

# Bacheloroppgave

Georadar i

bygg og anleggsbransjen

Sandra Jensen og Marigonë Selimi

Høgskolen i Gjøvik



Dato: 15.05.2015



# BACHELOROPPGAVE

## GEORADAR I BYGG OG ANLEGGSTRANSJEN

av

**Sandra Jensen og Marigonë Selimi**

En bacheloroppgave i samarbeid med Skanska Norge AS og 3D-Radar AS

### **Bachelor i Geomatikk**

Avdeling for Teknologi, Økonomi og Ledelse, Høgskolen i Gjøvik

Publiseres 15. mai 2015

Student:	Sandra Jensen	120388
	Marigonë Selimi	130461
Prosjektperiode:	Januar 12, 2015 – Juni 5, 2015	
Veileder:	Førsteamanuensis R.S. Ødegård	Høgskolen i Gjøvik
Samarbeidspartnere:	Faglig veileder A. Avlesen,	Skanska Norge AS
	Faglig veileder J. Sala,	3D-Radar AS

Skrevet i L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X

Bacheloroppgavens nettside er tilgjengelig på

<http://hovedprosjekter.hig.no/v2015/to1/geo/georadar/>.





# FORORD

Denne bacheloroppgaven er utarbeidet ved avdeling for Teknologi, Økonomi og Ledelse, Høgskolen i Gjøvik (HIG), våren 2015. Oppgaven er en del av det avsluttende arbeidet i en bachelorgrad ved HIG, og legger karaktergrunnlaget i faget TØL3901, Bacheloroppgave i Geomatikk (20 studiepoeng). Oppgaven i sin helhet er resultatet av et samarbeid på tvers av studieretningene innenfor bachelorstudiet, henholdsvis GIS og landmåling.

Bransjen trenger effektive metoder for å sikre gode grunnlagsdata. Vi har i dag gode rutiner og målemetoder for å samle inn stedfestet informasjon på overflaten. Gjennom studietiden har vi fått mange gode innspill fra bransjen gjennom konferanser og presentasjoner. Da vi fikk høre om georadar, ble vi nysgjerrige på om metoden kunne brukes for å kartlegge objekter under bakken i bygg og anleggsbransjen, siden metoden fungerer godt i andre fagområder. Temaet er meget aktuelt for bransjen vi snart skal jobbe i, og gode grunnlagsdata vil føre til bedre planlegging og prosjektering og vil i sin helhet redusere risiko i bransjen.

Vi ønsker å takke alle som har bidratt med veiledning underveis i prosjektoppgaven. Takk til førsteamanuensis Rune Strand Ødegård som har gitt gode råd og støttet oss gjennom prosjektet. Oppgaven er utført i samarbeid med Skanska Norge AS og 3D-Radar AS. Her vil vi rette en stor takk til Trond Petter Eide (leder for Skanska Survey, Norge) og Egil Eide (daglig leder, 3D-Radar) som satte ressurser i sving for å få til et samarbeid mellom Skanska, 3D-Radar og oss. En spesielt stor takk til våre faglige veiledere Jacopo Sala (3D-Radar) og Anders Avlesen (Skanska) som har støttet oss gjennom prosessen og har vært store ressurspersoner for prosjektet.

*Sandra Jensen og Marigonë Selimi  
Gjøvik, Mai 2015*

Sandra Jensen      15/05-15  
Sandra Jensen      Dato

Marigonë Selimi      15/05-15  
Marigonë Selimi      Dato



# SAMMENDRAG

Oppgavens tittel: <b>Georadar i bygg- og anleggsbransjen</b>	Bacheloroppgave	15.05.2015
	Antall sider: <b>84</b>	Ord: <b>21000</b>
Navn: <b>Sandra Jensen og Marigonë Selimi</b>		
Veileder: <b>Rune Strand Ødegård</b>		
Oppdragsgiver: <b>Skanska Norge AS</b>		
Eksterne faglige kontakter: <b>Anders Avlesen og Jacopo Sala</b>		
Tilgjengelighet: <b>Åpen</b>		
<p><b>Sammendrag:</b> I mars 2015 foretok prosjektgruppen i samarbeid 3D-Radar AS en georadarundersøkelse på Høvik stasjon i Bærum kommune, på oppdrag av Skanska Norge AS. Georadar er en geofysisk metode som bruker elektromagnetiske bølger for å kartlegge undergrunnen. Bakgrunnen var et nybygget stasjonsanlegg, hvor alt i bakken var dokumentert og modellert. Her ville Skanska se om hvor mye av disse kjente elementene som georadaren kunne avdekke. Mest interessant var det å posisjonere rør, kabler og ulike lagdelinger i grunnen, spesielt grunnfjell. Hensikten med oppdraget var derfor å undersøke hvordan Skanska effektivt kan benytte georadar i sine prosjekter. Målingene ble gjort med moderne utstyr levert av 3D-Radar, og data som ble innsamlet ble analysert og tolket i programvaren 3DR Examiner utviklet av 3D-Radar. Georadarundersøkelsen viste at ett av områdene ble spesielt påvirket av leire. Det ble også funnet flere anomalier som indikerte rør, varmekabler, lagdelinger i grunnen. Mye av dette stemte overens med det kjente datasettet. For at Skanska skal ta i bruk georadar i større grad på deres prosjekter var det også viktig at utstyr og programvare er lett å bruke, og at det ligger til rette for dataflyt mellom ulike programmer.</p>		
<b>Stikkord:</b> Georadar, Geofysisk metode, GPR		

*Sandra Jensen og Marigonë Selimi  
Gjøvik, Mai 2015*





# ABSTRACT

Report title: <b>Georadar in the building and construction industry</b>	Bachelor Thesis	15.05.2015
	Pages: <b>84</b>	Words: <b>21000</b>
Name: <b>Sandra Jensen and Marigonë Selimi</b>		
Advisor: <b>Rune Strand Ødegård</b>		
Employer: <b>Skanska Norge AS</b>		
External contacts: <b>Anders Avlesen and Jacopo Sala</b>		
Availability: <b>Open</b>		
<p><b>Abstract:</b> In March of 2015, the project group in cooperation with 3D-Radar, did a survey with georadar on Høvik station in Bærum, on the request from Skanska Norway AS. Georadar is a geophysical method that uses electromagnetic waves for mapping the subsurface. The background for this task is a newly constructed train station, where all infrastructure in the ground was documented and modeled. Here, Skanska wanted to see how many of these known objects that the georadar would discover. Objects of special interest were cables, pipes and different geotechnical layers, especially bedrock. The aim of the survey was to investigate how Skanska efficiently could use georadar in their projects. The survey was done with modern equipment delivered by 3D-Radar, and the collected data was analyzed and interpreted in the program 3DR Examiner, also developed by 3D-Radar. The georadar-survey showed us that one area was heavily influenced by a layer of clay. There was also findings that indicated the presence of pipes, heating-cables and different layers in the subsurface. Many of our findings correspond with the as-built data. In relations to Skanskas implementation of georadar as a survey-method, it was important that equipment and software were easy to use, and that the data has a good flow between different programs.</p>		
<b>Key words:</b> Georadar, Geophysical method, GPR		

*Sandra Jensen og Marigonë Selimi  
Gjøvik, Mai 2015*



# INNHALDSFORTEGNELSE

<b>Forord</b>	<b>iii</b>
<b>Sammendrag</b>	<b>v</b>
<b>Abstract</b>	<b>vii</b>
<b>Innholdsfortegnelse</b>	<b>vii</b>
<b>Tabelliste</b>	<b>xiii</b>
<b>Figurliste</b>	<b>xv</b>
<b>Forkortelser og ordforklaringer</b>	<b>xvii</b>
<b>1 Innledning</b>	<b>1</b>
1.1 Bakgrunn . . . . .	1
1.2 Formål og problemstilling . . . . .	2
1.2.1 Formål. . . . .	2
1.2.2 Problemstilling . . . . .	2
1.3 Tidligere prosjekt . . . . .	2
1.4 Prosjektorganisering . . . . .	3
1.4.1 Kontaktinformasjon . . . . .	3
1.5 Områdebeskrivelse. . . . .	4
1.6 Omfang og begrensninger . . . . .	6
1.6.1 Omfang . . . . .	6
1.6.2 Begrensninger . . . . .	6
1.7 Oppgavens oppbygging . . . . .	7
<b>2 Metode</b>	<b>9</b>
2.1 Metoderetning . . . . .	9
2.2 Metodevalg . . . . .	9
2.2.1 Litteraturstudie . . . . .	10
2.2.2 Feltarbeid . . . . .	10
2.2.3 intervju . . . . .	10
2.2.4 Kobling av teori og empiri . . . . .	11
2.3 Prosjektets troverdighet . . . . .	11
<b>3 Teori</b>	<b>13</b>
3.1 Historie . . . . .	13
3.2 Grunnlagsdata . . . . .	14
3.3 Tradisjonelle metoder . . . . .	15
3.3.1 Grunnboringer . . . . .	15
3.3.2 Kabelpåvisning . . . . .	15

3.4	SOSI Ledningsnett . . . . .	15
3.5	Hva er georadar? . . . . .	16
3.5.1	Signalet . . . . .	17
3.5.2	Georadar utstyr . . . . .	18
3.5.3	Alternative geofysiske metoder . . . . .	18
3.6	Nøyaktighet med georadar. . . . .	19
3.7	Posisjonering . . . . .	19
3.7.1	GNSS . . . . .	19
3.7.2	Totalstasjon . . . . .	20
3.8	Bruksområder . . . . .	20
3.9	Fordeler med georadar. . . . .	21
3.10	Utfordringer med georadar . . . . .	21
3.11	Dataflyt . . . . .	22
3.12	Programvare . . . . .	22
3.12.1	3DR-Examiner 2.92. . . . .	22
3.12.2	GeoScope Control . . . . .	23
3.12.3	AutoCAD 2014 . . . . .	23
<b>4</b>	<b>Datainnsamling i felt</b>	<b>25</b>
4.1	Forberedende arbeid. . . . .	25
4.1.1	Befaring på Høvik. . . . .	26
4.1.2	Måleplan . . . . .	26
4.1.3	Utstyr . . . . .	27
4.2	Kalibrering . . . . .	27
4.3	Datafangst . . . . .	28
4.3.1	Område 1 . . . . .	28
4.3.2	Område 2 . . . . .	29
4.3.3	Område 3 . . . . .	29
4.4	Dataflyt i prosjektet . . . . .	30
<b>5</b>	<b>Tolkning</b>	<b>31</b>
5.1	Prosessering . . . . .	31
5.1.1	Innstillinger i 3DR-Examiner . . . . .	33
5.2	Tolkninger . . . . .	33
5.3	Undersøkelsesområde 1 - Parkeringsplass. . . . .	34
5.3.1	Tolkninger 0.0-0.5 meter . . . . .	34
5.3.2	Tolkninger 0.5-1.5 meter . . . . .	34
5.3.3	Tolkninger 1.5-2.5 meter . . . . .	36
5.3.4	Oppsummering av tolkninger . . . . .	36
5.4	Undersøkelsesområde 2 - Inngang . . . . .	37
5.4.1	Tolkninger 0.0-0.5 meter . . . . .	37
5.4.2	Tolkninger 0.5-1.5 meter . . . . .	38
5.4.3	Tolkninger 1.5-2.5 meter . . . . .	39
5.4.4	Oppsummering av tolkninger . . . . .	40
5.5	Undersøkelsesområde 3 - Perrong . . . . .	40
5.5.1	Tolkninger 0.0-0.5 meter . . . . .	40
5.5.2	Tolkninger 0.5-1.5 meter . . . . .	41
5.5.3	Tolkninger 1.5-2.5 meter . . . . .	42
5.5.4	Oppsummering av tolkninger . . . . .	42

---

5.6	Validering av data - Område 1 . . . . .	43
5.7	Validering av data - Område 2 . . . . .	44
5.8	Validering av data - Område 3 . . . . .	45
<b>6</b>	<b>Drøfting</b>	<b>47</b>
6.1	Grunnlagsdata . . . . .	47
6.2	Datainnsamling . . . . .	48
6.3	Resultat fra feltarbeidene . . . . .	48
6.4	Dataflyt . . . . .	49
6.5	Bruk av georadar . . . . .	49
	6.5.1 Prosjektering . . . . .	50
	6.5.2 Utføring . . . . .	50
	6.5.3 Ertetid . . . . .	50
<b>7</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>51</b>
7.1	Konklusjon . . . . .	51
7.2	Veien videre i Skanska . . . . .	52
	<b>Litteraturliste</b>	<b>53</b>
<b>A</b>	<b>Intervju med bransjen</b>	<b>55</b>
A.1	Intervju med Jernbaneverket den 09. april 2015 . . . . .	55
	A.1.1 Grunnlagsdata på Høvik . . . . .	55
A.2	Skanska . . . . .	56
A.3	Intervju med Sweco . . . . .	56
<b>B</b>	<b>Prosjektplan og Arbeidslogg</b>	<b>59</b>
B.1	Prosjektplan . . . . .	59
B.2	Arbeidslogg . . . . .	59
<b>C</b>	<b>Prosjektavtale</b>	<b>61</b>



# TABELLISTE

1.1	Informasjon om Entreprise HØV-01 Underbygning Høvik stasjon (Skanska, 2015) . . .	4
3.1	Typiske verdier for dielektrisitet og elektrisk ledningsevne i ulike materialer. Basert på signaler på 400 MHZ (Goodman and Piro, 2011). . . . .	17
4.1	Oppsummering - Datainnsamling i undersøkelsesområde 1 . . . . .	28
4.2	Oppsummering - Datainnsamling i undersøkelsesområde 2 . . . . .	29
4.3	Oppsummering - Datainnsamling i undersøkelsesområde 3 . . . . .	29
5.1	Instillinger gjort i 3DR-Examiner for område 1, 2 og 3. . . . .	33





# FIGURLISTE

1.1	Graf som viser økningen i bruk av geofysiske metoder i arkeologisk sammenheng. Oppdatert 6.03.2015 – Gjengitt med tillatelse fra Arne Anderson Stamnes og Lars Gustavsen. . . . .	1
1.2	Kart over Vestfjorddalen, Tinn kommune i Telemark. Undersøkelse-områdene og lokaliteter i kulturminne-databasen er markert i kartet. (Stamnes, 2011) . . . . .	2
1.3	Prosjektorganisering . . . . .	3
1.4	Gamle høvik stasjon i 1890. (Elden, 2015) Foto: Olaf Bjerknes/Jernbaneverket . . . . .	4
1.5	Nye høvik stasjon. Gjengitt med tillatelse fra Norconsult/Jernbaneverket . . . . .	5
1.6	Kartutsnitt fra Nasjonal Løsmassedatabase, Norges Geologiske Undersøkelse (NGU). . . . .	5
1.7	Rapportens oppbygging . . . . .	7
3.1	Illustrasjon som viser datainnsamling med georadar. Foto: 3D-Radar . . . . .	13
3.2	Figur som viser det elektromagnetiske spektret . . . . .	14
3.3	Figur som viser radar systemet. Figuren er basert på forklaring fra (Daniels, 2004) . . . . .	16
3.4	Hvordan georadaren er koblet med annet utstyr. figur: 3D-Radar . . . . .	18
3.5	Oppløsningen til radarmålinger, figur basert på forklaring fra Jacopo Sala. . . . .	19
3.6	Skjerm bilde av programmet GeoScope Control . . . . .	23
4.1	Områder av interesse på Høvik Stasjon . . . . .	25
4.2	Måleplan, delt inn i tre ulike områder . . . . .	26
4.3	Oppsett av utstyr i felt. Her er antennen med GPS-mottaker, koblet til bilbatteri, GeoScope og PC med GeoScope Control . . . . .	27
4.4	Sjekk av data underveis i målingene. Her ble det oppdaget store refleksjoner på 1-1,5 meters dybde. . . . .	28
4.5	Markering av linjer og enkeltpunkter hjelp av "annotations"-funksjonen i 3DR Examiner. . . . .	30
4.6	Sporing av lagdelinger i undergrunnen, ved hjelp av "Trace Interface"-funksjonen i 3DR Examiner. . . . .	30
4.7	Annotations importert i AutoCAD, Grønne linjer er kanten på georadar-stripene. . . . .	30
4.8	Noen av eksporteringsmulighetene i 3DR Examiner . . . . .	30
5.1	Eksempel på uprosesserte data i 3DR Examiner. Her er det mye støy som gjør at det er vanskelig å se faktiske objekter/anomalier. . . . .	31
5.2	Region Processing vindu i 3DR Examiner. Her har man mulighet til å endre på alle prosesseringsinnstillinger. . . . .	32
5.3	Oversikt over de tre undersøkelsesområdene i 3DR Examiner. . . . .	33
5.4	Oversikt over område 1, sett i plan . . . . .	34
5.5	3D-modell av bunnen på asfalten i område 1. Modellen er generert i Microsoft Excel. . . . .	34
5.6	Modell av toppen på leiren i område 1. Høyder er eksportert som numeriske data og presentert i Microsoft Excel. . . . .	35
5.7	Til venstre ser vi retningen på anomalien som rød, rett linje sett i plan. Til høyre ser vi tverrsnittet, som viser at hyperbola ligger under leire. . . . .	35

5.8	Ca 5 cm under laget med leire ser vi en ganske markert hyperbola. Til venstre ser vi retningen på anomalien som rød, rett linje vist i plan. . . . .	36
5.9	Til høyre ser vi retningen på anomalien som blå, buet linje i planet. Til venstre ser vi tverrsnitt av rørgaten. . . . .	36
5.10	Alle elementer som er funnet i område 1, markert i rødt og sett i plan. . . . .	36
5.11	Oversikt over område 2, sett i plan. . . . .	37
5.12	Her er en modell av bunnen på asfalten i område 2. Modellen er generert i Microsoft Excel . . . . .	37
5.13	Tre anomalier i samme høyde sett i tverrsnittet. Viser som buede linjer sett i plan. . .	37
5.14	Før og etter sporing av varmekabler i område 2, sett i plan. . . . .	38
5.15	Grøft for føring av strømkabler til varmekablene i område 2 markert med blå farge sett i plan. Til venstre ser vi tverrsnittet av grøften i funksjonen "Virtual Trench". . . . .	38
5.16	Lineær anomali fra område 2 vist i "Virtual Trench". . . . .	38
5.17	Tre sett med hyperbolas som krummer seg utover i hver sin retning i område 2. . . . .	39
5.18	En litt uklar lineær anomali i nord-østlig retning, midt i datasett 2. . . . .	39
5.19	Grunnfjell i område 2, modellert opp i Microsoft Excel . . . . .	39
5.20	Alle objekter som ble funnet i område 2, markert i rødt og vist i plan. . . . .	40
5.21	Oversikt over område 3, sett i plan. . . . .	40
5.22	Modell av bunnen på asfalten i område 3. Modellen er generert i Microsoft Excel . . .	40
5.23	Før og etter sporing av varmekabler i område 3. . . . .	41
5.24	Før og etter sporing av armeringsjern i område 3. . . . .	41
5.25	Rørgaten i "Virtual Trench", sammen med et utsnitt fra plan, som også viser kumløkk. . .	41
5.26	Kumløkk i område 3, vist som tverrsnitt og i plan. . . . .	42
5.27	Alle objekter som ble funnet i område 3, markert i rødt og vist i plan. . . . .	42
5.28	Utsnitt fra AutoCAD som viser alle as-built data. Undersøkelsesområdene er markert med gule firkanter. . . . .	43
5.29	Område 1 - Sammenligning mellom as-built data til venstre og våre funn til høyre. . .	43
5.30	Område 2 - Sammenligning mellom as-built data til venstre og våre funn til høyre. . .	44
5.31	Område 3 - Sammenligning mellom as-built data til venstre og våre funn til høyre. . .	45
A.1	Georadardata sammen med grunnboringer. Gjengitt med tillatelse fra Terje Glad, Sweco. . .	56
B.1	Flyttdiagram som viser tidsdisposisjonering for utførelse av prosjekt. . . . .	59

# FORKORTELSER OG ORDFORKLARINGER

Georadar	En geofysisk metode, som bruker radarbølger for å gi et bilde av undergrunnen.
GPR	Ground Penetrating Radar, eller også kalt 'georadar'.
BPR	Bakke-Penetrerende Radar, eller også kalt 'georadar'.
Geofysisk metode	Undersøkelsesteknikker som involverer elektriske metoder, elektromagnetisme og seismiske bølger for å kartlegge undergrunnen.
Ikke-ødeleggende metode	Av det engelske NDT (Non destructive testing). I denne sammenhengen er det en betegnelse på metoder som ikke krever inngrep i omgivelsene.
BA	Forkortelse for Bygg og Anlegg.
GPS	Geografisk Posisjonerings System, Amerikansk satellittnavigasjonssystem.
GLONASS	Forkortelse for Globalnaja Navigatsionnaja Sputnikovaja Sistema, eller på engelsk: GLObal NAVigation Satellite System. GLONASS er et Russisk satellittnavigasjonssystem.
GNSS	Globalt Navigasjons Satellitt System, Benytter både GPS og Glonass i posisjoneringen.
TPS	Total Posisjonerings System, også kalt Totalstasjon.
As-built	Tegninger, dokumentasjon eller data på hva som er gjort i et prosjekt.
VA	Forkortelse for vann og avløp
SOSI	Forkortelse for den Nasjonale standarden Samordnet Opplegg for Stedfestet Informasjon, utarbeidet av Kartverket.
3DR Examiner 2.92	Programvare som tolker målinger fra georadar
Hyperbola	Betegnelse på den avrundede buen som vises i målingene når radaren treffer objekter i bakken fra ulike vinkler, ovenfra.
Anomalier	Anomali betyr "avvik fra det forventede", men brukes i denne forbindelse om "funn" i dataene som indikerer en gjenstand eller et objekt.
Step frequency	Step frequency er et georadarsystem som gradvis øker frekvensen for å dekke et bredere spektrum.
Geoscope	En del av GPR-antennen som tar i mot radardata før dette sendes videre til PC med programvaren GeoScope Control.

