalitet>
        <app:målemetode>19</app:målemetode>
        <app:nøyaktighet>0.016</app:nøyaktighet>
        <app:målemetodeHøyde>19</app:målemetodeHøyde>
        <app:nøyaktighetHøyde>0.005</app:nøyaktighetHøyde>
      </app:Posisjonskvalitet>
    </app:kvalitet>
    <app:informasjon>Målt med kamera og bildematching</app:informasjon>
    <app:status>iBruk</app:status>
    <app:eier>
      <app:Eier>
        <app:eiertype>privat</app:eiertype>
        <app:eier>Navn på eier</app:eier>
      </app:Eier>
    </app:eier>
    <app:maks3dAvvik>
      <app:Maks3dAvvik>
        <app:maksAvvikVertikalt>0.0531</app:maksAvvikVertikalt>
        <app:maksAvvikHorisontalt>0.0643</app:maksAvvikHorisontalt>
      </app:Maks3dAvvik>
    </app:maks3dAvvik>
    <app:vertikalnivå>underGrunnen</app:vertikalnivå>
    <app:høydereferanse>toppUtvendig</app:høydereferanse>
    <app:foto>
      <app:Skråfoto>
        <gml:description>Hyperlink ligger under egenskaper</gml:description>
        <gml:name>Groft5</gml:name>
        <gml:boundedBy>
          <gml:Envelope>
            <gml:coordinates>115595.088389, 1216658.044183</gml:coordinates>
          </gml:Envelope>
        </gml:boundedBy>
      </app:Skråfoto>
    </app:foto>
  </app:Trase>
</gml:featureMember>

```

# Vedlegg D | Rapporter

```
-V1.16 (2021-09-30) ScanSurveyAS (ScanObsV1-16.frt)
+SY NE NTM10 EUREF89 NN2000
-KO TTTTTTTTTTTT SS.SSS KKKKKKKK AtmPPM PRISME XXXXXXXX.XXXX YYYYYY.YYYY ZZZZ.ZZZZ M.xxx M.yyy M.zzz H-
-GPS
-KO TTTTTTTTTTTT SS.SSS KKKKKKKK XXXXXXXX.XXXX YYYYYY.YYYY ZZZZ.ZZZZ M.xxx M.yyy M.zzz
-FR TTTTTTTTTTTT 1111111111111111 2222222222222222 3333333333333333 444

+FR_00 JOBB Prosjektnavn 6515 grefs
+FR_00 JOBB RDT
+FR_00 JOBB Dato 2021-12-09
+FR_00 JOBB Operatør
+FR_00 JOBB Jobbnr
+FR_00 JOBB Jobbtype
+FR_00 INSTRUMENT Type CS30
+FR_00 INSTRUMENT Serienr 1
-----
+KO Grøft2_1 2.000 1216597.0706 115615.5158 109.3534 0.007 0.005 0.013
+KO Grøft2_2 2.000 1216598.3689 115614.9889 109.3363 0.007 0.005 0.012
+KO Grøft2_3 2.000 1216599.7517 115614.6326 109.3157 0.007 0.005 0.013
+KO Grøft2_4 2.000 1216601.0521 115614.1633 109.2906 0.007 0.006 0.014
+KO Grøft2_5 2.000 1216599.1205 115615.0647 109.2615 0.008 0.006 0.014
+KO Grøft2_6 2.000 1216599.7339 115614.8519 109.2628 0.007 0.007 0.012
+KO Grøft2_7 2.000 1216599.1210 115614.9126 109.2667 0.008 0.007 0.014
+KO Grøft2_8 2.000 1216599.6320 115614.6877 109.2600 0.007 0.007 0.013
+KO Grøft3_1 2.000 1216614.4991 115609.7175 109.2765 0.008 0.008 0.018
+KO Grøft3_2 2.000 1216614.9113 115609.5580 109.2730 0.008 0.006 0.018
+KO Grøft3_3 2.000 1216615.1384 115609.4578 109.2679 0.008 0.006 0.016
+KO Grøft3_4 2.000 1216615.2688 115609.7305 109.1868 0.008 0.006 0.014
+KO Grøft3_5 2.000 1216614.7539 115609.8787 109.1450 0.011 0.008 0.019
+KO Grøft3_6 2.000 1216615.2517 115609.6352 109.1821 0.009 0.006 0.016
+KO Grøft3_7 2.000 1216614.8141 115609.7435 109.1494 0.008 0.006 0.014
```

Figur D.1: Utsnitt av observasjonsfilen til GS18 I

# Leica GS18 I



## GNSS TECHNOLOGY

Self-learning GNSS	Leica RTKplus SmartLink (worldwide correction service) SmartLink fill (worldwide correction service)	Adaptive on-the-fly satellite selection Remote precise point positioning (3 cm 2D) <sup>1</sup> . Initial convergence to full accuracy typically 18 min, Re-convergence < 1 min Bridging of RTK outages up to 10 min (3 cm 2D) <sup>1</sup>
Leica SmartCheck	Continuous check of RTK solution	Reliability 99.99%
Signal tracking	GPS   GLONASS Galileo   BeiDou	L1, L2, L2C, L5   L1, L2, L2C, L3 E1, E5a, E5b, AltBOC, E6   B1I, B1C, B2I, B2a, B3I
	QZSS   NavIC	L1, L2C, L5, L6 <sup>2</sup>   L5 <sup>3</sup>
	SBAS   L-Band	WAAS, EGNOS, MSAS, GAGAN   TerraStar
RAIM	Receiver Autonomous Integrity Monitoring	Detection and elimination of faulty satellite signals
Number of channels		555 (more signals, fast acquisition, high sensitivity)
Tilt compensation	Increased measurement productivity and traceability	Calibration-free Immune to magnetic disturbances

## IMAGING

Measuring camera	Sensor   Field of view   Video frame rate	Global shutter with 1.2 MP   Hz 80°, V 60°   20 Hz
Image group capture	2 Hz capturing rate	Max. capturing time: 60 s, size of an image group appr. 50 MB
Point cloud	Leica Infinity software	Derive point clouds from image groups

## MEASUREMENT PERFORMANCE & ACCURACY<sup>1</sup>

Time for initialisation		Typically 4 s
Real-time kinematic (Compliant to ISO17123-8 standard)	Single baseline Network RTK	Hz 8 mm + 1 ppm   V 15 mm + 1 ppm Hz 8 mm + 0.5 ppm   V 15 mm + 0.5 ppm
Real-time kinematic tilt compensated	Not for static control points	Additional Hz uncertainty max 8 mm + 0.4 mm/° tilt down to 30° tilt
Post processing	Static (phase) with long observations Static and rapid static (phase)	Hz 3 mm + 0.1 ppm   V 3.5 mm + 0.4 ppm Hz 3 mm + 0.5 ppm   V 5 mm + 0.5 ppm
Code differential	DGNSS	Hz 25 cm   V 50 cm
Image point measurement	1-click measurement in field & office	Typically 2 cm – 4 cm (2D <sup>1</sup> ) within the distance of 2 m to 10 m to the object

## COMMUNICATIONS

Communication ports	Lemo   Bluetooth®   WLAN	USB and RS232 serial   Bluetooth® v4.0 (BLE & BR/EDR), class 1.5   802.11 b/g/n for field controller communication only
Communication protocols	RTK data protocols NMEA output Network RTK	Leica 4G, Leica, CMR, CMR+, RTCM 2.2, 2.3., 3.0, 3.1, 3.2 MSM NMEA 0183 v4.00 & v4.10 and Leica proprietary VRS, FKP, iMAX, MAC (RTCM SC 104)
Built-in 4G LTE modem <sup>4</sup>	LTE frequency bands UMTS frequency bands GSM frequency bands	20, 8, 3, 1, 7   13, 17, 5, 4, 2   19, 3, 1 8, 3, 1   5, 4, 2   6, 19, 1 900, 1800   850, 900, 1800, 1900 MHz
Built-in UHF modem <sup>5</sup>	Receive & transmit UHF radio modem	403 – 473 MHz, channel spacing 12.5 kHz, 20 kHz, 25 kHz, max. 1 W output power up to 28800 bps over air   902 – 928 MHz (licence free in North America), max 1 W output power

## GENERAL

Field controller and software	Leica Captivate software	Leica CS20 LTE or BASIC field controller, Leica CS30 & CS35 tablets
User interface	Buttons and LEDs Web server	On / Off and Function button, 8 status LEDs Full status information and configuration options
Data recording	Storage Data type and recording rate	Internal memory up to 4 GB, Removable SD card Leica GNSS raw data and RINEX data at up to 20 Hz
Power management	Internal power supply External power supply Operating time <sup>6</sup>	Exchangeable Li-Ion battery (2.8 Ah / 11.1 V) Nominal 12 V DC, range 10.5 – 26.4 V DC Typical time up to 8 h