Hertz	En måleenhet for frekvenser.
MHz	MHz er en måleenhet for frekvenser. M står for mega, og det er 1000 hertz i 1 MHz.
Mikrobølger	Elektromagnetiske bølger med bølgelengder i området ca. 0.1 til 30 cm, som svarer til frekvensene 300 MHz til 1 GHz.
Dielektrisitet	Dielektrisitet er en konstant som har betydning for de elektromagnetiske bølgenes hastighet gjennom et medium. Hovedsaklig vann som påvirker denne konstanten.
Elektrisk ledningsevne	Betyr hvor godt et medium leder strøm. Elektrisk ledningsevne øker med ioneinnhold.
Konduktivitet	Også kalt ledningsevne. Betyr hvor godt et medium leder strøm.
GeoScope Control	Programvare benyttet i felt som viser sanntidsdata fra georadarmålingene. Blant annet fart, tilkobling til GPS, instillinger, og tverrsnitt av data som samles inn.
Dataflyt	Beskrivelse av hvordan data og informasjon overføres mellom aktører eller programmer i en prosess.
AutoCAD	Kommersiell og kraftig programare for produksjon av 2D og 3D CAD-tegninger/modeller.
BIM	Bygningsinformasjonsmodellering.
DAK	Forkortelse for Data-Assistert Konstruksjon.
CAD	Forkortelse for Computer Aided Design.
2D	Betegnelse på data beskrevet i to dimensjoner. En posisjon i 2D beskrives med x,y-koordinater, hvor x er nord og y er øst.
3D	Posisjon x,y,z, hvor z ofte er høyde over et referansenivå som havet. Den tredje dimensjonen kan også være temperatur, dybde eller saltinnhold.
4D	Den fjerde dimensjonen brukes oftest om tid, hvor tid kan være tidspunkt som i dato og klokkeslett. Se: Temporal Dimensjon.
WMS	Forkortelse for Web Map Service. Er en standard overføring av kartdata fra en server på internett i form av et rasterbilde.
Cache-tjeneste	Cache-tjenester baseres på en database med pregenererte kartbilder eller tiles for ulike zoom-nivå.
Resolution	Kvalitet på målinger, her bruker vi betegnelsen "Oppløsning".
Oppløsning	Kvalitet på målinger med georadar. Oppløsningen svekkes naturlig ned i dybden. Ulik konduktivitet og dielektrisitet i materialer vil påvirke signalets styrke og rekkevidde.
Grunnlagsdata	Brukes ofte i bygg og anlegg om kartdata som grunnlag for prosjektering av et prosjekt. Grunnlagsdata kan ha høyst ulik kvalitet, avhengig av datakilden og/eller datainnsamlingsmetode(antagelser, muntlige beskrivelser, digitalisering av gamle kart, innmålinger uten dokumentert nøyaktighet).

---

SONAR	Sound Navigation and Ranging
RADAR	Radio Detection And Ranging
Topografi	Beskrivelse av terrengforhold
FKB	Forkortelse for Felles Kartdatabase, av Kartverket.
NADAG	Nasjonal database for grunnundersøkelser
Bandwidth	Norsk: Båndbredde. Oppløsningen på radarmålingene er bestemt av signalets bandwidth. Bandwidth beskrives som differansen mellom øvre og nedre grensefrekvens (MHz).



# 1

## INNLEDNING

### 1.1. BAKGRUNN

I Norge har vi flere titalls tusen kilometer med ledninger og kabler i grunnen som fører nødvendig strøm, telenett og vann og avløp (VA) ut til befolkningen. Feilgravinger på ledningsnettet har i mange år skapt store forsinkelser og ekstra kostnader på bygg- og anleggsprosjekter. Hovedskylden for dette har i stor grad berodd på mangel på informasjon om det som ligger nedgravd og lite fokus på innmåling av det som legges ned i grunnen.

Bransjen har et tydelig behov for å kunne avdekke hva som skjuler seg i bakken før det skjer alvorlige hendelser på grunn av uforsiktighet i gravearbeider. Det vil også være en stor fordel å ha gode grunnlagsdata i forkant av prosjekteringsarbeidet, som igjen kan gi et sterkere grunnlag for tilbud og prissetting av prosjekter. Mangelen på samordning av informasjon fører også til store problemer med planlegging av viktig infrastruktur og er til ekstra kostnad for samfunnet (Solberg *et al.*, 2011). En av de største hindringene som vi ser i dag er at det ikke finnes noen effektive metoder for påvisning av eksisterende objekter eller grunnforhold uten å gjøre større fysiske inngrep.

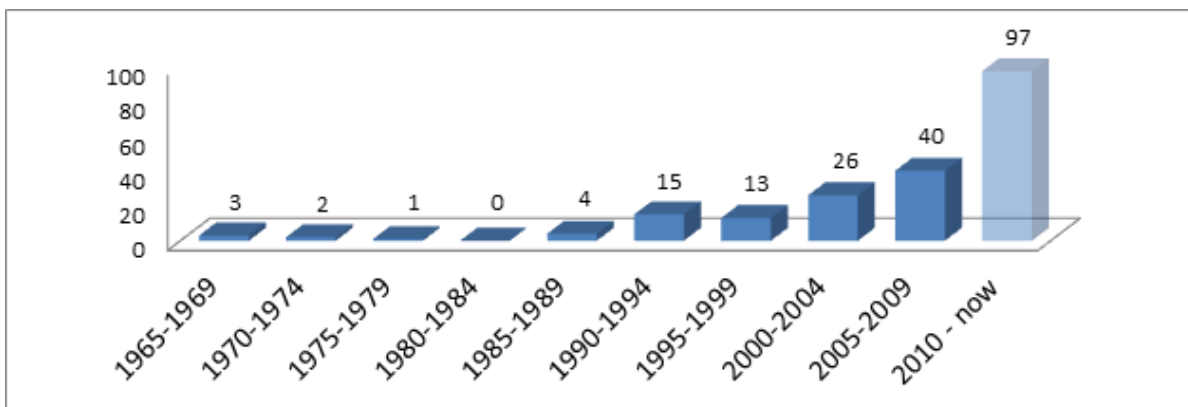


Figure 1.1: Graf som viser økningen i bruk av geofysiske metoder i arkeologisk sammenheng. Oppdatert 6.03.2015 – Gjengitt med tillatelse fra Arne Anderson Stamnes og Lars Gustavsen.

Denne oppgaven skrives på oppdrag fra Skanska Norge AS. Som en av de ledende entreprenører i Norge er Skanska opptatt av gode grunnlagsdata og modeller. I den sammenheng ble prosjektgruppen forespurt om å undersøke om georadar kunne brukes for å kartlegge eksisterende situasjon under bakken på et anleggsprosjekt. Et av hovedmålene fra Skanska's side var om teknologien bak georadar og tilhørende programvare var utviklet nok til at målinger med georadar kunne gjøres på en effektiv måte.

Ground Penetrating Radar (GPR) eller også kalt georadar er en geofysisk metode der man sender ut og mottar elektromagnetiske bølger for å lage en tredimensjonell modell av det som ligger under bakken (Daniels, 2000). Metoden er en såkalt ikke-ødeleggende metode som ikke krever graving eller større inngrep i de fysiske omgivelsene. Georadar har lenge vært ansett som en tradisjonell datainnsamlingsmetode innen fagområder som arkeologi og geoteknikk. Man kan også se at mange land har kommet langt i implementeringen av georadar som metode innen bygg og anleggsbransjen, særlig rettet mot veg- og tunellprosjekter.

I Norge er det derimot ikke så utbredt med bruk av georadar som metode innen bygg og anlegg. Som man kan se av figur 1.1 har bruken av geofysiske metoder innen arkeologiske undersøkelser i Norge økt siden de første forsøkene på midten av 60-tallet (Stamnes and Gustavsen, 2014). Det kan ha sammenheng i at utstyret er mer tilgjengelig og at det finnes flere programvarer som kan hjelpe oss med å analysere radarmålingene. Det kan også skyldes en økende interesse og etterspørsel etter effektive og nøyaktige metoder for kartlegging av undergrunnen.

## 1.2. FORMÅL OG PROBLEMSTILLING

### 1.2.1. FORMÅL

Formålet med prosjektet var å finne ut om radarmålinger kan benyttes for å lokalisere rør, kabler og konstruksjoner og ikke minst finne topografien til grunnfjell og andre lagdelinger i undergrunnen. Et annet viktig mål med prosjektet var å finne ut om georadaren og programvare er utviklet nok slik at Skanska effektivt kan bruke denne typen teknologi i deres prosjekter.

### 1.2.2. PROBLEMSTILLING

*"Hvordan kan Skanska effektivt bruke georadar i sine prosjekter?"*

## 1.3. TIDLIGERE PROSJEKT

Av tidligere arbeider som er relevant til denne bacheloroppgaven, kan den geofysiske rapporten skrevet i 2011 nevnes: "Georadarundersøkelse ved Mogreina Kraftstasjon, Rjukan, Tinn kommune i Telemark". Denne rapporten er skrevet av Arne Anderson Stamnes, for NTNU Vitenskapsmuseet. Prosjektet ble bestilt av Norsk Hydro gjennom Skanska, hvor Skanska valgte å ta inn 3D-Radar AS som samarbeidspartner. Rapporten har til hensikt å undersøke eventuelle arkeologiske strukturer innenfor undersøkelsesområdet med georadar, og dermed unngå disse ved fremtidig arbeidsvirksomhet på stedet (Stamnes and Avlesen, 2011). Området som skulle undersøkes var på 8336 kvm og er markert i rødt i figur 1.2.

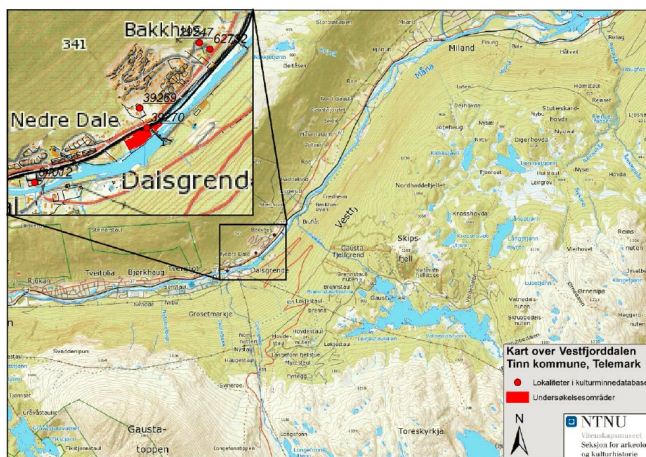


Figure 1.2: Kart over Vestfjorddalen, Tinn kommune i Telemark. Undersøkelse-områdene og lokaliteter i kulturminne-databasen er markert i kartet. (Stamnes, 2011)

En av grunnene til at området på Mogreina i Rjukan var av spesiell interesse var at det tidligere var gjort arkeologiske funn i nærheten av undersøkelsesområdet. Disse indikerte at det har vært bosetninger helt tilbake til vikingtiden. Ca 600 meter unna undersøkelsesområdet ligger Dal kirke fra 1775, og det er kjent at det tidligere har stått en stavkirke i samme område.

3D-Radar leverte utstyr og programvare i felt og sto for datainnsamlingen med georadar. De innsamlede dataene ble oversendt til NTNU Vitenskapsmuseet for analyse og arkeologisk vurdering.



Analysen fra Rjukan avdekket en rekke anomalier, men ingen av disse hadde form eller fremsto i mønster som gjorde at det klart kunne tolkes som arkeologiske funn. Skanska gjorde i ettertid en vurdering om at teknologien ikke var automatisert nok til å gi bruksverdi for deres prosjekter. (dir. kom. Eide, Vedlegg A, A.2) Det ble også konkludert med at denne typen undersøkelser absolutt har potensiale innen geomatikkbransjen.

#### 1.4. PROSJEKTORGANISERING

Prosjektets oppdragsgiver er Skanska Norge AS. Vår kontaktperson i Skanska er Anders Avlesen. Anders har tidligere jobbet i samarbeid med 3D-Radar på prosjektet i Rjukan i Telemark, og har med dette tidligere erfaring med georadar. Han jobber i stillingen som 3D-koordinator for Skanska Survey, ved Høvik Stasjon.

3D-Radar har vært involvert som tredjepart i prosjektet, og leverer utstyr og programvare, samt gitt kurs i hvordan man tolker radardata. 3D-Radar startet som en spin-off fra NTNU i Trondheim i 2001 (3D-Radar, 2015), og var originalt en del av masteravhandlingen til Egil Eide. Siden den gang har 3D-Radar blitt en ledende leverandør i Norge av utstyr og tjenester knyttet til georadar. Vår kontaktperson i 3D-Radar er Jacopo Sala. Han kom fra Italia til Norge i 2008 for å jobbe for 3D-Radar. Han har lang og bred erfaring med georadar og har blant annet skrevet vitenskapelige rapporter og samarbeidet med ulike store bedrifter og forskere innen det internasjonale fagmiljøet. Jacopo jobber som Field Application Engineer og System Developer på 3D-Radars kontorer i Oslo.



Figure 1.3: Prosjektorganisering

Vår veileder ved Høgskolen i Gjøvik er førsteamanuensis Rune Strand Ødegård. Han har tidligere vært med på å kartlegge isbreer med georadar og har med dette fagkompetanse innen området.

Prosjektgruppen besto av to studenter ved studiet bachelor i Geomatikk, Sandra Jensen og Marigonë Selimi. Vi har gått forskjellige retninger innen geomatikkstudiet, henholdsvis GIS og Landmåling. Ved å utføre et slikt tverrfaglig prosjekt, følte vi at vi fikk med en større bredde og faglig innsikt i prosjektet. Vi begynte på geomatikkstudiet på Gjøvik i 2012 og 2013, og oppgaven er en del av det avsluttende arbeidet ved Høgskolen i Gjøvik, våren 2015.

##### 1.4.1. KONTAKTINFORMASJON

Student:	Sandra Jensen	sandra.jensen@hig.no
	Marigonë Selimi	marigone.selimi@hig.no
Veileder:	Førsteamanuensis R.S. Ødegård	rune.oedegaard@hig.no
	Faglig veileder A. Avlesen,	anders.avlesen@skanska.no
	Faglig veileder J. Sala,	jacopo@3D-Radar.com

## 1.5. OMRÅDEBESKRIVELSE

Den praktiske utførelsen av vårt prosjekt ble lagt til Høvik stasjon. Høvik ligger i Bærum kommune like utenfor Oslo. Drammenbanen mellom vestbanen og Drammen åpnet i 1872 som den 11. banestrekningen i Norge. Knappe to år senere, den 1. mai 1874, åpnet togstasjonen i Høvik (Elden, 2015). Da drammenbanen åpnet ble dette den beste løsningen å komme seg inn til gamle Christiania. Alternativ var hest og vogn på veier av meget enkel standard (Elden, 2015).

De siste fem årene har Jernbaneverket jobbet med å øke kapasiteten på sporene i Oslo gjennom en modell som styrker togtilbudet for hele østlandet. De nye rutene innebærte blant annet at flere tog som snur på Skøyen eller Oslo S, i framtiden skal ha Lysaker eller Stabekk som endestasjon. Dette medfører behov for egne vendespor i kortest mulig avstand vest for Lysaker og Stabekk (Nordli, 2015). Etter å ha vurdert flere alternativer har Jernbaneverket funnet at Høvik stasjon er den beste plasseringen av et vendeanlegg, når det gjelder avstanden fra Lysaker og Stabekk (Nordli, 2015).

Stasjonen på Høvik hadde dårlig tilgjengelighet og var ikke i god nok stand til å benyttes som vendestasjon, slik den var i 2011. Reguleringsplanen for ombyggingen av Høvik stasjon ble vedtatt av Bærum kommunestyre i mars 2011 (Nordli, 2015). Ombyggingen innebærer at det skulle bygges to sideplattformer på 220 meter, reises opp en ny stasjonsbygning og utvide til 5 jernbanespor der de tre midterste kun skal brukes til vending, deling og hensetting av tog (Nordli, 2015).

20. mars 2013 undertegnet Jernbaneverket kontrakt med entreprenørfirmaet Skanska Norge AS (Nordli, 2015). Anleggsarbeidene startet for fullt i april 2013 (Nordli, 2015). Høvik Stasjon skulle gjenåpnes i desember 2014, men på grunn av forsinkelser i leveransen av signal- og sikringsanlegget ble åpningen utsatt til desember 2015.



Figure 1.4: Gamle høvik stasjon i 1890. (Elden, 2015) Foto: Olaf Bjercknes/Jernbaneverket

<b>Prosjektnavn</b>	Entreprise HØV-01 Underbygning Høvik stasjon
<b>Byggherre</b>	Jernbaneverket
<b>Entreprenør</b>	Skanska Norge AS
<b>Entrepriseform</b>	Totalentreprise
<b>Kontraktsum</b>	35,0 M EUR
<b>Prosjektperiode</b>	April 2013 - Desember 2014 (Utsatt til desember 2015)
<b>Adresse</b>	Høvik Stasjon, 1363 Bærum

Table 1.1: Informasjon om Entreprise HØV-01 Underbygning Høvik stasjon (Skanska, 2015)

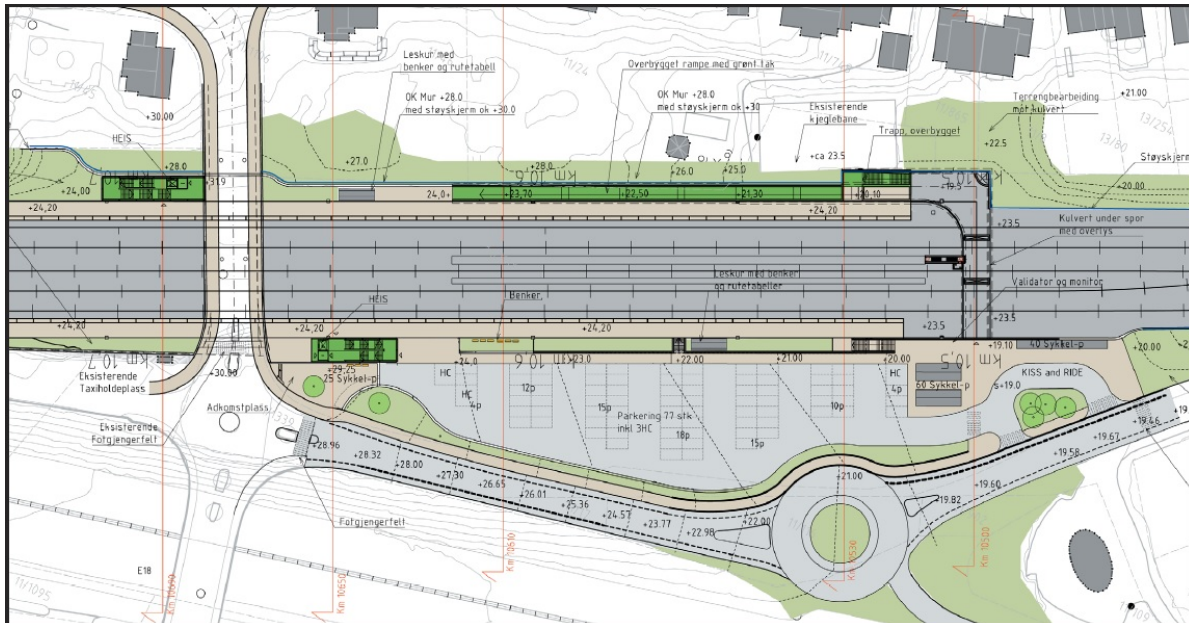


Figure 1.5: Nye høvik stasjon. Gjengitt med tillatelse fra Norconsult/Jernbaneverket

Nasjonal Løsmassedatabase fra Norges Geologiske Undersøkelse (NGU) viser at grunnforholdene i undersøkelsesområdene er fyllmasser. Det er også områder med tynn hav- og strandavsetning og forvitningsmateriale, som vist i figur 1.6 i nærområdene.

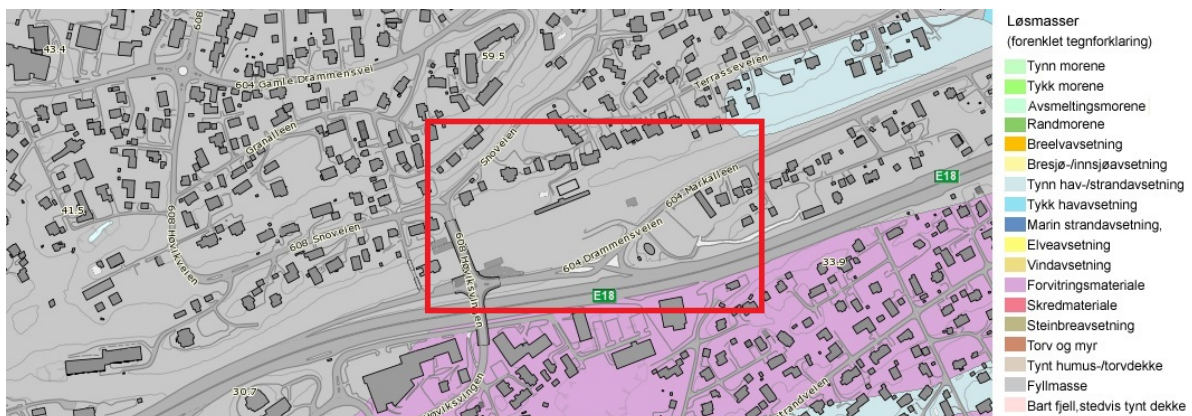


Figure 1.6: Kartutsnitt fra Nasjonal Løsmassedatabase, Norges Geologiske Undersøkelse (NGU).