Weight and dimensions	Weight   Dimensions	1.25 kg / 3.55 kg standard RTK rover setup on pole   173 mm x 173 mm x 109 mm
Environmental	Temperature Drop Proof against water, sand and dust Vibration Humidity Functional shock	-30 to +50°C operating with camera, -40 to +65°C operating without camera, -40 to +85°C storage Withstands topple over from a 2 m survey pole onto hard surfaces IP66   IP68 (IEC60529   MIL STD 810G CHG-1 510.6 I)   MIL STD 810G CHG-1 506.6 II, MIL STD 810G CHG-1 512.6 I)   Withstands strong vibration (ISO9022-36-08   MIL STD 810G 514.6 Cat.24) 95% (ISO9022-13-06   ISO9022-12-04   MIL STD 810G CHG-1 507.6 II) 40 g / 15 to 23 msec (MIL STD 810G 516.6 I)

1. Measurement precision, accuracy, reliability and time for initialisation are dependent upon various factors including number of satellites, observation time, atmospheric conditions, multipath etc. Figures quoted assume normal to favourable conditions. A full BeiDou and Galileo constellation will further increase measurement performance and accuracy.

2. QZSS L6 will be provided through future firmware upgrade.

3. Support of NavIC L5 is incorporated and will be provided through future firmware upgrade.

4. Depending on variant. In order Europe | NAFTA | Japan version

5. Available for the GS18 I UHF variants only.

6. Might vary with temperature, age of battery, transmit power of data link device or use of wireless communication devices.

Copyright Leica Geosystems AG, 9435 Heerbrugg, Switzerland. All rights reserved. Printed in Switzerland – 2021.  
Leica Geosystems AG is part of Hexagon AB. 900756en – 05.21

**Leica Geosystems AG**  
Heinrich-Wild-Strasse  
9435 Heerbrugg, Switzerland  
+41 71 727 31 31

- when it has to be **right**

**Leica**  
Geosystems

# Leica RTC360 Product Specifications

## GENERAL

3D laser scanner	High-speed 3D laser scanner with integrated HDR spherical imaging system and Visual Inertial System (VIS) for real time registration
------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## PERFORMANCE

Data acquisition	< 2 mins for complete full dome scan and spherical HDR image at 6mm @ 10 m resolution
Real time registration	Automatic point cloud alignment based on real time tracking of scanner movement between setups based on Visual Inertial System (VIS) by video-enhanced inertial measurement unit
Double scan	Automatic removal of moving objects
Check & Adjust	Field procedure for targetless checking of angular parameters

## SCANNING

Distance measurement	High-speed, high dynamic time of flight enhanced by Waveform Digitising (WFD) technology
Laser class	1 (in accordance with IEC 60825-1:2014), 1550 nm (invisible)
Field of view	360° (horizontal) / 300° (vertical)
Range	Min. 0.5 - up to 130 m
Speed	Up to 2,000,000 pts / sec
Resolution	3 user selectable settings (3/6/12 mm @ 10 m)
Accuracy*	Angular accuracy 18" Range accuracy 1.0 mm + 10 ppm 3D point accuracy 1.9 mm @ 10 m 2.9 mm @ 20 m 5.3 mm @ 40 m
Range noise**	0.4 mm @ 10 m, 0.5 mm @ 20 m

## IMAGING

Camera	36 MP 3-camera system captures 432 MPx raw data for calibrated 360° x 300° spherical image
Speed	1 minute for full spherical HDR image at any light condition
HDR	Automatic, 5 brackets