## 1.6. OMFANG OG BEGRENSNINGER

### 1.6.1. OMFANG

Omfanget til oppgaven er definert av problemstillingen. Problemstillingen var som kjent hvordan Skanska effektivt kan bruke georadar i sine prosjekter. Vi ønsket å undersøke hva status er per i dag i bygg og anleggsbransjen og hvilke behov bransjen har for kartlegging under bakken. Det var også viktig for oss å undersøke hva som menes med effektiv datainnsamling. Her måtte vi kartlegge hvilke behov Skanska har og hvordan de ser for seg å bruke denne metoden på deres prosjekter, enten alene eller med tradisjonelle metoder. Et annet viktig punkt var å undersøke flyt mellom programmer og flaskehals ved import og eksport. Det er her viktig at ikke noe data eller informasjon går tapt mellom ulike programmer eller filformater. Det var også interessant å undersøke om radardataene kunne benyttes i eksisterende grunnlagsmodeller eller i bygningsinformasjonsmodeller (BIM).

#### OPPSUMMERING

- Status og behov i bygg og anleggsbransjen
- Bruksområder
- Datainnsamling
- Analyse
- Dataflyt
- Visualisering og modeller

#### OBJEKTER AV INTERESSE

- Lednings- og kabelnett
- Vann- og avløpsrør (VA)
- Topografi til grunnfjell og andre geotekniske lag (matjord, morene)
- Dybde på ulike lag i veidekket (asfalttykkelse, bærelag, grøfter)
- Stål- og betongkonstruksjoner

### 1.6.2. BEGRENSNINGER

Det var knyttet flere begrensninger til utførelsen av prosjektoppgaven.

- Oppdragsgiver  
Begrensningene som var knyttet til Skanska som oppdragsgiver var relatert til deres fagkunnskaper og erfaringer i bruk av georadar, og tilhørende utstyr og programvare. Dette er en av hovedgrunnene til at det ble valgt å ha med en tredjepart i prosjektoppgaven. 3D-Radar bisto med fagkunnskap, programvare og nødvendig utstyr for å utføre målinger med georadar.
- Lokasjon  
Oppgaven var begrenset til et område på Høvik stasjon. Begrensningen her var at vi ikke visste hvor objekter lå i undergrunnen eller hvor mange objekter vi kunne forvente å finne i undersøkelsesområdet.
- Utstyr  
Det var også begrensninger knyttet til utstyr er forhold som lisens på programvare, avtaler om lån av utstyr fra 3D-Radar.
- Egen kompetanse  
For utførelse av prosjektet lå det begrensninger til våre kunnskaper og kompetanse innen metoden. Her lå det også begrensninger for våre forutsetninger til å lære ny programvare og tilegne oss den erfaringen som trengs for å kunne tolke radardata.

- Vær  
Datainnsamlingsmetoden er veldig avhengig av ytre forhold som kan påvirke signalet fra radaren. Siden datainnsamlingen ble utført i vinterhalvåret var det knyttet mye usikkerhet til om vann i bakken og nedbør vil ødelegge kvalitet og oppløsning i datasettet.

## 1.7. OPPGAVENS OPPBYGGING

Vår rapport består av fire hoveddeler fordelt på sju kapitler, som vist i figur 1.7. Defineringen av oppgaven skjer i første del, "innledning" og "metode". Neste del inneholder det teoretiske grunnlaget for oppgaven. Videre tar vi for oss feltarbeidet og tolkninger av resultat. Teori og empiri danner det videre grunnlaget for den siste delen av oppgaven der vi drøfter resultater og presenterer vår konklusjon.

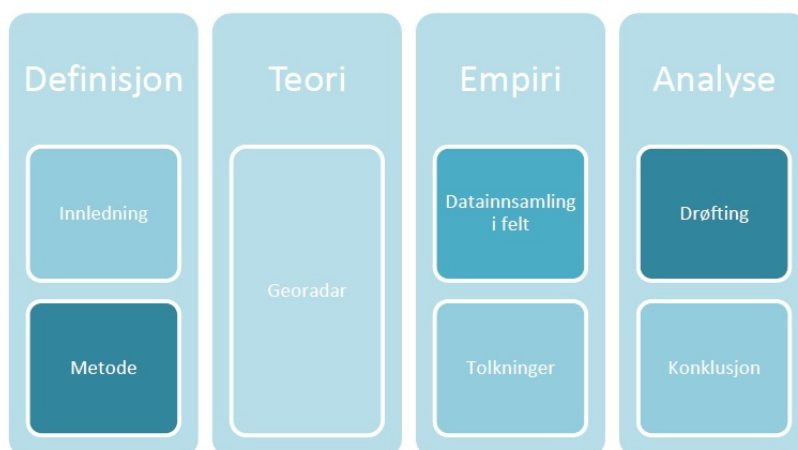


Figure 1.7: Rapportens oppbygging

Kapittel 1 gir en introduksjon til prosjektoppgaven, sammen med tidligere forsøk med georadar, og en definisjon av vår problemstilling. Kapittel 2 omhandler metoder som vi har benyttet i prosjektet. I kapittel 3 introduserer vi begrepet georadar og tar et dypdykk i historien til georadar fra dens begynnelse. Her går vi også dypere inn i teknologien bak georadar og forklarer de grunnleggende prinsippene som står bak. Kapittel 4 handler om det praktiske arbeidet ute i felt og danner grunnlaget for materialet vi skal tolke og analysere i kapittel 5. Diskusjonen eller drøftingen gjøres i kapittel 6. Til slutt skal vi i kapittel 7 gi en konklusjon og se på potensialet for bruk av georadar i Skanska og videre bruk i bygg og anleggsbransjen.



# 2

## METODE

*Å bruke en metode betyr å følge en bestemt vei mot et mål (Johannesen et al., 2011). Metoden er da redskapet vårt i møte med noe vi vil undersøke (Dalland, 2012).*

### 2.1. METODERETNING

Metoderetningene deles ofte inn i kvantitativ- og kvalitativ metode (Johannesen *et al.*, 2011). Kvantitativ metode baserer seg først og fremst på å hente inn data som er målbare eller sammenlignbare (Dalland, 2012). Man er her opptatt av å telle opp fenomener og kartlegge utbredelsen på et fenomen (Johannesen *et al.*, 2011). Den kvalitative metoden tar sikte på å fange opp meninger og erfaringer som ikke kan beskrives gjennom tall og statistikk (Dalland, 2012). Kvalitativ metode er spesielt hensiktsmessig hvis vi skal undersøke fenomener som vi ikke kjenner særlig godt, og som vi ønsker å ha en grundig forståelse av (Johannesen *et al.*, 2011).

Et av hovedmålene med oppgaven er å finne ut hvordan Skanska kan bruke georadar på en effektiv måte i sine prosjekter. Dette gjøres gjennom et teorigrunnlag bygd opp gjennom litteraturstudie og intervjuer med bransjen. Dette krever en kvalitativ orientering.

### 2.2. METODEVALG

Det er vanlig å starte med en problemstilling og vurdere hvordan det er mulig å gjennomføre undersøkelsen fra start til slutt (Johannesen *et al.*, 2011). Her finnes det flere ulike veier for å komme fram til et svar på problemstillingen.

Casedesignet egner seg best til å svare på hvordan og hvorfor i en problemstilling. En case-studie er et forskningsdesign der ett eller flere cases studeres inngående (Johannesen *et al.*, 2011). Det som kjennetegner en casestudie er at man henter inn mye informasjon fra få caser over en tidsperiode, gjennom en detaljert og omfattende datainnsamling. Casestudier kan med fordel gjennomføres med å kombinere flere ulike metoder for å skaffe seg mye og detaljerte data (Johannesen *et al.*, 2011).

Det falt naturlig å velge case-design for vår prosjektoppgave. Denne case-studien inneholder et litteraturstudie, der vi blant annet har studert tidligere prosjekt fra Rjukan, og annen tilgjengelig litteratur. Vi har også utført en undersøkelse i felt mot en undersøkelsesenheter, Høvik Stasjon. Underveis har vi foretatt intervjuer med ulike informanter i bransjen.

Det var et fortrinn i tidsaspektet med å bare ha én undersøkelsesenheter i case-studiet siden oppgaven er svært tidsbegrenset. Svakheten med å ha én enkelt undersøkelsesenheter er at man mister muligheten til å kontrollere resultatene opp mot flere enheter, altså undersøkelsesområder. Tolkingsarbeidet ville blitt noe krevende med flere enheter, men det ville hjulpet oss å se mønstre og større sammenhenger i tolkningen.

### 2.2.1. LITTERATURSTUDIE

En viktig del av oppgaven er det teoretiske grunnlaget. Det ble ansett som svært viktig å skaffe en oversikt over den kunnskapen som allerede finnes om temaet vi hadde valgt (Dalland, 2012). Teorigrunnlaget består i stor grad av empiri som er hentet inn i fagområdet på et tidligere tidspunkt. Den eksisterende teorien kan også hjelpe oss å forstå det vi har sett, forstå problemstillingen og hvordan vi skal gå fram for å finne svar (Dalland, 2012).

Litteraturstudiet skal også se på sentrale begreper (Dalland, 2012), og bygge opp det teoretiske rammeverket på de grunnsteinene som allerede er lagt i fagområdet. Dette hjelper oss også med å finne gode strategier og angrepsmetoder i det videre arbeidet.

Gruppen startet med å innhente teori i form av tilgjengelig faglitteratur om emnet. Vi har hentet inn kilder gjennom ulike medium:

- Tidligere arbeider fra Skanska
- Fagbøker
- BibSYS
- Academia
- Tidsskrift og artikler
- Google Scholar
- Nasjonalbiblioteket på nett

### 2.2.2. FELTARBEID

For å svare på problemstillingen vil det ikke være tilstrekkelig med en teoretisk tilnærming. Teoriene man har etablert i forkant av og gjennom litteraturstudiet blir satt på prøve under feltarbeidene.

Feltarbeidet som ble gjort var datainnsamling i form av radarata og logging av posisjon med GNSS. Feltarbeidene gjorde at vi fikk testet ut instrument og målemetode på et reelt prosjekt. Her fikk vi også erfaring og kunnskap med bruk av utstyr, som også vil vektlegges i diskusjonen om georadar var effektiv som metode. Et annet mål med feltarbeidene var å teste nøyaktigheten på metoden opp mot as-built data som fantes for området.

### 2.2.3. INTERVJU

Det har vært viktig for oss å danne et helhetlig bilde av behovet i bransjen og se problemstillingen vår fra flere vinkler enn bare entreprenørsiden. Vi har derfor foretatt intervjuer med flere fagfolk i bransjen, herunder byggherre og rådgivende selskap. Informanter ble valgt ut på bakgrunn av deres kunnskaper om et tema som vi ønsket å belyse. Ved å stille de riktige spørsmålene har dette hjulpet oss med å få en større forståelse for bakgrunnen til prosjektet. Et intervju er en samtale med struktur og formål (Johannesen *et al.*, 2011). Intervju er en form for innsamling av empiri, og kan gjøres på flere ulike måter. Vi går her gjennom de ulike formene for intervju som er benyttet i prosjektet.

#### FELTSAMTALE

Feltsamtaler er ikke-avtalte intervjuer (Aase and Fossåskaret, 2007), og er en uformell samtale med informanten i en setting som kan minne om en vanlig samtale.

#### GRUPPESAMTALE

Gruppesamtalen er en uformell samtale, som styres gjennom spørsmål som enten er planlagt på forhånd, eller som dukker opp underveis i samtalen. Her bør man utforme en intervjuguide (Johannesen *et al.*, 2011) på forhånd for å styre samtalen i ønsket retning. Gruppesamtaler passer når vi ønsker å avdekke en bredde av synspunkter, holdninger og erfaringer (Johannesen *et al.*, 2011) innen



et tema. Gruppesamtalen vi hadde med Jernbaneverket på Høvik kan defineres som et delvis strukturert intervju (Johannesen *et al.*, 2011) der man har utgangspunktet klart, men rekkefølge, tema og spørsmål ble tilpasset underveis.

#### INTERVJU

Et planlagt intervju er en mer formell og strukturert fremgangsmåte hvor informanten gjerne på forhånd vet tema og har hatt tid til å forberede seg. Også her bør intervjuer ha gjort klar de fleste spørsmål på forhånd ved å lage en intervjuguide. Intervjuet vi hadde med Sweco kan defineres som et delvis strukturert intervju (Johannesen *et al.*, 2011), der rekkefølge på spørsmål og tema tilpasses underveis.

#### 2.2.4. KOBLING AV TEORI OG EMPIRI

Her skal funn fra feltarbeidene tolkes, og teori skal sammenkobles mot empiri. I denne fasen av prosjektet får man underbygget sine teorier, eller muligheten til å modifisere, videreutvikle eller bygge nye teorier basert på det man har funnet. Koblingen av teori og empiri skjer i kapittel 6. "Drøfting".

### 2.3. PROSJEKTETS TROVERDIGHET

Gjennom å benytte flere metoder for innsamling av data i casestudiet økes prosjektets troverdighet og validitet. Målet med metodekapittelet er å øke prosjektets pålitelighet, gjennom å redegjøre for hvordan data samles inn.

- **Kildekritikk**  
Ikke alle kilder som anses som gode kilder. Det finnes mye faglitteratur om emnet georadar. Mye av litteraturen er eldre enn 10 år, og vil derfor anses som noe udatert. Vi har forsøkt å være selektiv i kildebruk i dette prosjektet, og benytte rapporter og publikasjoner av nyere tid, og som er skrevet av anerkjente fagfolk innen bransjen.
- **Tolkninger**  
Resultater fra analysen er gjort troverdig gjennom sammenligningen av våre tolkninger og de data som er levert fra prosjektet (as-built data). Dette er en effektiv måte for oss å validere/kvalitetssikre data, siden det ikke ville være mulig å få utført gravearbeider som kontroll av tolkninger.
- **Intervjuer**  
Referat fra intervjuer finnes som vedlegg til rapporten. Gjennomlesing fra informanter skal sikre at opplysninger blir gjengitt riktig.
- **Drøfting og konklusjon**  
Sammenkobling av teori og empiri. Objektivt og nøytralt standpunkt. Her har vi ingen vinning på å dra konklusjon i en spesiell retning. Baseres på diskusjonen i drøftingen. I konklusjonen har vi naturligvis strebet etter å være objektiv. Bringe et unikt perspektiv inn i fagområdet, og at funn ikke er et resultat av våre subjektive holdninger (Johannesen *et al.*, 2011).



# 3

## TEORI

### 3.1. HISTORIE

Georadar er kjent som en relativt ny geofysisk metode. Helt fra begynnelsen av 1900-tallet har det blitt undersøkt og gjort forsøk med å spre elektromagnetiske signaler og radiobølger på og langs jordskorpen (Annan, 2002). Tyskeren Christian Hülsmyer var den første som brukte denne typen signaler for å beskrive tilstedeværelsen av fjerne metallobjekter i 1904 (Mauring *et al.*, 1995).

I 1910 forsøkte Leimbach og Löwy å kartlegge områder med høyere ledningsevne med dipolantennener (Mauring *et al.*, 1995). I 1926 forsøkte Dr. Hülsenbeck en teknikk der han sendte pulser ned i bakken for å bestemme strukturen av nedgravde objekter (Daniels, 2004). Selv om forsøk på å bruke elektromagnetiske bølger til å penetrere bakken er nevnt i litteraturen, finnes det få rapporter som støtter opp at disse tidlige forsøkene var spesielt vellykkede (Annan, 2002), sammenlignet med dagens teknologi.

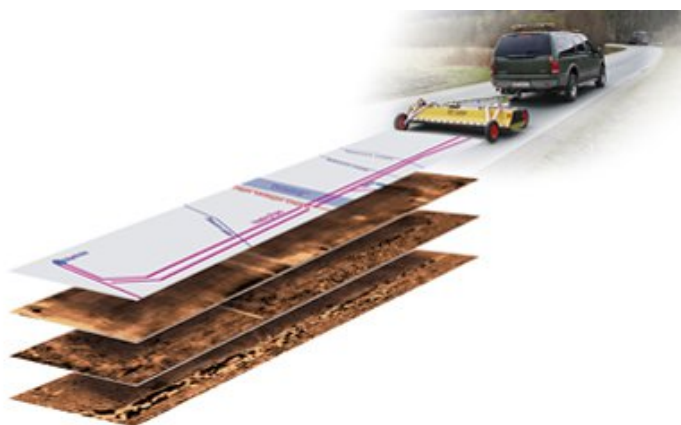


Figure 3.1: Illustrasjon som viser datainnsamling med georadar. Foto: 3D-Radar

De første vel-dokumenterte forsøkene på å måle undergrunnen med mikrobølger kom rundt 50-tallet. I 1946 ble det rapportert om feil med radarhøydemålinger i et amerikansk fly over antarktis (Mauring *et al.*, 1995). Undersøkelser rundt dette viste at refleksjonene kom fra grunnfjellet og fast jord, isteden for toppen av isbreen.

Said gjorde målinger med radiobølger i 1956. Her ble det gjort forsøk på å regne ut forskjellen på signaler sendt i luften og signaler som ble reflektert i vann, for å få et dybdeestimat på sjøbunnen (Annan, 2002). Teknologien utviklet seg gjennom de neste årene som et verktøy for å undersøke is, ferskvann, salt, kullforekomster, sand og bergartsformasjoner (Mauring *et al.*, 1995). Georadar

som metode ble viet stor oppmerksomhet i tiden rundt månelandingen på slutten av 60-tallet. Her ble radar foretrukket foran seismikk siden sender og mottaker ikke behøvde å være i kontakt med bakken (Mauring *et al.*, 1995).

Den første dokumenterte bruken av geofysiske metoder i Norge er en undersøkelse med magnetometer i Stødleterrassen i Hordaland i 1968 (Myhre, 1968). Dette eksperimentelle arbeidet ble utført av arkeolog Bjørn Myhre, og førte til oppdagelsen av to kokegroper fra jernalderen (Stamnes and Gustavsens, 2014). Geomap var en av de første selskapene i Norge til å ta i bruk det vi i dag kjenner som georadar i 1986 (Mauring *et al.*, 1995). Den ble benyttet til arkeologiske undersøkelser, kartlegging av is, vanndybder og myr, og undersøkelser av ledningstraseer (Mauring *et al.*, 1995). De tidligste georadarene samlet inn data på magnetbånd (Mauring *et al.*, 1995), hvor dataene ble digitalisert i ettertid. Siden den gang har Norges Forskningsråd, Norsk Geoteknisk Institutt (NGI) og Norges Geologiske Undersøkelse (NGU) hatt en stor rolle i utviklingen mot de systemer vi kjenner i dag.

Enkelt forklart minner georadaren om et ekkolodd. Ekkoloddet bruker derimot lydsignaler og måler tiden det tar før disse returnerer tilbake. Dette er en type SONAR (SOund Navigation And Ranging) teknologi. Ekkolodd er mye anvendt i båt for å finne dybde til sjøbunn og for å lokalisere fisk. Dagens ekkolodd som benyttes for kartlegging av sjøbunn benytter to frekvenser, og er noe mer avansert enn de systemene som man finner på fritidsbåter. Georadar er en type radar-teknologi. Forkortelsen RADAR kommer fra det engelske begrepet RAdio Detection And Ranging (Gustavsens *et al.*, 2013), og går ut på å beregne avstanden til et objekt ved hjelp av radiobølger. Georadar er en teknologi som benytter seg av radiobølger, som sendes ned i undergrunnen (Gustavsens *et al.*, 2013). Forskjeller i materialets egenskaper avtegnes i bildet og lar oss gjenkjenne lagdelinger og konstruksjoner.


	Gammastråling			Røntgenstråling	UV	Synlig lys	IR	Mikrobølger	Radiobølger		Lange radiobølger			
Bølgelengde:	$10^{-16}$	$10^{-14}$	$10^{-12}$	$10^{-10}$	$10^{-8}$		$10^{-6}$ $10^{-4}$	$10^{-2}$	FM	AM				
Frekvens:	$10^{24}$	$10^{22}$	$10^{20}$	$10^{18}$	$10^{16}$		$10^{14}$ $10^{12}$	$10^{10}$	$10^8$	$10^2$	$10^6$	$10^4$	$10^6$	$10^8$

Figure 3.2: Figur som viser det elektromagnetiske spektret

### 3.2. GRUNNLAGSDATA

Grunnlagsdata beskriver den fysiske situasjonen i et område i et avgrenset tidsrom (Vegdirektoratet, 2014). Man kan si at det er et samlebegrep på alle dokumenterte objekter på, under og over overflaten innenfor planområdet (Vegdirektoratet, 2014). Grunnlagsdata består av geodata av ulik type opprinnelse (Kristoffersen, 2013). Geodataene beskriver de fysiske forhold i området. Gode grunnlagsdata er nøkkelen til god kvalitet og godt fundament for planlegging, prosjektering og utførelse av prosjekt (Vegdirektoratet, 2014).

Som oftest er det byggherre som stiller krav til grunnlagsdata, hvordan disse samles inn og hvilken kvalitet disse data skal være av. Jernbaneverket og Statens vegvesen har for eksempel utarbeidet håndbøker som skal benyttes i arbeidet med å opprette og oppdatere grunnlagsmodeller. I henhold til begge håndbøkene er det byggherre som har overordnet ansvar for at grunnlagsdata med dokumentert kvalitet er tilgjengelig (Vegdirektoratet, 2014). Dette gjøres gjennom kontakt med kommune, televerket, strømnnett-eiere og kabel-tv operatører (Jernbaneverket, Vedlegg A, A.1). Geodata kan alternativt samles inn med ulike målemetoder som geotekniske undersøkelser, laserscanning, tradisjonell landmåling eller gjennom eksisterende kart fra for eksempel Felles Kartdatabase (FKB) eller banedata fra Jernbaneverket (Kristoffersen, 2013).