## NAVIGATION SENSORS

Visual Inertial System	Video enhanced inertial measuring system to track movement of the scanner position relative to the previous setup in real time
Tilt	IMU based, Accuracy: 18" (for upright and upside down setups with +/- 10° inclination)
Additional sensors	Altimeter, Compass, GNSS

## OPERATION

On scanner	Touch-screen control with finger touch, full colour WVGA graphic display 480 x 800 pixels
Mobile devices	Leica Cyclone FIELD 360 app for iOS and Android tablet computers and smartphones including: - Remote control of scan functions - 2D & 3D data viewing - Tagging - Automatic alignment of scans
Wireless	Integrated wireless LAN (802.11 b/g/n)
Data storage	Leica MS256, 256 GB exchangeable USB 3.0 flash drive

## DESIGN & PHYSICAL

Housing	Aluminium frame and sidecovers
Dimensions	120 mm x 240 mm x 230 mm / 4.7" x 9.4" x 9.1"
Weight	5.35 kg / 11.7 lbs, nominal (without batteries)
Mounting mechanism	Quick mounting on 5/8" stub on lightweight tripod / optional tribrach adapter / survey tribrach adapter available

## POWER

Internal battery	2 x Leica GEB364 internal, rechargeable Li-Ion batteries. Duration: Typically up to 4 hours Weight: 340 g per battery
External	Leica GEV282 AC adapter

## ENVIRONMENTAL

Operating temperature	-5° to +40°C
Storage temperature	-40° to +70°C
Operating low temperatures****	-10° to +40°C
Dust/Humidity***	Solid particle/liquid ingress protection IP54 (IEC 60529)



Leica Cyclone FIELD 360



Leica Cyclone REGISTER 360



Leica ScanStation P50



## Your Trusted Active Customer Care

Active Customer care is a true partnership between Leica Geosystems and its customers. Customer Care Packages (CCPs) ensure optimally maintained equipment and the most up-to-date software to deliver the best results for your business. The myWorld @ Leica Geosystems customer portal provides a wealth of information 24/7.

Illustrations, descriptions and technical specifications are not binding and may change. All rights reserved. Printed in Switzerland - Copyright Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland 2018. 872750en - 04.22

Leica Geosystems AG  
Heinrich-Wild-Strasse  
9435 Heerbrugg, Switzerland  
+41 71 727 31 31

All specifications are subject to change without notice.

All accuracy specifications are on a level of confidence of 68% according to the Guide of the Expression of Uncertainty in Measurement (JCGM100:2008) unless otherwise noted.

\* At 89% albedo.

\*\* For single shot measurements

\*\*\* For upright and upside down setups with a +/- 15° inclination

\*\*\*\* Extended low temperature operation is possible to -10°C if internal temperature is at or above -5°C when powered on. For extended low temperature measurement, it is recommended that QA procedures are followed.

Scanner: Laser class 1 in accordance with IEC60825:2014

iPhone and iPad are trademarks of Apple Inc.

Android is a trademark of Google.

- when it has to be **right**



# Bibliografi

- [1] Ø. Andersen. Orientering i stereoinstrument. *Institutt for kartfag, NLH (nå NMBU)*, 2003.
- [2] A. Bucchi, J. Luengo, R. Fuentes, M. Arellano-Villalón, and C. Lorenzo. Recommendations for improving photo quality in close range photogrammetry, exemplified in hand bones of chimpanzees and gorillas. *International Journal of Morphology*, 38(2), 2020.