I grunnlagsdata legges det inn 3-dimensjonale data på eksisterende terreng, vann, grunnforhold, installasjoner i grunnen, administrative grenser, markslagsinformasjon og arealbruk, vegetasjon, bygninger, samferdsanlegg, miljøfaglige forhold, samt fastmerker og grunnlagsnett (Vegdirektoratet,

2014). Alle tekniske elementer som prosjektet kommer i inngrep til skal legges inn i grunnlagsmodellen (Kristoffersen, 2013).

Bruken av undergrunnen er i stadig vekst, og det er økt utnyttelse av arealer, rom og ressurser i under overflaten (Solberg *et al.*, 2011). Derfor er det viktig med gode grunnlagsdata også under bakken. Dette kan bidra til mer nøyaktige kalkyler for beregning av masser, masseberegning og prissetting av prosjekt (Sweco, vedlegg A, A.3). Det vil også bidra til at man slipper "overraskelser" i grunnen. Dårlige grunnlagsdata kan dermed gi uforutsette utgifter på bygg og anlegg, og føre til store forsinkelser i prosjektet.

### 3.3. TRADISJONELLE METODER

I forbindelse med grunnundersøkelser for et bygg- eller anleggsprosjekt, brukes det vanligvis en kombinasjon av ulike metoder for innsamling av grunnlagsdata under overflaten. Noen av de tradisjonelle grunnundersøkelsene er: Grunnboringer, kabelpåvisning, geotekniske undersøkelser og prøvegravinger.

#### 3.3.1. GRUNNBORINGER

Tradisjonelt gjøres det grunnboringer i forkant av prosjekter for å avdekke fjelltopografi og lagdelinger i undergrunnen. Dette gjøres av mange ulike private og statlige aktører. Tettheten på grunnboringer varierer veldig fra prosjekt til prosjekt. Ofte er det få punkter med lange avstander mellom hverandre (Avlesen, Vedlegg A, A.2).

Data fra grunnundersøkelser representerer faktadata av stor verdi, og kan redusere kostnader og forsinkelser (Solberg *et al.*, 2011) i et prosjekt. Påvisning av grunnfjell har også stor verdi i et prosjekt alt etter hvilken type kontrakt man jobber ut fra. Grunnboringer er i dag den sikreste metoden for påvisning av grunnfjell, men det er kostbart å utføre disse, og i noen tilfeller vil det være vanskelig å få utført i områder med kupert terreng.

Til tross for at det finnes store mengder med boredata i Norge, er disse relativt utilgjengelige og spredt hos ulike dataeiere og brukere (Solberg *et al.*, 2011). I den forbindelse ble det opprettet et testprosjekt for en samordnet database for grunnboringer. NADAG er en Nasjonal Database for grunnundersøkelser (Solberg *et al.*, 2011). Aktører som Norges Geografiske Undersøkelse (NGU), Statens Vegvesen, Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) og Jernbaneverket er med på dette prosjektet, og tjenesten er laget i samarbeid med Norkart (Solberg *et al.*, 2011). Målet med testprosjektet er å redusere dobbeltarbeid og redusere kostnader knyttet til grunnundersøkelser.

#### 3.3.2. KABELPÅVISNING

Kabelpåvisning er vanlig å få utført i forkant og underveis i prosjekter. I følge håndboken "Digital Planlegging i Jernbaneverket" skal dette bestilles av byggherre (Kristoffersen, 2013). Det finnes i dag mange ulike ledningseiere, både innen offentlig og privat sektor. Mye av ledningsnett er mangelfullt i den betydning at det ikke finnes innmålinger, eller at de innmålingene som er gjort ikke er gode nok i henhold til dagens krav til dokumentasjon.

Ofte har det vært vanskelig for kabeleiere å finne igjen kabelgater og ledninger. Man vet kanskje hvilken gate en kabel skal ligge i, men ikke nøyaktig posisjonering eller dybde. Kabeleiere har noen metoder for påvisning. Her kan man for eksempel peile etter ledninger med metalldetektor. I det siste 10-året har det blitt mer utbredt med fiberkabler, som ikke inneholder noen metaller. Her kan man prøve å tre inn metallvaiere i kabelkanalen og peile på vanlig måte.

### 3.4. SOSI LEDNINGSNETT

Samordnet Opplegg for Stadfestet Informasjon (SOSI) er en standard for stedfesting av geografisk informasjon, utarbeidet av Kartverket. SOSI Ledningsnett er et av flere fagområder i SOSI generell objektkatalog. SOSI Ledningsnett er en informasjonsmodell som definerer data og datastrukturen

for alle typer ledningsnettverk ned til et gitt detaljeringsnivå (Kartverket, 2006). Informasjonsmodellen gjelder for ledningsnett innenfor vann/avløp, telekommunikasjon, signalanlegg og elektrisitet (Kartverket, 2006). Hovedmålet med SOSI Ledningsnett var å utarbeide en nasjonal standard for innmåling og digitalisering av ledningsstruktur, og vil forenkle utveksling av denne typen informasjon mellom ulike aktører i et prosjekt (Kartverket, 2006). SOSI Ledningsnett inneholder informasjon for alle nettverkskomponenter, geografisk beliggenhet (med nord/øst/høyde), nettverkskomponentens dimensjoner, oppbygning av nettverket og sammenkobling, og faglige opplysninger om alle definerte ledningsobjekter.

I følge Inger Hokstad fra BA-Nettverket vil SOSI-standard for ledningsnett bli en modell som både VA-eiere, rådgivende ingeniører, entreprenører, oppmålingsfirma og software-leverandører må forholde seg til (Laberg, 2012). Det er mange eiere av infrastruktur i undergrunnen, og mange grunner til å ikke informere andre aktører om posisjonering (Laberg, 2012). Det kan være sikkerhets- eller konkurransehensyn. En annen grunn kan være at man ganske enkelt ikke har den nødvendige informasjonen om hva som er nedgravd (Laberg, 2012), eller har nødvendige ressurser for å få målt inn nettet før grøftene graves igjen. Det stilles også få krav fra myndighetsforhold om å levere fra seg informasjon om infrastruktur som legges ned i bakken.

### 3.5. HVA ER GEORADAR?

Georadar er en geofysisk metode benyttet for å undersøke undergrunnen, henholdsvis nedgravd infrastruktur og lagdelinger i veier, jernbane og broer (Daniels, 2000). Georadaren bruker som oftest 2 antenner, én sender og én mottaker. Ved å sende elektromagnetiske signaler ned i undergrunnen og måle hvor lang tid signalene bruker på å reflekteres tilbake til en mottakeren, kan man få et detaljert bilde av hva som ligger under bakken (Stamnes and Avlesen, 2011). Georadar er en tidsbasert metode som tradisjonelt har gitt oss tverrsnitt/profiler av undergrunnen. I de siste årene har antenne-arrayet latt oss gjøre innmålinger i svært høy tetthet, sammenlignet med tidligere år (dir.kom. Sala 29.04.15), og lar oss måle serier med parallelle profiler. Georadaren gir oss et nøyaktig dybde-estimat (Daniels, 2000), gjennom post-prosessering i programvare. Med hjelp av transformasjoner i programvare er det mulig å regne seg fra tid til avstand. Med dagens programvare er det også mulig å sette sammen tverrsnittene/profilene i postprosesseringen til en helhetlig 3D-modell slik at arbeidet med tolkninger blir enklere.

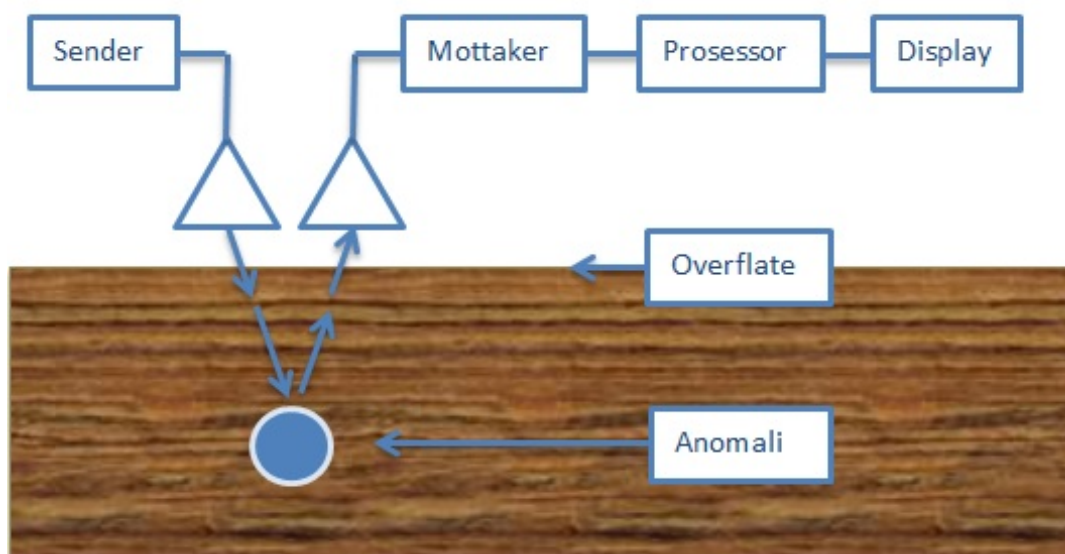


Figure 3.3: Figur som viser radar systemet. Figuren er basert på forklaring fra (Daniels, 2004)

### 3.5.1. SIGNALET

Georadaren sender ut elektromagnetisk energi i den korte enden av radiobølgeområdet, hovedsaklig mikrobølger i frekvensområdet 10 MHz til 3 GHz (Schnebele *et al.*, 2015). Frekvensområdet som benyttes avhenger av hva som skal undersøkes og hvilken type antenne som benyttes. Bølgelengden er på mellom 3000 cm-2 cm i vakuum, og forandres i kontakt med ulike materialer. Dette kan vi se i tabell 3.1 hvor det er listet opp egenskaper (hastighet, bølgelengde) for de vanligste materialene ved signalfrekvens på 400 MHz.

Materiale	Dielektrisk konstant	Ledningsevne	Fart(cm/ns)	Bølgelengde (cm)
Luft	1	0	30	75
Vann	81	0.01	3.33	8.33
Saltvann	81	4	2.54	6.36
Snø	1.4	0.0000001	25.35	63.39
Is (ferskvann)	4	0.001	15	37.5
Sand (tørr)	9	0.001	10	25
Granitt	5	0,000000001	13.42	33.54
Leire (våt)	12	0.1	8.52	21.29
Betong	7	0.0001	11.34	28.35
Asfalt	6	0.001	12.25	30.62
Jern	1	1000000	0.01	0.02
Tre (tørr)	3	0.003	17.32	26.52

Table 3.1: Typiske verdier for dielektrisitet og elektrisk ledningsevne i ulike materialer. Basert på signaler på 400 MHz (Goodman and Piro, 2011).

Høyere frekvenser gir bedre vertikal-oppløsning, men dårligere penetrasjon. Lave frekvenser gir bedre penetrasjon, men dårligere vertikal-oppløsning. (Mauring *et al.*, 1995). Forholdet mellom hastigheten til radarbølgen og egenskapene til materialene som undersøkes er det fundamentale fysiske prinsippet for bruk av georadar for å undersøke under overflaten (Daniels, 2000). For å si dette på en annen måte; hastigheten til signalet endrer seg gjennom ulike materialer som har ulike ledningsevne og dielektrisk konstant. Et signal som har gått gjennom to materialer med ulike egenskaper over samme avstand vil sendes tilbake til antennen på ulikt tidspunkt (Daniels, 2000).

Utbredelsen av signalet avhenger av bakkens høyfrekvente elektriske egenskaper, som i geologiske materialer i hovedsak er bestemt av dielektrisitetskonstanten (som øker med vanninnholdet) og elektrisk ledningsevne (som øker med ioneinnhold) (Mauring *et al.*, 1995). De elektriske egenskapene kontrollerer signalets utbredeshastighet, demping og refleksjon nedover i undergrunnen (Mauring *et al.*, 1995). Dybderekkevidden, altså signalets oppløsning avtar med økende elektrisk ledningsevne i bakken (Mauring *et al.*, 1995). Det vil si at om bakken har høyt vanninnhold, vil signalet avta raskere. Signalene dempes kraftig i godt ledende materiale som for eksempel leire og saltvann. Den vil på en måte absorbere signalet.

Alle materialer på jorden har ulike elektrisk ledningsevne og dielektrisk konstant (Stamnes and Avlesen, 2011). Forskjeller i den dielektriske konstanten er det som genererer refleksjoner i bildet,

og som vises som lysere eller mørkere områder i bildet. Disse avtegnes på ulik måte ut fra hvordan signalet treffer objektet. Georadaren identifiserer altså forandringer i undergrunnen, uten å gjengi størrelsen og formen på objekter helt korrekt (Schnebele *et al.*, 2015). Georadaren gir en indikasjon på hva man kan forvente seg å finne i undergrunnen (Daniels, 2000). Kjennskap til hvordan signalet reagerer gjennom ulike medium og erfaring med tolkning av radardata vil gjøre at man treffer bedre i arbeidet med å identifisere objekter. Nøyaktigheten på metoden er knyttet til ytre forhold og påvirkes av materialets egenskaper. Dette diskuteres videre i kap 3.6.

### 3.5.2. GEORADAR UTSTYR

Figur 3.4 viser standard tilkobling for dagens utstyr levert av 3D Radar. Antennearrayet består av 12 sender-antenner. Signalet som sendes ut av disse øker i 12 kanaler fra 30 MHz til 2988 MHz. På denne måten får man samlet inn striper med radardata med rektangulær form. Antennen som ble benyttet i dette prosjektet er 1,2 meter bred og hadde en scanbredde på 0.9 m. Stripene skal helst måles inn med overlapp på ca 10 cm, slik at stripene kan sys sammen i post-prosesseringen.

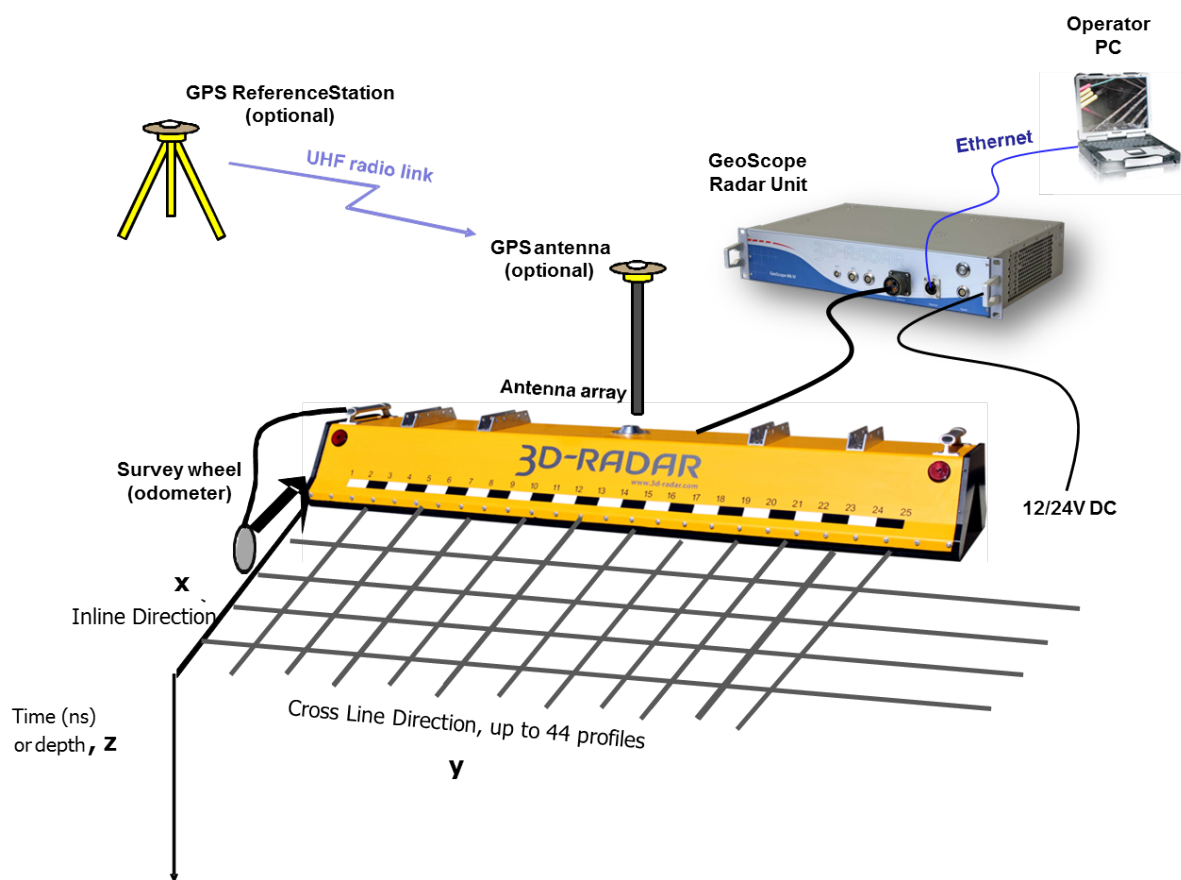


Figure 3.4: Hvordan georadaren er koblet med annet utstyr. figur: 3D-Radar

### 3.5.3. ALTERNATIVE GEOFYSISKE METODER

Alternative geofysiske metoder er elektriske motstandsmålinger (Earth Resistivity imaging, eller earth resistivity tomography), seismikk, gravimetri, elektromagnetisk induksjon og magnetometer. Alle disse metodene har sine fordeler og ulemper, enten det kommer til oppløsning, hvilke geofysiske parametere de detekterer, kontrast og dybdepenetrasjon (Dir. kom. Stamnes, 17.04.15). Mange av prinsippene for tolkning av seismiske data er overførbart til hvordan man tolker data fra Georadar.



### 3.6. NØYAKTIGHET MED GEORADAR

Kvaliteten på målingene avhenger av mange ulike faktorer. Kilder til usikkerhet kan være knyttet til dybden, og hastigheten til signalet gjennom ulike materialer. Som nevnt tidligere i kapittel 3.5 påvirkes signalet av elektrisk ledningsevne og dielektrisk konstant. Sterkere absorbering i materialene reduserer kvalitet og oppløsning. Det vil også nesten alltid være et naturlig tap av oppløsning med dybden (dir.kom Sala, 29.04.15) uavhengig av hvilke materialer signalet går gjennom. Dette er illustrert i figur 3.5. På grunn av at signalet mister styrke nedover i grunnen vil det være vanskeligere å skille to objekter fra hverandre jo lengre ned i grunnen man kommer. Dette er fordi vinkelen fra antennen ned til objektet er større jo nærmere objektet ligger i forhold til overflaten.

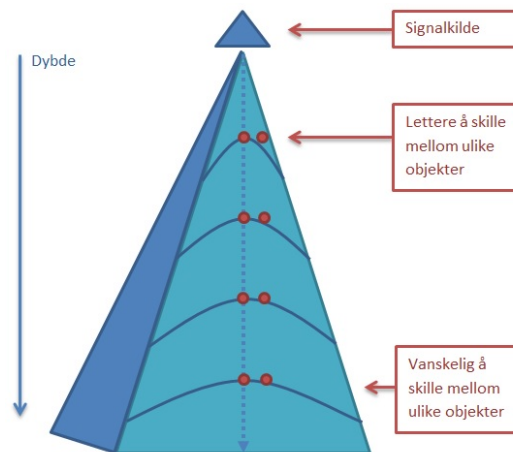


Figure 3.5: Oppløsningen til radarmålinger, figur basert på forklaring fra Jacopo Sala.

En annen faktor som påvirker kvaliteten til datasettet er såkalt "soil clatter", eller såkalt "støy" fra ulike jordlag. Dette kan være forstyrrelser forårsaket av uregelmessigheter som for eksempel steiner av ulik størrelse. Støy i målingene kan også komme fra mobilantennene i nærheten.

### 3.7. POSISJONERING

Tradisjonelt har man manuelt måttet beregne posisjonen til stripene med radardata. Med dagens utstyr kan man benytte GPS eller totalstasjon for å logge posisjonene. Dette letter arbeidet i post-prosesseringen.

#### 3.7.1. GNSS

GNSS (Global Navigasjons Satellitt System) er en fellesbetegnelse for måleutstyr som kan motta signaler fra ulike satellittbaserte systemer som kan anvendes til navigasjon og posisjonsbestemmelse. Det mest kjente satellittnavigasjonssystemet er det amerikanske NAVSTAR GPS (Navigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System). Et annet system er det russiske GLONASS (GLOBAL NAVIGATION SATellite System). GNSS benytter både fase- og kodemålinger. Kombinasjonen av disse gir god nøyaktighet, og er en av grunnene til at man kan oppnå langt bedre posisjonering med GNSS sammenlignet med enkle håndholdte enheter som bare bruker GPS-satellitter.

En annen viktig faktor for kvaliteten til GNSS er muligheten til å benytte basestasjoner som sender ut korreksjonsdata i RTCM-formatet. Korreksjonsdataene blir beregnet i basen, da basen har en meget godt bestemt posisjonering. I Norge er det vanlig å benytte basestasjonene til Kartverket, og en tjeneste som heter CPOS. Korreksjonsdataene blir da sendt til "rover" via radiokontakt eller GSM-tilkobling. Det er dette som gjør at GNSS-antennen, altså rover får en mer nøyaktig og presis posisjon. Forventet kvalitet med GNSS er 5 cm i grunnriss og 8 cm i høyde i 95 % av tiden (Kartverket, 2015). Med gode forhold kan man oppnå langt bedre kvalitet enn dette, og målinger med GNSS vurderes som mer enn godt nok for posisjonering av radardata.

Ulempen med GNSS er at man må ta hensyn til sikt opp mot satellitter. Målinger i urbane miljøer kan gi falsk fiks eller multipath, som vil si at man mottar refleksjoner av signalet fra for eksempel høye bygninger. Dette kan føre til unøyaktige målinger og dårlig posisjonering.

### 3.7.2. TOTALSTASJON

En totalstasjon er et måleinstrument som måler vinkler og avstander. Nøyaktigheten på målinger gjort med totalstasjon avhenger mye av hvor godt bestemt oppstillingspunktet er, samt hvilken kvalitet fastmerker eller hjelpepunkter holder. Som nevnt over kan man benytte totalstasjon for å posisjonere stripene fra georadaren. Dette gjøres med å montere prismet på toppen av georadarantennen og sette på tracking på totalstasjonen. Ulempen med å benytte totalstasjon for posisjonering av Georadar er at man må ha et godt grunnlagsnett, eller godt bestemte hjelpepunkter som man stiller opp ut fra. Avhengig av undersøkelsesområdets utbredelse kreves det mer arbeid med oppstilling, sammenlignet med målinger gjort med GNSS. Under målingene må man sørge for å ha fri sikt mellom kikkert og reflektor under målingene.

### 3.8. BRUKSOMRÅDER

Georadaren har mange bruksområder innen ulike fagområder. Noen av de viktigste er:

- **Arkeologiske undersøkelser**  
Georadar har vært effektivt brukt i arkeologiske undersøkelser. Den geofysiske rapporten fra Rjukan er et eksempel på dette. Her ble georadar benyttet i forkant av et anleggsprosjekt for å finne ut om det kunne være arkeologiske strukturer i bakken. Et annet eksempel er da SINTEF i 2013 gjorde søk med georadar i Bergen Domkirke etter sarkofagen til Magnus Lagabøte (Grimsæth, 2012). Etter tolkningene ble det antatt at sarkofagen er murt inn i veggen, og det ble diskutert om veggen skulle åpnes for å bekrefte funnene.
- **Geotekniske undersøkelser**  
Georadar har vært brukt for kartlegging av mange ulike typer geotekniske lag i grunnen. Her kan det blant annet nevnes kartlegging av isbreer og snømasser i arktiske områder. Georadar er også benyttet for kartlegging av leire, grunnfjell, vannspeil og andre ulike lag i grunnen.
- **Tilstandsvurdering**  
Tilstandsvurderinger av ulike typer er et annet viktig bruksområde for georadar. Georadar brukes for inspeksjon og vurdering av tilstanden på bygninger (Daniels, 2004), kvalitet på bygningsmaterialer og kontroll av innstøpte armeringsjern. SINTEF har også benyttet georadar for å undersøke fjelloverflaten bak tunnelhvelvet (Hoff, 2009), for å sjekke om fjellveggen hadde sklidd ut bak hvelvet.
- **Rør og kabelpåvisning**  
Georadar har vist seg effektiv for kartlegging av rør og kabler i grunnen (Daniels, 2004).
- **Beregning av masser**  
Georadar kan være med på å gi mer nøyaktige masseberegninger (Daniels, 2004), spesielt i kombinasjon med andre metoder. Sweco har utført et prosjekt der de supplerte grunnboringer og prøvegravinger med innmålinger fra georadar (Sweco, Vedlegg A, A.3).
- **Kontroll av målebrev og as-built dokumentasjon**  
Georadar kan brukes som kontroll for å sjekke om as-built data stemmer overens med den faktiske situasjonen på et prosjekt. Her kan man for eksempel sjekke at asfalt eller andre lag i grunnen er lagt med riktig tykkelse, eller sjekke konstruksjoner og borehull (Daniels, 2004). SINTEF har gjort målinger med georadar for å kontrollere ballast langs jernbane (Eide *et al.*, 2001).
- **Kriminologi**  
I Norge har det nylig vært gjort undersøkelser med georadar på betonggulvet under Vollan Gjestestue i Nordkjosboten, Troms fylke. Her ble det søkt etter Per Vålnes, som forsvant i 2011. Det ble mistenkt at levningene hans ble støpt inn i gulvet på gjestestuen, men tolkningene fra georadaren gav ingen indikasjon på noe unormalt (Mehren, 2015).

### 3.9. FORDELER MED GEORADAR

Noen av fordelene med georadar er:

- Ikke-ødeleggende metode  
En av de største fordelene med bruk av georadar er at det er en ikke-ødeleggende metode. Det vil si at man ikke trenger å grave eller gjøre fysiske inngrep i forkant av målingene.
- Miljøvennlig  
Metoden gir ikke ut stråling som er farlig for mennesker eller naturen rundt, og kan derfor betraktes som en miljøvennlig metode.
- Enkel og rask datainnsamling  
Innsamling av radardata med georadar er ikke spesielt tids- eller ressurskrevende. Man kan samle inn store mengder data på relativt kort tid, avhengig av antennens bredde og hastighet. En stor operasjonell fordel med å benytte georadar er at antennen ikke trenger å være i kontakt med bakken (Daniels, 2004).
- Nøyaktig posisjonering  
En annen stor fordel med georadar er at GNSS eller totalstasjon gir nøyaktig posisjonering av utstyret, som videre gjør at man kan få veldig god posisjonering på objekter og dybder i tolkningen. Kvaliteten på posisjonering av objekter med GNSS er avhengig av dekning i området. Georadardata kan også gi en indikasjon på størrelse og form på objekter (Daniels, 2000).
- Forstyrrer ikke trafikk eller tilgang til områder  
En viktig fordel med georadar er at man kan gjøre undersøkelsen uten å forstyrre trafikk eller tilgang til undersøkelsesområdet. Man slipper å stenge av strekninger eller opprette soner med lavere fart i trafikken. Utstyret kan opereres fra et kjøretøy i høy fart tilpasset til trafikken i området (Schnebele *et al.*, 2015).
- Uavhengig av materiale  
Georadaren kan finne både metalliske og ikke-metalliske objekter, som for eksempel PVC, keramikk, fiberoptiske kabler, stål og betong for å nevne noen.
- Tids- og kostnadseffektivt  
Undersøkelser med georadar i forkant av graving kan bidra til at man slipper "overraskelser" i grunnen, eller dyre utgravinger på feil sted. Metoden kan også fjerne usikkerhet knyttet til hvor det er "trygt" å grave. Dette gjør at metoden kan anses som tids- og kostnadseffektiv.
- Dataflyt  
Radardata kan gi indikasjon på hvor objekter ligger, størrelse og form. Disse dataene kan enkelt markeres og eksporteres til andre programmer. Dette gjør det mulig å legge inn data i eksisterende modeller, eller lage enkle visualiseringer i 3D.

### 3.10. UTFORDRINGER MED GEORADAR

Noen av ulempene med georadar er:

- Materialets egenskaper  
Radarsignalet påvirkes av elektrisk ledningsevne og dielektrisk konstant i undersøkelsesmaterialet. Områder med høy refleksivitet kan absorbere mye av signalet, og gjøre det vanskelig å finne objekter som man normalt ville funnet. Eksempel på dette vil være om man treffer på områder med leire.
- Usikkerhet i tolkning av data  
Analyse av georadardata krever at man har en viss kompetanse i programvare. Georadarens signal er komplekst og krever fagkompetanse for å analysere og tolke data korrekt (Schnebele

*et al.*, 2015). Erfaring og kunnskap om hvordan signalet oppfører seg i kontakt med ulike medium gjør at man treffer bedre i tolkningen (Dir.kom Sala 10.03.15), selv om det alltid er en viss usikkerhet i om tolkningen er riktig.

- Vær og klima  
Som nevnt påvirkes signalet av materialets dielektrisitet og elektrisk ledningsevne, ved endringer i vanninnhold, fuktighet og saltnivåe. Metodens oppløsning påvirkes derfor av vær og klima i undersøkelsesområdet (Dir.kom Sala 29.04.15). Vinteren med tele i bakken eller sommeren med relativt tørr grunn er ideelle forhold for en georadarundersøkelse.
- Fremkommelighet  
Det er ønskelig at undersøkelsesområdet er flatt og fremkommelig med en kjørbær enhet. Dette vil gjøre arbeidet med datainnsamling lettere. Utstyr kan være tungt og egner seg derfor mindre bra i utmark og områder med krevende topologi. Det finnes spesialtilpasset utstyr for ulike typer undersøkelser. Valg av utstyr gjøres gjennom god planlegging og kartlegging av behov i forkant av datainnsamling.
- Feilkilder med GNSS og totalstasjon  
Avhengig av hvilke metode som brukes for posisjonering, har både GPS og totalstasjon sine utfordringer. Svakheten med TPS er at man må ha tilgang på fastmerker og man må ofte ha flere oppstillinger for å dekke hele området som skal kartlegges. Bruk av GNSS krever at man må passe på områder som kan gi mulige feilkilder, som for eksempel multipath eller falsk fiks.
- Støy fra antenner  
Mobilantener og GSM signaler kan gi utslag som støy i datasettet. Dette er feilkilder man kan ta bort i post-prosesseringen.

### 3.11. DATAFLYT

Dataflyt er en viktig prosess for å effektivt ta i bruk data fra ulike kilder og aktører. Et mål med god dataflyt er at man skal kunne lese og utveksle data uavhengig av programvare, uten å miste informasjon eller kvalitet i prosessen.

3D Radar har gjort programvaren klar for import av radardata fra antenner utviklet av andre aktører. Programmet 3DR Examiner står fram som et godt eksempel på god struktur av rådata som igjen gjør arbeidet med post prosessering lettere. Filformatet som rådata fra 3D Radar AS leveres i er 3DRa. Dette er en type komprimert fil som inneholder navigasjonsdata, metadata, radardata, informasjon om antennen og konfigurasjoner. Filformatet for prosjekt i programmet 3DR Examiner er 3DP.

Georadar kan gi oss data i formater som vil være til nytte for de ulike ledd i byggeprosessen. Det som i dag er veldig aktuelt er kobling av radardata i eksisterende modeller, som for eksempel BIM eller grunnlagsmodeller. I denne sammenheng gir 3DR-Examiner mulighet til eksportering av data i dwg format som kan leses i flere ulike CAD-programmer.

### 3.12. PROGRAMVARE

#### 3.12.1. 3DR-EXAMINER 2.92

3DR-Examiner er et program utviklet av 3D Radar for å behandle, prosessere og analysere radardata. 3DR Examiner har en rekke fordeler:

- Behandler store mengder data  
Store prosjekter genererer mye radardata. Det er derfor viktig at programvaren har kapasitet til å behandle store datasett uten datareduksjon og at programmet responderer raskt.
- Prosessering  
3DR-Examiner tilbyr rask prosessering på store datasett og har utviklet gode funksjoner som

hjelper oss med sortering og analyse av data. Programmet tilbyr enkle verktøy for å merke objekter av interesse i datasettet med linjer, flater eller punkter. Man kan velge å gruppere objekter etter type, eller interpolere flater i områder der det mangler data.

- Kartbakgrunn  
3DR Examiner tilbyr oss muligheten til å legge til bakgrunnskart. Dette gjør det lettere å orientere seg i radardataene under prosessering og tolkning.
- Import/eksport  
3DR Examiner støtter forskjellige kjente formater for eksportering av data, blant annet som punktsky, tegninger til cad-program, og enkle visualiseringer i KMZ som leses i Google Earth.

### 3.12.2. GEOSCOPE CONTROL

GeoScope Control er et program utviklet av 3D-Radar som hjelper oss med å holde kontroll over målingene med georadar ute i felt. Her kan vi se på data direkte mens det samles inn, og man kan straks oppdage områder av interesse. Programmet lar oss også se på hastigheten til målingene, og man kan se om man har kobling opp mot GNSS. GeoScope Control lar oss også justere ulike parametre for datainnsamling.

### 3.12.3. AUTOCAD 2014

AutoCAD er et dataassistert konstruksjonsprogram (DAK), laget av selskapet Autodesk. Programmet brukes for å modellere konstruksjoner og tekniske tegninger i 2- eller 3D. AutoCAD har tradisjonelt vært brukt av arkitekter, ingeniører og designere innen flere ulike fagfelt. AutoCAD er et vanlig program i bygg og anleggsbransjen, og vanlig for utveksling av digitale stikningsdata eller tegninger. Vanlige filformat som kan leses av AutoCAD er DWG og DXF. AutoCAD ble benyttet i prosjektet for å verifisere tolkningene av radardata opp mot as built-data fra.

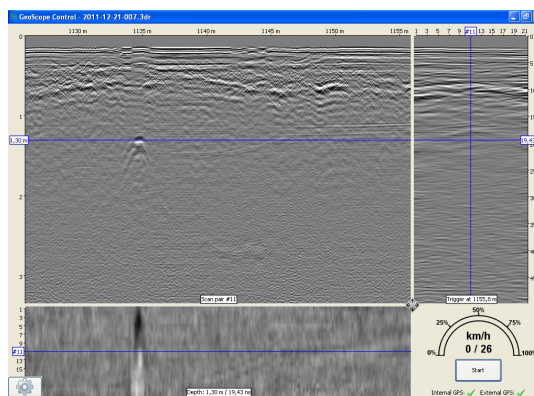


Figure 3.6: Skjerm bilde av programmet GeoScope Control



# 4

## DATAINNSAMLING I FELT

### 4.1. FORBEREDENDE ARBEID

Feltområdet var lokalisert på Høvik stasjon i Bærum kommune, som er en del av drammensbanen fra Oslo sentrum mot vest. Høvik stasjon ble valgt fordi det både var lett tilgjengelig, men også fordi vi ville ha as-built data som sammenligningsgrunnlag til tolkningen. Fordeler med Høvik stasjon er at området er flatt og oversiktelig. Siden prosjektet er tilnærmet ferdig men ikke åpnet for fri ferdsel slapp vi også å ta hensyn til trafikk og tog. For å sikre et effektivt feltarbeid og gode radardata

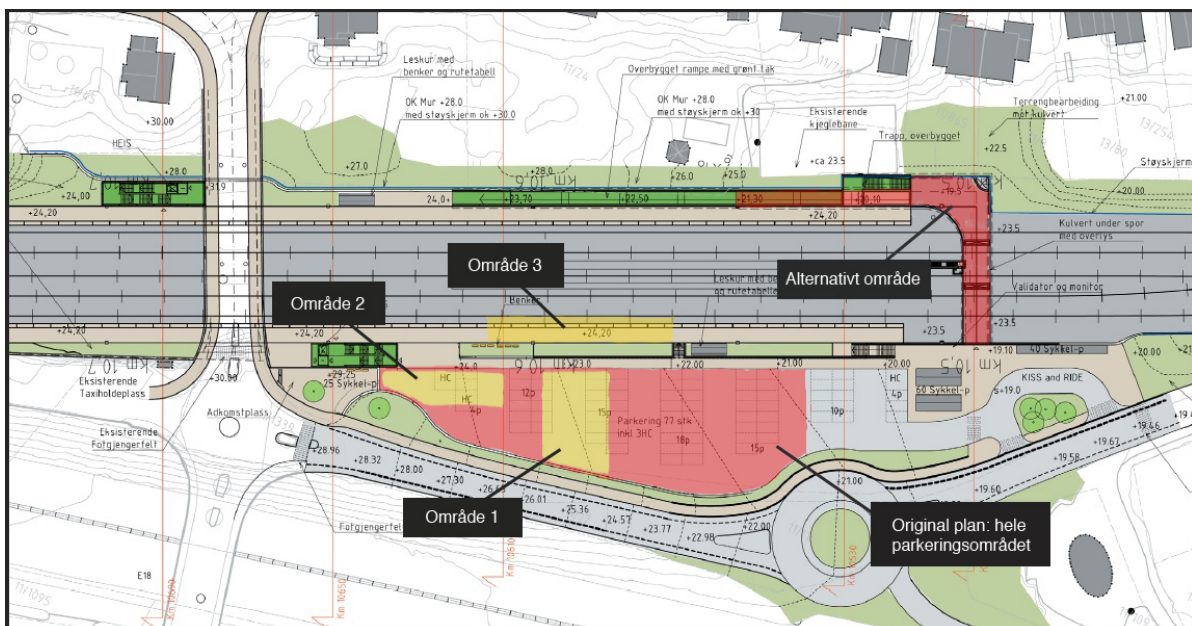


Figure 4.1: Områder av interesse på Høvik Stasjon

er det noen faktorer som er viktig å tenke på for å eliminere mulige feilkilder. Dette er feilkilder som er nevnt i kapittel 3, som omfatter dekning med GNSS og hvordan elektrisk ledningsevne og dielektrisitet påvirker signalet gjennom ulike materialer, og da spesielt i vinterhalvåret. Vi utførte datainnsamlingen i 3. mars. Klimaet i Oslo i vinterhalvåret tilsier at det ikke er noen garanti for om været ville holde seg stabilt og kaldt eller om det ville være regn og vått i bakken.

#### 4.1.1. BEFARING PÅ HØVIK

Vanlig prosedyre for å få lov til å jobbe langs jernbane eller på et av jernbaneverkets anleggsområder er å gjennomføre et sikkerhetskurs. Dette gjennomførte vi 16. februar på Oslo City.

Befaringen tok sted den 24. februar, på Høvik Stasjon. Prosjektgruppen, Jacopo Sala og Anders Avlesen var tilstede. Målet med befaringen var å planlegge hvordan vi skulle utføre målingene og hvilke områder som var mest aktuell for vår del med hensyn på tilgjengelighet og fremkommelighet. Dagen vi var på befaring var det regn og tykk is og snø på bakken og ikke ideelt vær for målinger.

Den originale planen før befaringen var å utføre målinger på hele parkeringsområdet (ca 400 kvm). Når vi kom til Høvik så vi at parkeringen er to-delt, hvor den nederste delen er brukt for parkering av anleggsutstyr og biler, og den øverste delen er stengt av og bare åpen for gjennomkjøring av utstyr. Den beste løsningen for å ikke forstyrre store deler av anlegget under målingene ble derfor å avgrense området til den øverste delen av parkeringen, med mulighet for å gjøre noen innmålinger på perrongen. Vi kunne også se at det ville bli problematisk å få tilgang til nok satellitter i noen av områdene nærmest jernbanebygningen, og den høye støttemuren i sørlig ende.

På grunn av usikkerheten i om hvordan været kom til å være på dagen vi skulle utføre målinger ble det undersøkt alternative løsninger for måleplan. Under jernbanelinjen går det en fotgjenger-tunell som er upåvirket av værforhold. Her ville det derimot ikke være mulig å benytte GNSS, og posisjoneringen av data måtte isåfall gjøres manuelt i etterprosesseringen.

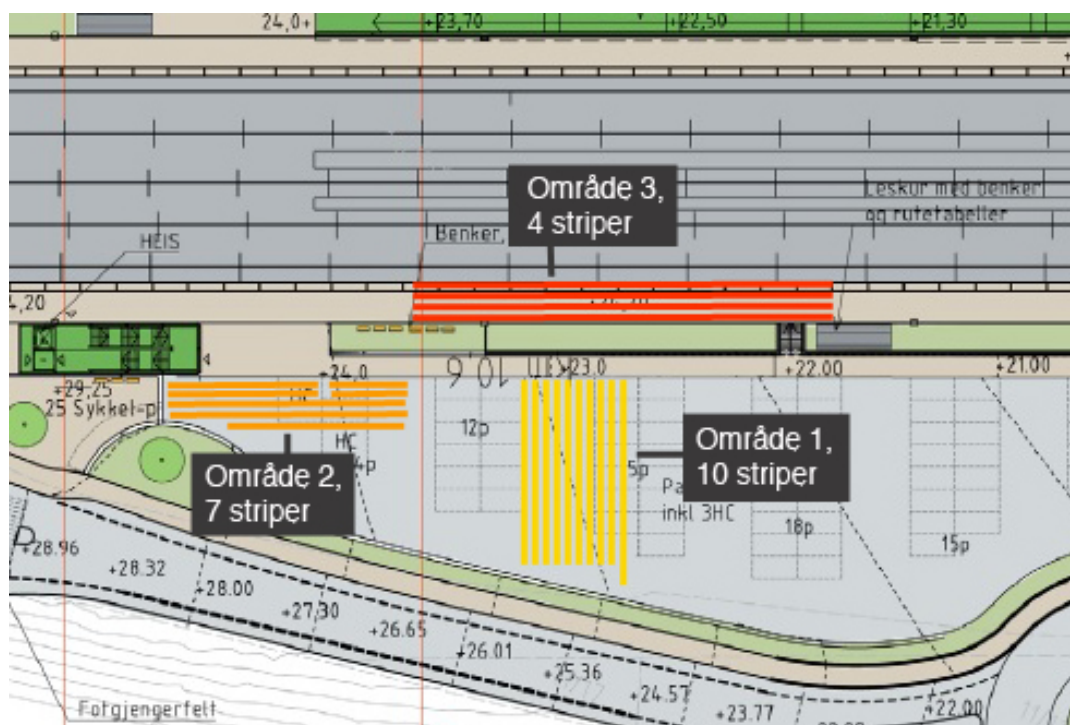


Figure 4.2: Måleplan, delt inn i tre ulike områder

#### 4.1.2. MÅLEPLAN

For å få et godt resultat fra georadaren er det viktig med god planlegging i forkant. Det må tas hensyn til dekning for satellitter med GNSS, posisjonering av striper, overlapp mellom striper, og unngå faktorer som kan forstyrre signalet under målingene. I den originale måleplanen dekket vi hele det øverste området på parkeringsplassen. Her ville det bli ca 20-30 striper med georadaren.

Det ble gjort en vurdering i felt om å gå vekk fra original måleplan og dele inn i 3 mindre undersøkelsesområder, som vist i figur 4.2. Det viste seg hensiktsmessig i forhold til tidsdisponeringen. På grunn av støttemuren var det usikkert om vi ville ha tilgang til nok satellitter for å få god kvalitet



på målingene. For å omgå denne mulige feilkilden så mye som mulig ble det tenkt at om vi startet på stripene i et område med bra dekning, så ville vi kunne unngå mye av problematikken ved at signalet «følger» oss et lite stykke inn mot støttemuren. Siden alle stripene går i en helt rett linje og i relativt flatt terreng, ville det også være lett å oppdage eventuelle feil med posisjonen i post-prosessering.

#### 4.1.3. UTSTYR

Til målingene ble følgende utstyr benyttet:

- Antenne DXG1212  
Bredde: 1.2 m, Scanbredde: 0.9 m, Kanaler: 12
- Geoscope MKIV, Step frequency
- Leica GNSS mottaker MNA1200
- PC med Geoscope Control
- Bilbatterier (12 V x 2)
- Målebånd

## 4.2. KALIBRERING

Kalibrering av utstyret gjøres for å sjekke om avstandsmåleren (odometeret) er korrekt. Selv om kalibrering ble gjort ville tilkoblingen til GPS gitt oss korrekt posisjonering, med koordinater i nord, øst og høyde.

På antennen til georadaren er det påmontert et hjul som hjelper oss å måle avstand og samtidig har den funksjonen at den forteller georadaren at den skal sende ut nye signaler når det nevnte hjulet spinner. Dette kalles et odometer. Det vil si at hvis hjulet ikke går rundt, vil georadaren ikke sende og motta signaler, og ikke måle lengden på stripene.

Den enkleste metoden for å kalibrere antennen er å markere et startpunkt, gå ca 20 meter og markere sluttunkt. Kalibreringsprogrammet har da målt avstanden automatisk og vi kan måle avstanden manuelt med målebånd for sammenligning. Vi plottet da inn målt avstand inn i programmet og antennen gjør justeringen hvis det er differanse mellom målt og beregnet avstand. Resultatet ble avvik på 2% på en avstand på 20 meter, noe som tilsvarer avvik på 0,5 cm på 20 meter. Det var i følge veileder Jacopo Sala absolutt godkjent for innsamling av radardata.



Figure 4.3: Oppsett av utstyr i felt. Her er antennen med GPS-mottaker, koblet til bilbatteri, GeoScope og PC med GeoScope Control

### 4.3. DATAFANGST

Etter godkjent kalibrering startet vi med datainnamling. Vi benyttet en Leica GPS mottaker koblet opp mot CPOS via tilkobling med GSM. Målingene ble gjort i koordinatsystemet EUREF89, med høydemodell NN2000. Frekvensområdet som ble dekket i denne undersøkelsen var 60 MHz til 2988 MHz.

#### 4.3.1. OMRÅDE 1

Radardata ble samlet inn stripevis i hvert sitt respektive område, som vist i figur 4.2. Den aller første stripen ble målt inn feil. Det er mulig å definere retningen man skal samle inn data i. Vanligvis trekkes antennen etter en bil, men siden vi dyttet antennen foran oss måtte vi definere i programmet at data skulle måles inn i motsatt retning.

Feilen ble fort oppdaget og rettet opp, og stripe nummer 2 ble samlet inn der stripe 1 skulle gått. Helt i sørenden av parkeringen inne ved støttemuren var det et område uten asfalt som vi kartla i stripe nummer 2. På grunn av den høye kanten, og vanskeligheter med å bevege antennen og utstyr over denne ble det i stripe 3-11 besluttet å stoppe før kanten ned til området med grusdekke. Det ble samlet inn totalt 10 striper i det første området, eksklusiv den første stripen som ble feil. Etter en kort påvisning/gennomgang av data i programvaren fant vi ut at det var et klart lag ca 1-1,5 meter ned i bakken i det første området som reflekterte mye av signalet. Siden laget var så klart definert var det lett å anta at det var leire vi så i målingene. Refleksjonen var så kraftig at det ville være vanskelig å se noe av interesse under refleksjonen.



Figure 4.4: Sjekk av data underveis i målingene. Her ble det oppdaget store refleksjoner på 1-1,5 meters dybde.

<b>Område 1</b>	Parkeringsplass
Områdestørrelse	ca 171.00 kvm
Overflate	Asfalt, grus
Antall striper	10 (+1 feil)
Oppsummering	Det første området hvor vi startet med datainnsamling var parkeringsplassen. Det ble målt inn totalt 10 striper, eksklusiv 1 feil. Området var ca. 9m X 19m. Overflaten i området besto av nylagt asfalt, og et lite område med grusdekke i sør-enden. Nær parkeringen var det en høy støttemur. I dette området ble den første stripen målt inn i feil retning, men dette ble oppdaget og korrigert raskt. Her la vi også merke til at odometeret ikke gikk rundt ved to tilfeller. Det ble også oppdaget store refleksjoner i området ganske tidlig i datainnsamlingen, ca 0.7 til 1.1 meter ned i datasettet.

Table 4.1: Oppsummering - Datainnsamling i undersøkelsesområde 1

#### 4.3.2. OMRÅDE 2

Undersøkellesområde 2 ble lagt til inngangsområdet ved det nye stasjonsbygget. Her ble det målt inn 5 striper, hvor to av stripene ble delt i 2 over det området med kantstein og rester av is/snø. Hovedårsaken til at vi avbrøt målingen over opphøyningen var at det var vanskelig å dytte antennen over. I dette området måtte vi også stole på at GNSS-tilkoblingen ville holde seg inn mot det høye stasjonsbygget.

<b>Område 2</b>	Inngang
Områdestørrelse	ca 117.00 kvm
Overflate	Asfalt, opphøyning med kantstein, is
Antall striper	7
Oppsummering	Det andre området var inngang, hvor vi samlet inn antall 7 striper. Området var ca.4,5m X 26m med asfalt som overflate og ingen kumlokk. Her opplevde vi usikkerhet om vi hadde GPS signal siden mye av området ble i skygge av høy murveg og en stasjonsbygg. Et annen problem var is over en forhøyning.

Table 4.2: Oppsummering - Datainnnsamling i undersøkelsesområde 2

#### 4.3.3. OMRÅDE 3

Undersøkellesområde 3 ble lagt til perrongen på samme side av jernbanen som stasjonsbygget og parkeringsplassen. Her ble det målt inn 4 striper langs perrongen. Her var det bra tilkobling til GNSS.

<b>Område 3</b>	Plattform/Perrong
Områdestørrelse	75.00 kvm
Overflate	Asfalt, 2 runde kumlokk og ett rektangulært kumlokk, plater i betong helt inn mot jernbanen
Antall striper	4
Oppsummering	Det tredje området hvor vi samlet inn data var perrong. Her målte vi inn 4 striper i et område ca. 3m X 25m. Overflate her var asfalt med 3 kumlokk. Mulige feilkilder her er sterk refleksjon fra kumlokk, kryssretning av kabler.

Table 4.3: Oppsummering - Datainnnsamling i undersøkelsesområde 3

#### 4.4. DATAFLYT I PROSJEKTET

Innmålte data ble levert i 3dra-format, og siden stripene ble målt inn i sanntid med GNSS var arbeidet med posisjonering av stripene minimalt. Hele prosjektet var på ca 4.5 GB. På større prosjekter er det ikke uvanlig at prosjektet er opp mot 40 GB, så dette er et relativt lite prosjekt. Vi opprettet en prosjektfil i 3DR Examiner og importerte 3DRa-filen. Her måtte vi også legge inn bakgrunnskart. Vi valgte å laste ned topo2-kart i JPG-format, med tilhørende fil som forteller programmet om bildets posisjonering. Etter import av filen står man igjen med flere separate striper fra innmålingen. Rådataene vises i tid, og det vil her være nødvendig å utføre forskjellige prosesseringer for blant annet å konvertere målingene fra tid til avstand. De separate stripene bør sys sammen i en funksjon som heter "Add Stitching". Funksjonen gjør at stripene med overlapp blir til en sammenhengende modell, og vil gjøre det lettere å tolke objektene.

Funn i datasettet kan markeres som enkeltpunkter, linjer og flater. Dette er et manuelt digitaliseringsarbeid som baseres på de tolkninger som gjøres i programmet. Funksjonen som lar oss markere funn som punkter og linjer heter "Annotate". Her kan man gruppere "annotations" i ulike grupper basert på hvilke typer anomalier man finner. Videre for å markere flater og lagdelinger benytter man en funksjon som heter "Trace Interface". Det er en arbeidsprosess i 3DR Examiner hvor man kartlegger utbredelsen til bestemte lagdelinger i datasettet. Gjennom ulike parametre kan man styre egenskapene til hvordan dette gjøres. Man kan gjøre dette på den tradisjonelle metoden og spore ett snitt av gangen. 3DR Examiner lar oss gjøre dette automatisk for hele datasettet ved å markere alle naboelementer som ligner på det vi skal spore. Dette letter arbeidet, og gjør at prosessen blir mindre tidkrevende. Ulempen er at lagene noen ganger kolliderer og skaper konflikt. Dette gjør at enkelte områder med mye "soil scattering" vil ha et mer unøyaktig estimat for høyde.

Eksport til ulike programmer. For å kunne utføre valideringen mot as built dataene i AutoCAD var det viktig at våre annotations kunne eksporteres til DXF/DWG-formatet.

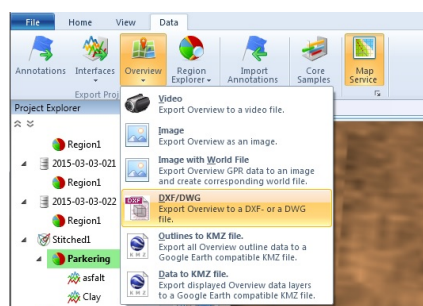


Figure 4.8: Noen av eksporteringsmulighetene i 3DR Examiner

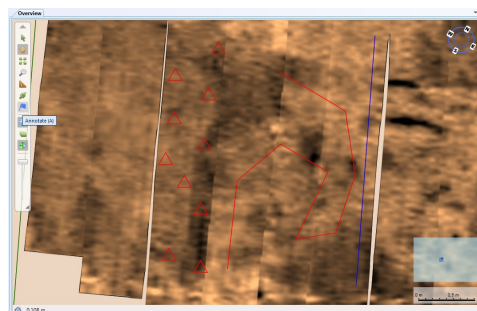


Figure 4.5: Markering av linjer og enkeltpunkter hjelp av "annotations"-funksjonen i 3DR Examiner.

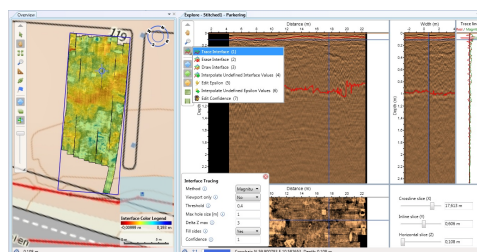


Figure 4.6: Sporing av lagdelinger i undergrunnen, ved hjelp av "Trace Interface"-funksjonen i 3DR Examiner.

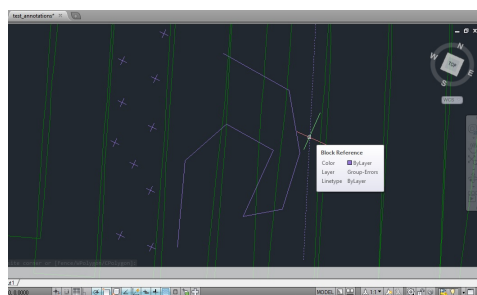


Figure 4.7: Annotations importert i AutoCAD, Grønne linjer er kanten på georadar-stripene.

# 5

## TOLKNING

### 5.1. PROSESSERING

Vanlig prosedyre etter innsamling av radardata er prosessering og tolkning av data. Som vist i figur 5.1, er det vanskelig å tolke noe ut av de radardata som kommer rett fra felten. Det er ofte mye støy i bildet. Det store bildet til venstre viser et profil av dataene. Til høyre ser vi enda et tverrsnitt, men denne gangen vinkelrett på. Helt til høyre ser vi signalet i rødt og grønt. Under ser vi dataene i planet, altså sett ovenfra. Som vi kan se av figur 5.1, kan man se både lyse og mørke strukturer i datasettet. Disse mørke områdene representerer områder eller konstruksjoner relativt høy refleksivitet, altså objekter med en høyere dielektrisk konstant enn naboområdene. De lyse områdene eller konstruksjoner viser relativt lav refleksivitet i forhold til naboområdene. Det er altså forskjellene i materialets dielektrisitet og elektriske ledningsevne som vises i dataene. For å eliminere feilk-

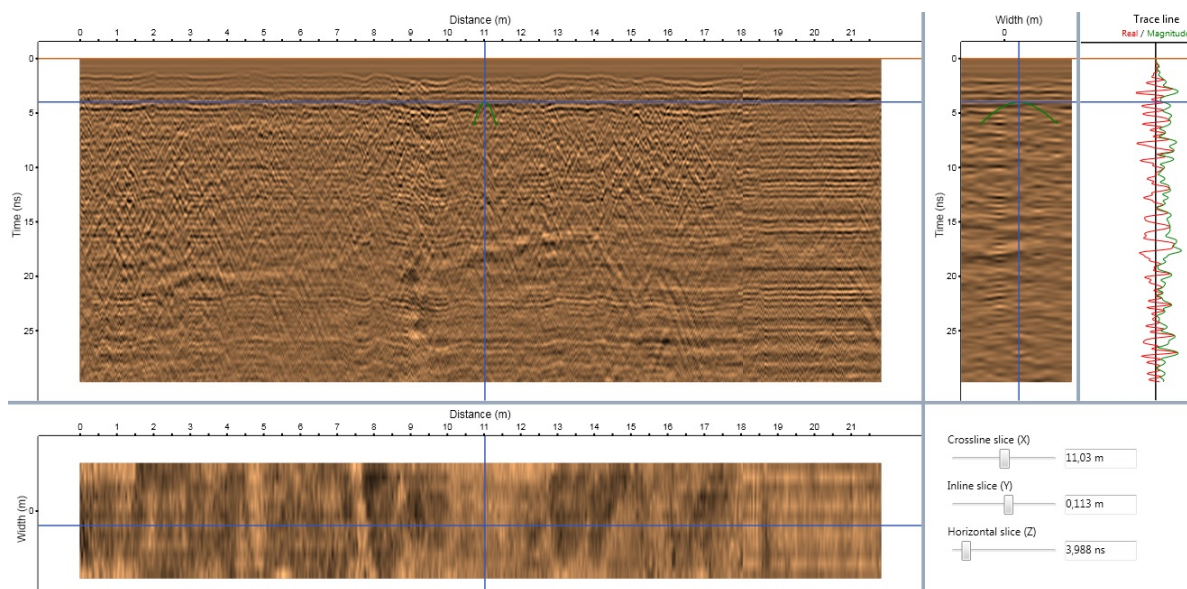


Figure 5.1: Eksempel på uprosesserte data i 3DR Examiner. Her er det mye støy som gjør at det er vanskelig å se faktiske objekter/anomalier.

ilder og støy må datasettet prosesseres og transformeres gjennom ulike innstillinger i programvare. Først i dette kapitlet skal vi gå gjennom de mest brukte innstillingene i 3DR-Examiner, og hva de gjør med dataene. Videre skal vi systematisk gå gjennom tolkningene og gi sammendrag for de ulike dybdene i undersøkelsesområdene. Til slutt vil vi validere våre tolkninger opp mot as-built data.

Ulike innstillinger for prosessering av radardata:

- **Time Ground**  
Time ground er funksjonen der vi bestemmer en verdi (ns) som signalet bruker fra antennen og ned til den treffer overflaten. Denne verdien er med på å videre bestemme dybden i datasettet, da den er et referansepunkt/nullpunkt for overflaten. Time Ground er viktig for å gi de øvrige anomaliene riktig høyde.
- **ISDFT**  
ISDFT står for Inverse Selective Descrete Fourier Transformation. Dette er en transformasjon fra tid(ns) til avstand(m). Det er flere parameter som bestemmer hvordan dette gjøres:
  - **Window type**  
Ulike vinduer har ulike avveininger mellom pulsbredde/skarphet og signal 'ringing'. Et bredere vindu gir skarpere målinger og motsatt. Det finnes flere ulike vindu-typer å velge mellom: Tukey, Hamming, Hanning, Blackman og Kaiser.
  - **Attenuation**  
Representerer absorberingen i materialet. Attenuation kontrollerer altså formen på de høyfrekvente dataene og hvilken dybde de skal kuttes i. Høyere verdi vil her ta bort mer av de høyfrekvente dataene.
- **BGR (high pass)**  
BGR står for Background Removal. Denne innstillingen fjerner horisontale signaler som er lengre enn en gitt lengde, for eksempel 10 meter. Målet er å fjerne støy fra ulike kilder.
- **Range Gain**  
Range Gain er en dybdebasert gain-funksjon som øker signalstyrke (amplitude) med dybden, for å kompensere for at signalet blir svakere når det beveger seg dypere ned i undergrunnen.
- **Autoscale**  
Autoscale er en prosess som automatisk skalerer datasettet etter de parameter som settes.

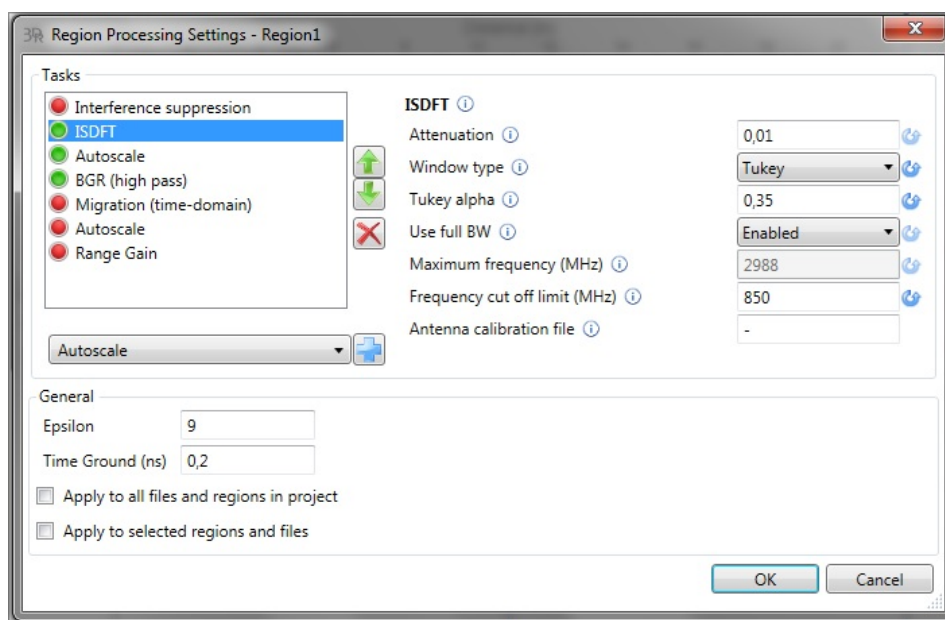


Figure 5.2: Region Processing vindu i 3DR Examiner. Her har man mulighet til å endre på alle prosesseringsinnstillinger.

### 5.1.1. INNSTILLINGER I 3DR-EXAMINER

Instillinger benyttet i 3DR Examiner.

	Innstillinger	Område 1	Område 2	Område 3
Fil-størrelse		1,75 GB	1,28 GB	1,31 GB
	Time ground	0,2 ns	0,2 ns	0,2 ns
	Epsilon	9	9	9
ISDFT	Attenuation	0,01	0,01	0,01
	Window type	Tukey	Tukey	Tukey
	Tukey alpha	0,35	0,35	0,35
	Min frekvens	850MHz	850MHz	850MHz
	Max frekvens	2988MHz	2988MHz	2988MHz
Autoscale	Prosent below max	100	100	100
	Multiplier	10	10	10
	Time to remove (ps)	10	10	10
BGR (high pass)	Filter length	10	10	10
	BGR removal	100	100	100
	Start depth (ns)	0	0	0

Table 5.1: Instillinger gjort i 3DR-Examiner for område 1, 2 og 3.

## 5.2. TOLKNINGER

Resultatene som presenteres i dette kapittelet baseres på en grundig tolkning i programmet 3DR Examiner. Ved hjelp av dette programmet har vi kunnet se på flere profiler samlet som en 3D-kube for å bedre kunne tolke anomalier. Alle funn er markert i programvare som enkeltpunkt, punktskyer, polylinjer eller flater, som videre vil la seg eksportere til ulike formater. Etter å ha importert alle stripene fra datainnsamlingen og lagt på instillinger for prosessering kunne vi starte arbeidet med å tolke dataene. Det første vi måtte gjøre var å lage en hel og sammenhengende flate av stripene vi samlet inn i deres respektive områder. Dette kalles i programvaren for "stitching" av data. Siden målingene er gjort med overlapp er det mulig for programvaren å finne likheter og flette data sammen til en hel modell. Som vist i figur 5.3 har vi delt opp data i tre ulike områder. Videre har vi tatt for oss et område av gangen og presenterer funn for de ulike dybder.

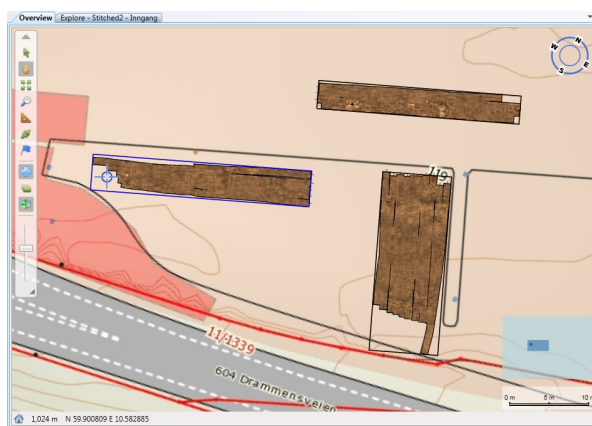


Figure 5.3: Oversikt over de tre undersøkelsesområdene i 3DR Examiner.

### 5.3. UNDERSØKELSEOMRÅDE 1 - PARKERINGSPLASS

Felles for alle tre områdene er at vi kutter data ved 2,5 meters dybde. Dette ble gjort fordi signalet utover 2,5 meter ikke forventes å være av slik kvalitet at det er mulig å tolke fysiske objekter. Kuttingen på 2,5 meter ble også anbefalt av veileder Jacopo Sala, av de nevnte årsaker.

Figur 5.4 viser område 1 sett i plan i 3DR Examiner. De sorte stripene midt i flaten er områder med dårligere overlapp. Utstikket i sørlig retning er første stripe med målinger som også tok med et område der asfalten var tatt bort. På grunn av den høye kanten ble det valgt å stoppe før denne på de resterende målingene. Videre vil vi først ta for oss tolkningen de øverste lagene fra 0.0-0.5 meter og videre tolke en meter av gangen helt ned til 2,5 meters dybde, og presentere funn antakelser til hva disse kan tolkes å være.

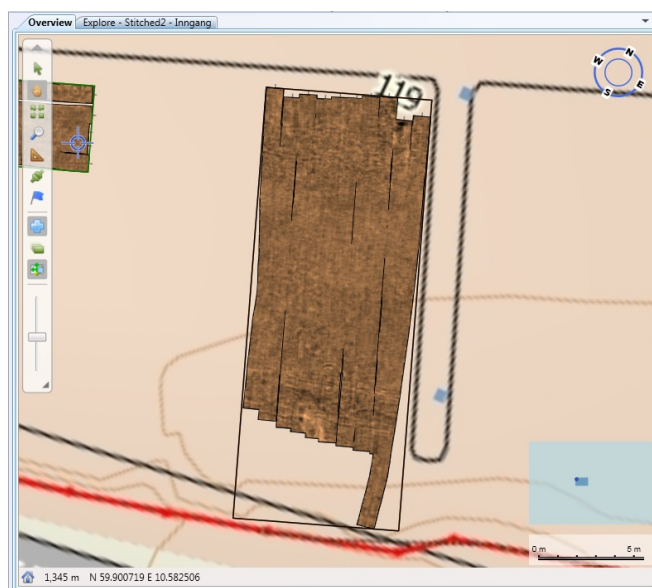


Figure 5.4: Oversikt over område 1, sett i plan

#### 5.3.1. TOLKNINGER 0.0-0.5 METER

Hele overflaten i dette området består av asfaltdekke, hvis vi utelukker det lille utstikket i sørenden med grusdekke. Det var ingen synlig infrastruktur i overflaten. Vi kan tydelig se skillet mellom asfalt og fyllmasser under asfaltdekket. Her varierer tykkelsen fra overflate til asfalt-bunn mellom 6 og 8 cm. Under asfaltdekket kan vi se mange små anomalier, som kan tyde på grovkornede fyllmasser og bærelag. Det er dette som kan kalles "soil clatter"

Det var ønskelig å hente ut høyder for asfaltlaget. Her benyttet vi en metode som går ut på å spore lagdelinger kalt "Interface Tracing". Overflaten på asfalten så veldig fin og gjevn ut, noe som tyder på gode målinger og klare lagdelinger. Vi fant ingen andre anomalier i denne høyden som indikerer spor etter infrastruktur.

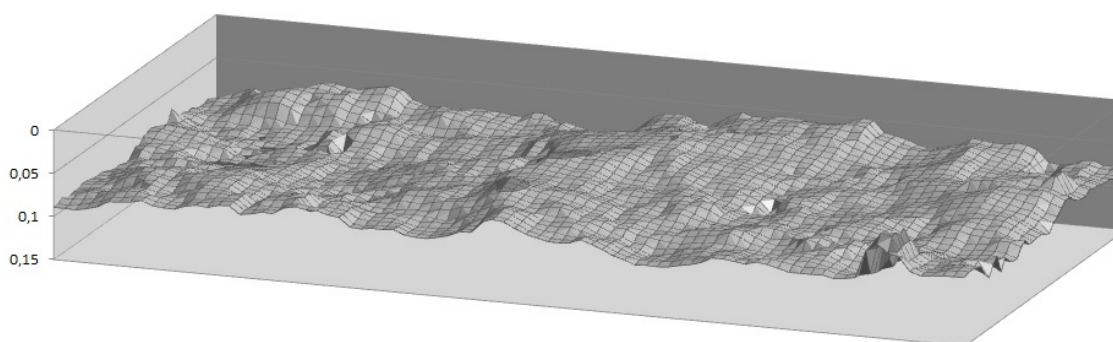


Figure 5.5: 3D-modell av bunnen på asfalten i område 1. Modellen er generert i Microsoft Excel.

#### 5.3.2. TOLKNINGER 0.5-1.5 METER

Som antatt under datainnsamlingen oppdaget vi sterke refleksjoner på ca 0.7-1.1 meters dybde i store deler av datasettet. Basert på dybden til dette laget, og det vi vet om hvordan ulike materialer



avtegner seg i dataene, antas dette å være overflaten på et lag med leire. På samme måte som med asfalten, benyttet vi "Interface Tracing" for å lage en sammenhengende flate av leiren vi fant. Resultatet fra sporingen av leire er visualisert i figur 5.6. Den delen av modellen som har ugjevn flate (til venstre), er den delen der det var mange kryssende anomalier og vanskeligst å tolke hvor laget med leire går. Her kan det antas at laget med leire muligens går over til andre typer masser.

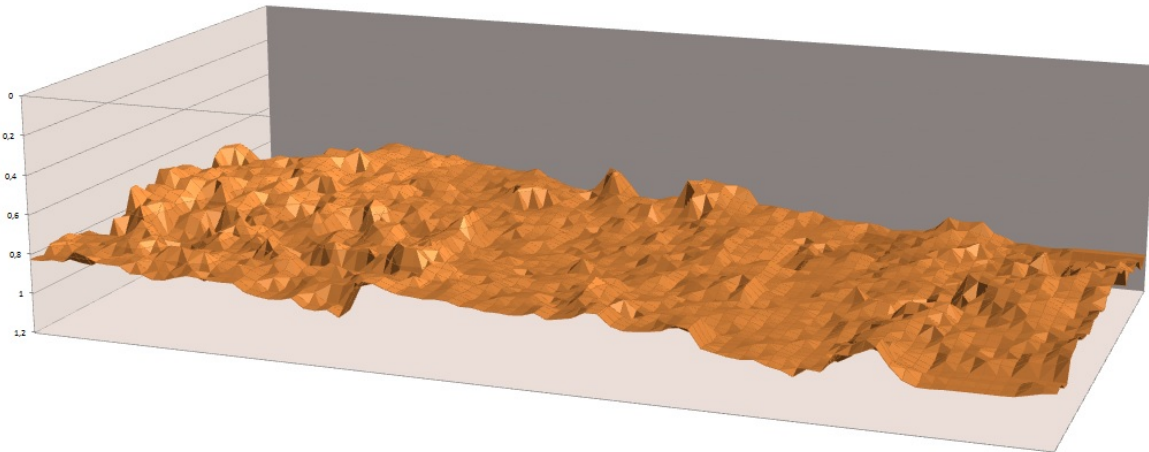


Figure 5.6: Modell av toppen på leiren i område 1. Høyder er eksportert som numeriske data og presentert i Microsoft Excel.

Vi oppdaget også to lineære anomalier i dette området, og en buet anomali. Den første lineære anomalien vi fant er posisjonert i nord-østlig retning, helt nord i område 1. Den ligger på 1,3 meters dybde, og forsvinner ca midt i området. Diameteren ser ut til å være på ca 50 cm. Dette antas også å være et rør. Som vist i figur 5.7 ligger røret ca 20 cm under laget med leire.

Den tydeligste anomalien i område 1 ligger på 1,05 meters dybde i nord-østlig retning, i sørenden av datasettet. Den er 8 meter lang og fortsetter ut av datasettet i begge retninger. Diameteren på anomalien ser ut til å være i størrelsesordenen mellom 90-110 cm. Dette kan også antas å være et rør. I figur 5.8 ser vi til venstre hvordan røret ligger i plan. Til høyre kan vi se rørets plassering i tverrsnittet. Den røde linjen i tverrsnittet er laget med leire, og rørets hyperbola kan man se ca 5 cm under dette, markert med blått kryss.

Det var også en buet anomali helt sør i datasettet, på 1.2-1.3 meters dybde. Denne anomalien var ca 2.5 meter lang. Figur 5.9 viser den virtuelle rør-gaten sett "brettet" ut og sett fra siden, i funksjonen "Virtual Trench" i 3DR Examiner. Til høyre i figuren ser vi rørene ovenfra, og det kan se ut til at det buede røret springer ut fra den lineære anomalien som er posisjonert like ved. Ellers i denne høyden ser vi også noen hyperbolas som ikke kan tolkes til å være objekter av interesse. Dette kan være større steiner nedover i grunnen som gir refleksjoner, såkalt "soil clatter".

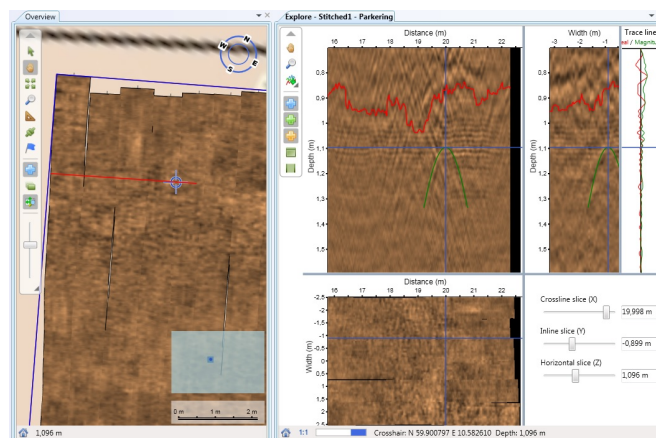


Figure 5.7: Til venstre ser vi retningen på anomalien som rød, rett linje sett i plan. Til høyre ser vi tverrsnittet, som viser at hyperbola ligger under leire.

### 5.3.3. TOLKNINGER 1.5-2.5 METER

Her ble det ikke gjort noen konkrete funn. Vi ser svake hyperbolas, men greier ikke tolke formen eller størrelsen ut fra det vi ser. En av årsakene til at vi ikke ser noe fra 1.5-2.5 meters dybde kan være på grunn av den sterke refleksjonen fra laget med leire.

### 5.3.4. OPPSUMMERING AV TOLKNINGER

I undersøkelsesområde 1 fant vi klare lagdelinger mellom bunn asfalt og fyllmasser. Videre oppdaget vi to områder der odometret ikke har registrert bevegelse, og dermed ikke sendt ut signaler. Disse områdene er markert med rød firkant i figur 5.10. Gjeldende område som ikke ble kartlagt er på 0,5 kvadratmeter, og har ingen betydning for tolkningsarbeidet.

Som forventet var det få funn i område 1. Allerede under målingene kunne vi se store refleksjoner i 0.7-1.1 meters dybde i område 1. Dette ville vanskeliggjøre våre muligheter til å finne objekter videre ned i datasettet. Vi sporet asfalt og leire med funksjonen "Interface Tracing".

Vi fant to separate lineære anomolier, og en buet anomali som tolkes å være rør. Figur 5.10 viser plasseringen til rørene i område 1. Alle rørene i undersøkelsesområde 1 ligger under laget med leire, og det kan være forklaringen på hvorfor de vises så svakt i datasettet.



Figure 5.10: Alle elementer som er funnet i område 1, markert i rødt og sett i plan.

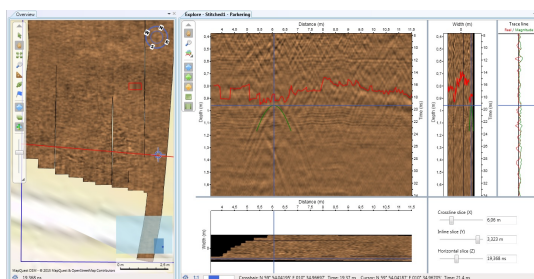


Figure 5.8: Ca 5 cm under laget med leire ser vi en ganske markert hyperbola. Til venstre ser vi retningen på anomalien som rød, rett linje vist i plan.

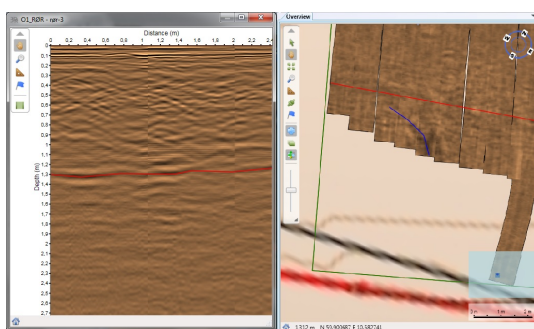


Figure 5.9: Til høyre ser vi retningen på anomalien som blå, buet linje i planet. Til venstre ser vi tverrsnitt av rørgaten.

## 5.4. UNDERSØKELSESONRÅDE 2 - INNGANG

Figur 5.11 viser område 2 sett i plan. Også her har vi noen striper med dårligere overlapp. Midt i området var det en opphøyning med kantstein for å markere skillet mellom parkeringsplasser. Her lå det noe is og våt snø. Dette vises tydelig i datasettet, og har skapt forstyrrelser nedover i målingene i nevnte område. Siden området det gjelder er så lite antar vi at det ikke vil påvirke tolkning og funn av objekter.

Her vil vi først ta for oss tolkningen de øverste lagene fra 0.0-0.5 meter og videre tolke en meter av gangen helt ned til 2,5 meters dybde, og presentere funn og våre antakelser til hva funnene kan tolkes å være.

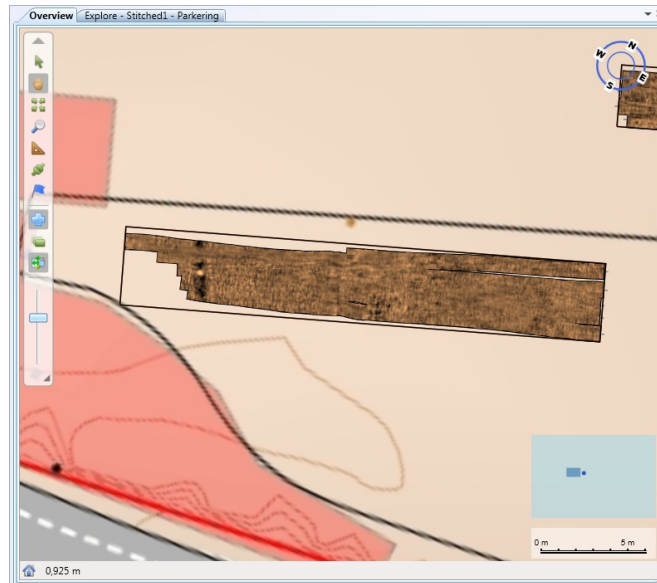


Figure 5.11: Oversikt over område 2, sett i plan.

### 5.4.1. TOLKNINGER 0.0-0.5 METER

Overflaten i dette området består av asfaltdekke, og som nevnt var det en forhøyning med kantstein midt i datasettet i nord-vestlig retning. Her var det ingen synlig infrastruktur i overflaten ellers enn dette. Asfalttykkelsen i området er 5-8 cm. Vi benyttet funksjonen "Interface Tracing" for å spore bunnen av asfaltlaget. Figur 5.12 viser bunnen på asfalten i område 2. Originalt kunne vi tydelig se at målingene ble forstyrret ca midt i modellen, ved at høydene avvirket noe fra resten av modellen, dette ble løst ved å interpolere området slik at de store avvikene ble gjevnet ut. Under asfaltdekket kan vi se en rekke anomalier som også her tyder på at det er grove fyllmasser.

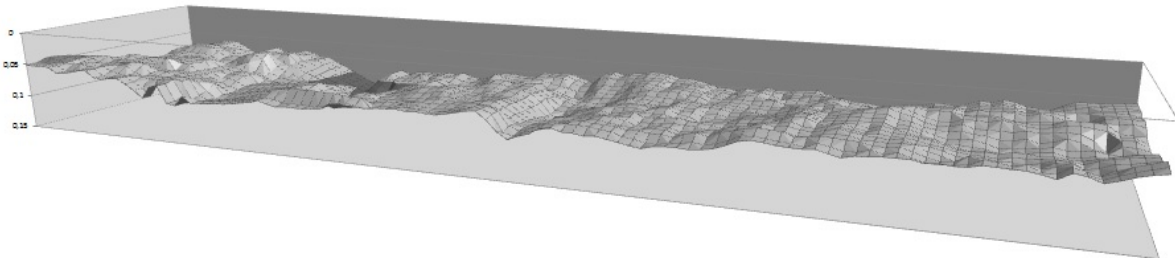


Figure 5.12: Her er en modell av bunnen på asfalten i område 2. Modellen er generert i Microsoft Excel

På 15-17 cm dybde finner vi tydelige lineære anomalier som enkelte steder former halvsirkler, som vist i 5.13. Disse anomaliene avtegner et mønster som, sett ovenfra kan minne veldig om varmekabler. Disse vises i figur 5.14. På grunn av kantsteinen var det vanskelig å se hvor varmekablene gikk, ca midt i datasettet. Området disse anomaliene ligger i er nesten helt inntill stasjonsbygget, og med det tatt i betraktning er det høyst sannsynlig at antakelsene om varmekabler stemmer.

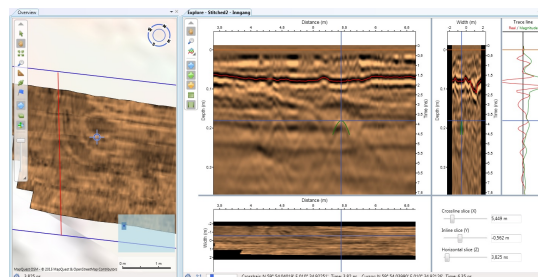


Figure 5.13: Tre anomalier i samme høyde sett i tverrsnittet. Viser som buede linjer sett i plan.

Vi kan også se en grøft i ca samme dybde som varmekablene. Dette vises tydelig i figur 5.15, hvor vi til høyre ser grøften markert med blå strek, sett i planet. Til venstre vises grøftens tverrsnitt i "Virtual Trench". Det dypeste punktet på grøften er 24 cm mens kantene ligger på ca 15 cm dybde. Bredden er på ca 70 cm. Dette antas å være grøfter for strømledningene til varmekablene i området som leder ut mot perrongen. Som vist i figur 5.15 går to lineære anomalier ut av datasettet i området med grøften.

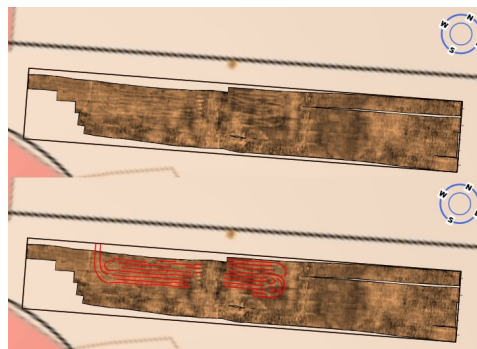


Figure 5.14: Før og etter sporing av varmekabler i område 2, sett i plan.



Figure 5.15: Grøft for føring av strømkabler til varmekablene i område 2 markert med blå farge sett i plan. Til venstre ser vi tverrsnittet av grøften i funksjonen "Virtual Trench".

#### 5.4.2. TOLKNINGER 0.5-1.5 METER

0,9-1 meter fant vi en lineær anomali i nord-vestlig retning, lengst vest i område 2. Denne er ca 3,5 meter lang og fortsetter ut av datasettet i begge retninger. Anomalien er ca 50-60 cm bred. Dette antas å være et rør. Røret vises sett fra siden i figur 5.16 i "Virtual Trench". Dette var det røret som avtegner seg best av alle anomalier funnet i de tre områdene.

Lengst øst i område 2 fant vi 3 anomalier som har form som tilsier at det er rør. Disse springer ut fra nesten samme punkt i tre retninger og krummer seg utover området i tre ulike retninger. Disse tre hyperbolaene er vist i figur 5.17 i 1.1 meters høyde.

Vi fant også en lineær anomali i nord-østlig retning midt i datasettet. Den ligger på 1.0-1.1 meters dybde. Denne krysser området der signalet ble forstyrret av kantstein. I tillegg er den noe uklar selv om den ligger høyt oppe i forhold til andre anomalier vi har funnet i området.

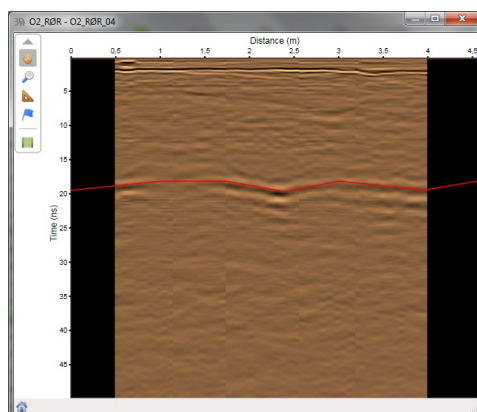


Figure 5.16: Lineær anomali fra område 2 vist i "Virtual Trench".

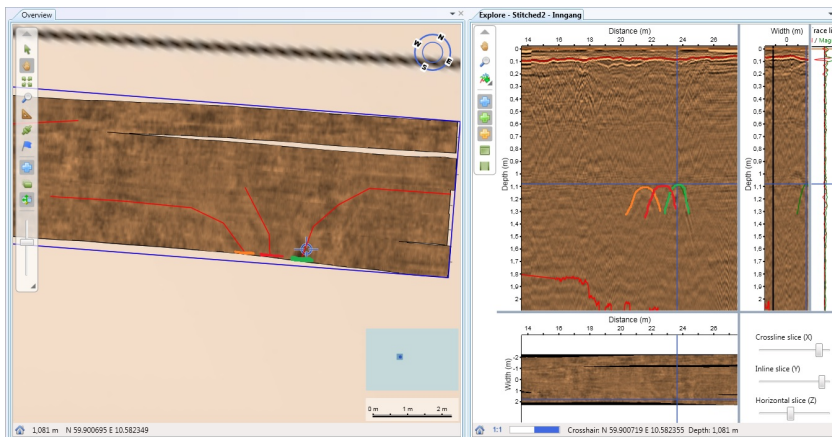


Figure 5.17: Tre sett med hyperbolas som krummer seg utover i hver sin retning i område 2.

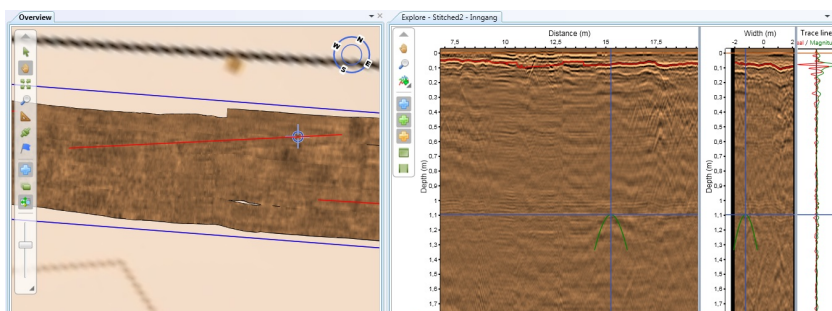


Figure 5.18: En litt uklar lineær anomali i nord-østlig retning, midt i datasett 2.

### 5.4.3. TOLKNINGER 1.5-2.5 METER

I område 2 fant vi grunnfjell på 1.8 til 2.5 meters dybde. Det var mange refleksjoner i området over, dette kan indikere at det er lagt på fyllmasser over grunnfjellet. Under laget med grunnfjell er det lite

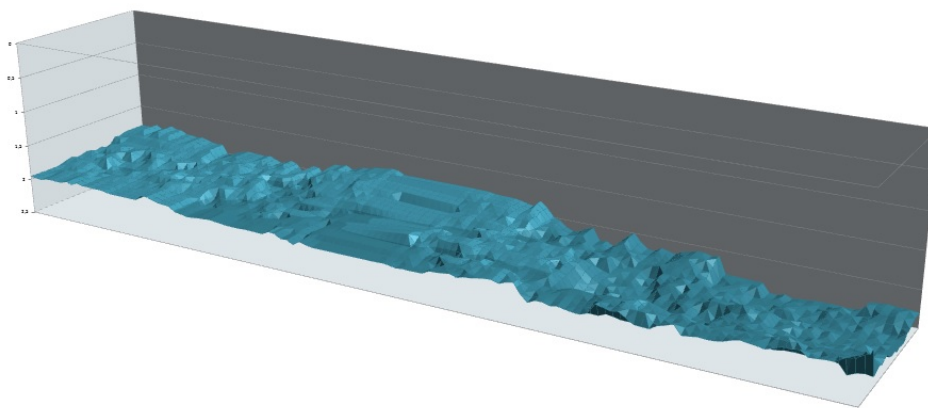


Figure 5.19: Grunnfjell i område 2, modellert opp i Microsoft Excel

anomalier å se, som kan tyde på at det er et område med konsistent materiale. Dette bekrefter også mistankene våre om at det ligger grunnfjell i området. Dybden taler også for at det er grunnfjell. Som vi kan se i figur 5.19 er det mye "soil clutter" til høyre. Dette kan være fordi grunnfjellet går over i andre typer masser i nevnte område. Vi fant ingen strukturer eller anomalier i denne dybden som indikerer rør eller annen infrastruktur.

#### 5.4.4. OPPSUMMERING AV TOLKNINGER

Oppsummert fant vi flere anomalier i område 2, sammenlignet med område 1 hvor vi påviste leire. I undersøkelsesområde 2 fant vi klare lagdelinger mellom bunnen på asfalt og fyllmasser, som vi sporet med "Trace Interface". Videre oppdaget vi anomalier på 15-17 cm dybde. Dette har form og struktur som tilsier at det er varmekabler. Videre fant vi en grøft i samme område på ca 24-15 cm dybde. Denne er mest sannsynlig brukt til å legge strømkablene til varmekablene i. Vi fant vi to lineære anomalier, og tre buede anomalier som ser ut til å være rør. Alle rør ble funnet på 0.9-1.1 meters dybde. Disse vises i figur 5.20 i planet. Rør som ble oppdaget i dette området hadde sterkere refleksjoner og klarere hyperbolas enn de vi fant i område 1. Vi oppdaget også grunnfjell i område 2, som også ble sporet med "trace Interface". Dette ligger på 1.8 til 2.5 meters dybde og synker ut i området mot øst.

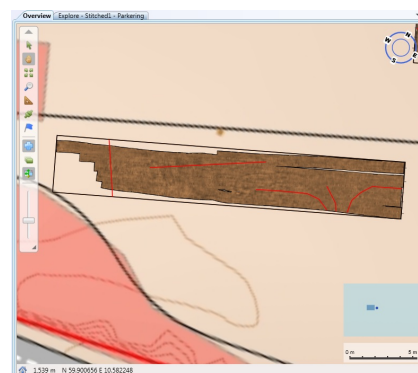


Figure 5.20: Alle objekter som ble funnet i område 2, markert i rødt og vist i plan.

#### 5.5. UNDERSØKELSESONMRÅDE 3 - PERRONG

Område 3 er lokalisert på perrongen. Figur 5.21 viser område 3 sett i planet. I dette området fikk vi ganske bra overlapp mellom stripene. Overflaten i dette området består primært av asfaltdekke. Helt i kanten av plattformen i nord var det sementblokker med ruglete overflate. Den ruglete overflaten gjorde at det ble noe støy i målingene nedover i grunnen, men ikke så mye at datasettet ikke kunne tolkes. I overflaten finnes det også to runde kumlokk og et rektangulert kumlokk. Kumlokkene reflekterer ganske sterkt (metalliske) og vi kan se avtegninger fra kumlokk og rør hele veien ned til 2.5 meters dybde.

Her vil vi først ta for oss tolkningen de øverste lagene fra 0.0-0.5 meter og videre tolke en meter av gangen helt ned til 2,5 meters dybde, og presentere funn og våre antakelser til hva funnene kan tolkes å være.

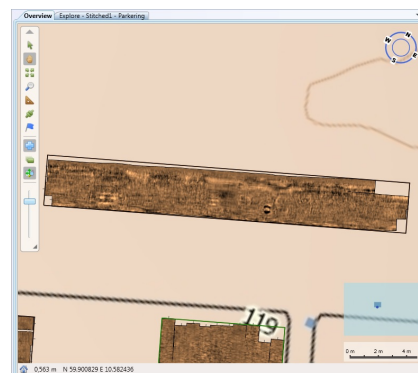


Figure 5.21: Oversikt over område 3, sett i plan.

##### 5.5.1. TOLKNINGER 0.0-0.5 METER

Overflaten i dette området består som nevnt primært av asfaltdekke. Her var det synlig infrastruktur i overflaten, 3 kumlokk, som avtegner seg fra overflate til 2.5 meters dybde. Asfalttykkelsen i området er på ca 7-9 cm. Vi benyttet "Tracing Layers" for å spore bunnen på asfalten i området. Dette kan vi se i figur 5.22. Her kan vi tydelig se at det er noe støy i sporingen. Dette kunne vi forhindre med å interpolere i områdene med store avvik på høyden.

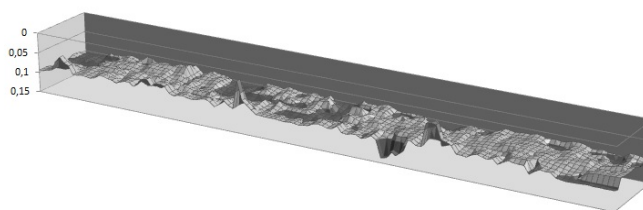


Figure 5.22: Modell av bunnen på asfalten i område 3. Modellen er generert i Microsoft Excel

Under asfaltdekket, på ca 15-17 cm dybde ser vi tydelige lineære anomalier som enkelte steder former halvsirkler. Mønsteret på disse minner veldig om varmekablene vi fant i område 2. Markeringen av varmekablene vises i figur 5.23. På grunn av plassering i grunnriss, dybde og mønster antas dette å være varmekabler.

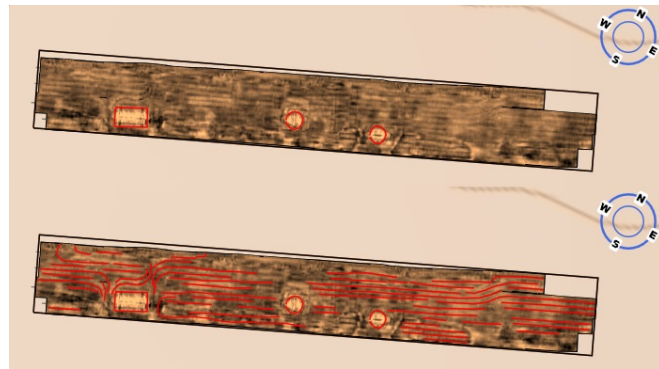


Figure 5.23: Før og etter sporing av varmekabler i område 3.

Videre ned i datasettet på ca 28 cm dybde ser vi strukturer av lineære anomalier som krysser hverandre vinkelrett. Formen er firkantet og området er på ca 5 kvm. Disse strukturene ligger i nærheten av kumlokk, og ser ut til å være armeringsjern som er støpt inn i perrongen rundt kumlokket.

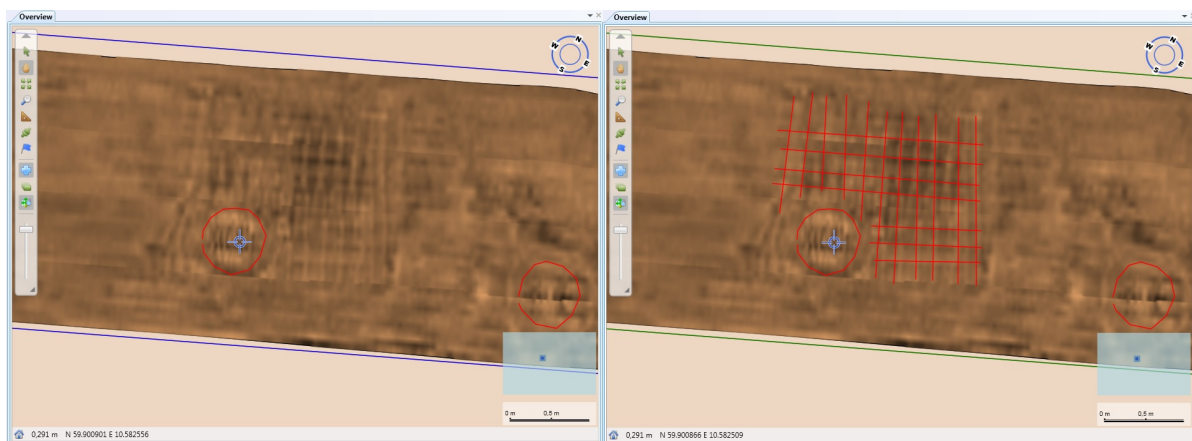


Figure 5.24: Før og etter sporing av armeringsjern i område 3.

### 5.5.2. TOLKNINGER 0.5-1.5 METER

Fra 0.5-0.6 meter fant vi en lineær anomali som strekker seg langs hele perrongen i nord-østlig retning. Denne anomalien ligger under det området med betongplater og ruglete overflate. Det kan tenkes at forstyrrelsene i signalet gjør at denne anomalien ikke er like synlig som hvis den hadde ligget under området med asfaltdekket. Denne anomalien kan ut fra form og utstrekning tenkes å være en kabelkanal som fører ledninger, kabler eller rør langs perrongen. I figur 5.25 ser vi anomalien i "Virtual Trench", samt et oversiktsbilde i plan. Her kan vi se at det er noen ugjevnheter og høydeforskjeller langs anomalien. Vi kan også se en klar refleksjon under den røde linjen. Dette kan indikere at vi har fått refleksjoner fra topp og bunn av rørgaten.

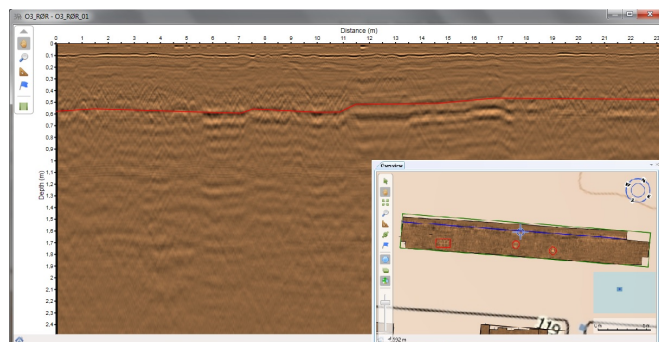


Figure 5.25: Rørgaten i "Virtual Trench", sammen med et utsnitt fra plan, som også viser kumlokk.

### 5.5.3. TOLKNINGER 1.5-2.5 METER

I denne dybden så vi ingen anomalier, annet enn sporene etter kumlokk som strekker seg fra overflaten (0.2 cm under topp asfalt) og ned til 2.5 meters dybde. Som vi kan se av figur 5.26 er det refleksjoner nedover i datasettet på grunn av kumlokk og tilhørende anlegg.

### 5.5.4. OPPSUMMERING AV TOLKNINGER

I undersøkelsesområde 3 fant vi flere spor etter infrastruktur i grunnen. Felles for alle dybdene er at man tydelig ser refleksjoner fra kumlokk og tilhørende rør nedover mot 2.5 meters dybde. Disse er markert med rødt omriss i figurene. Vi oppdaget i dette området klare lagdelinger mellom bunnen på asfalt, og det mediumet som ligger under. Asfaltdybde ble sporet med "Tracing Layers". Videre ned i dataene fant vi spor etter varmekabler, disse ble markert som linjer ved hjelp av annotations.

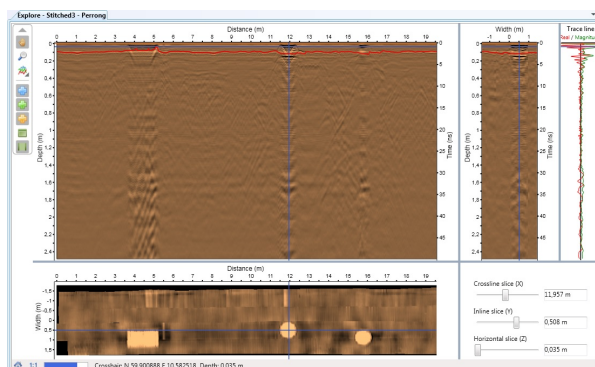


Figure 5.26: Kumlokk i område 3, vist som tverrsnitt og i plan.

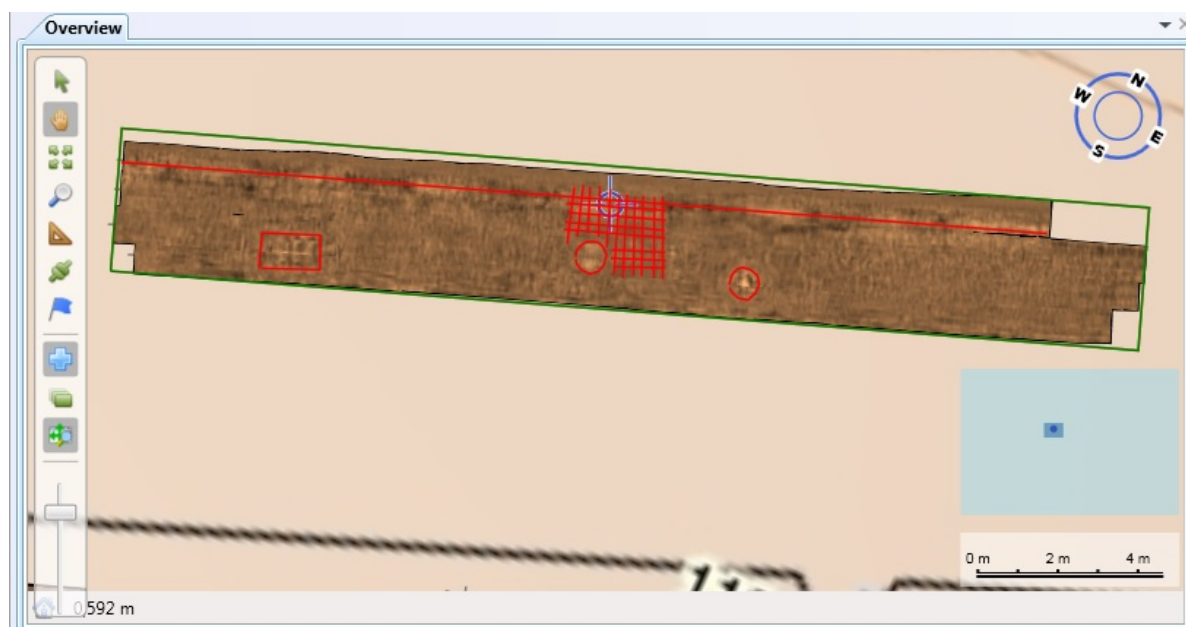


Figure 5.27: Alle objekter som ble funnet i område 3, markert i rødt og vist i plan.

Videre nedover kan vi se strukturer som minner om armeringsjern. Her er det lineære anomalier som krysser vinkelrett på hverandre. Armeringsjernet ble funnet i nærheten til det midterste kumlokket, som vist i figur 5.27. På ca 0.5-0.6 meters dybde fant vi en lineær anomali som til tider hadde to parallelle linjer med refleksjoner. Dette antas å være topp og bunn på en rør- eller kanal.



## 5.6. VALIDERING AV DATA - OMRÅDE 1

I dette delkapittelet skal vi se på tolkningene våre opp mot datasettet som ble målt inn og dokumentert av Skanska, som as-built-data for anleggsprosjektet på Høvik. Her fikk vi levert tegninger i DWG-format for alle de ulike fagområdene som var i kontakt med vårt undersøkelsesområde. Vi fikk også tilgang på profilert grunnfjell i området. Vi brukte AutoCAD til å samle alle tegningene i en enkelt tegning. Områdene som er målt inn med georadar er markert med gult omriss i figur 5.28. Vi kan allerede nå se at noen av objektene ser kjent ut ut fra de tolkningene vi har gjort. Videre skal

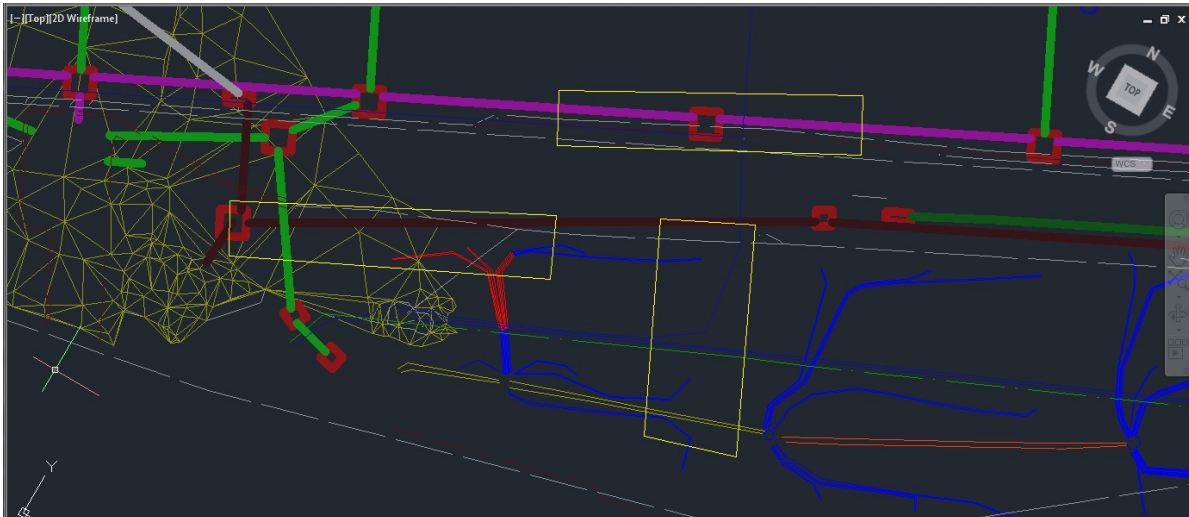


Figure 5.28: Utsnitt fra AutoCAD som viser alle as-built data. Undersøkelsesområdene er markert med gule firkanter.

vi ta for oss ett og ett område og gå næyere inn på hvilke objekter som ble funnet. Vi vil også se på hvorfor vi eventuelt ikke klarte å se objekter i tolkingen.

Område 1 var det området som var vanskeligst å tolke. Vi møtte på leire i dybden 0.7-1.1 meter. Den første lineære anomalien som vi fant i øverst i område 1, finner vi igjen i as-built-dataene. Den kommer inn i området fra venstre og stopper ca midt i. Den neste anomalien som strekker seg ut av