- [3] V. Casella, M. Franzini, and A. Manzano. Gns and photogrammetry by the same tool: a first evaluation of the leica gs18i receiver. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 43:709–716, 2021.
- [4] D. M. Dalen, A. Einarsdottir, J. Furuholmen, H. Ringdal, V. Strøm, and H. Vennemo. *Samfunnsøkonomisk analyse av konsekvensene av graveskader på infrastrukturanlegg i grunnen*. Vista Analyse, 2020.
- [5] Dick, Øystein B. and Mæhlum, Lars. Fotogrammetri. <https://snl.no/fotogrammetri>, 2009. Accessed: 2022-02-055.
- [6] H. E.-D. Fawzy. The accuracy of mobile phone camera instead of high resolution camera in digital close range photogrammetry. *International Journal of Civil Engineering & Technology (IJCIET)*, 6(1):76–85, 2015.
- [7] S. Kartverk. Veileder for geography markup language (gml). [https://register.geonorge.no/data/documents/veiledere\\_GML-veileder\\_v1\\_veileder-for-geography-markup-language-gml-1-0-juli2015\\_.pdf](https://register.geonorge.no/data/documents/veiledere_GML-veileder_v1_veileder-for-geography-markup-language-gml-1-0-juli2015_.pdf), 2015.
- [8] Kommunal og distriktsdepartementet. Ledningsregistreringsforskriften. <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2020-12-18-2986>, 2021. Accessed: 2022-25-04.
- [9] M. B. Lilledahl and R. V. Målinger og usikkerhet. <https://home.phys.ntnu.no/brukdef/undervisning/fyslab/files/usikkerhet.pdf>, 2017.

- [10] T. Luhmann. Close range photogrammetry for industrial applications. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 65(6):558–569, 2010.
- [11] D. I. Lysaker and O. Vestøl. The norwegian vertical reference frame nn2000, 2020.
- [12] L. G. Paul Dainty. Course in leica gs18 i - introduction and how to use. Course taken: 2022-02-05.
- [13] Scan Survey. 3d-kum og 3d-rør. <https://www.scansurvey.no/tjenester/3d-kum-3d-ror/>, 2021. Accessed: 2022-25-04.
- [14] S. Schaufler, M. Fischell, G. Boffi, X. Luo, and Z. Török. An innovative image-based surveying approach for globally referenced remote point measurements. In *Proceedings FIG Congress*, 2020.
- [15] T. Schenk. Introduction to photogrammetry. *The Ohio State University, Columbus*, 106, 2005.
- [16] Standardiseringssekretariatet. Produktspesifikasjon: Stedfestingsdata i henhold til standard datert 01.01.2019 for påviste eller avdekkede ledninger. [http://sosi.geonorge.no/produktspesifikasjoner/Produktspesifikasjon\\_Kartverket\\_LedningsnettP%C3%A5vistEllerAvdekket\\_20190101.pdf](http://sosi.geonorge.no/produktspesifikasjoner/Produktspesifikasjon_Kartverket_LedningsnettP%C3%A5vistEllerAvdekket_20190101.pdf), 2019. Accessed: 2022-29-04.
- [17] Standardiseringssekretariatet. Stedfesting av ledninger og andre anlegg i grunnen, sjø og vassdrag. <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2020-12-18-2986>, 2019. Accessed: 2022-28-04.
- [18] Statens kartverk. Euref89 ntm beskrivelse. <https://www.kartverket.no/til-lands/posisjon/kartprosjeksjonar>. Accessed: 2022-02-05.
- [19] Store norske leksikon. Målefeil. <https://snl.no/målefeil>, 2017. Accessed: 2022-27-04.
- [20] F. Wenhao. Control work in close range photogrammetry. *Geo-Spatial Information Science*, 4(4):66–72, 2001.
- [21] H. M. Yilmaz, M. Yakar, S. A. Gulec, and O. N. Dulgerler. Importance of digital close-range photogrammetry in documentation of cultural heritage. *Journal of Cultural Heritage*, 8(4):428–433, 2007.





**Norges miljø- og biovitenskapelige universitet**  
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet  
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway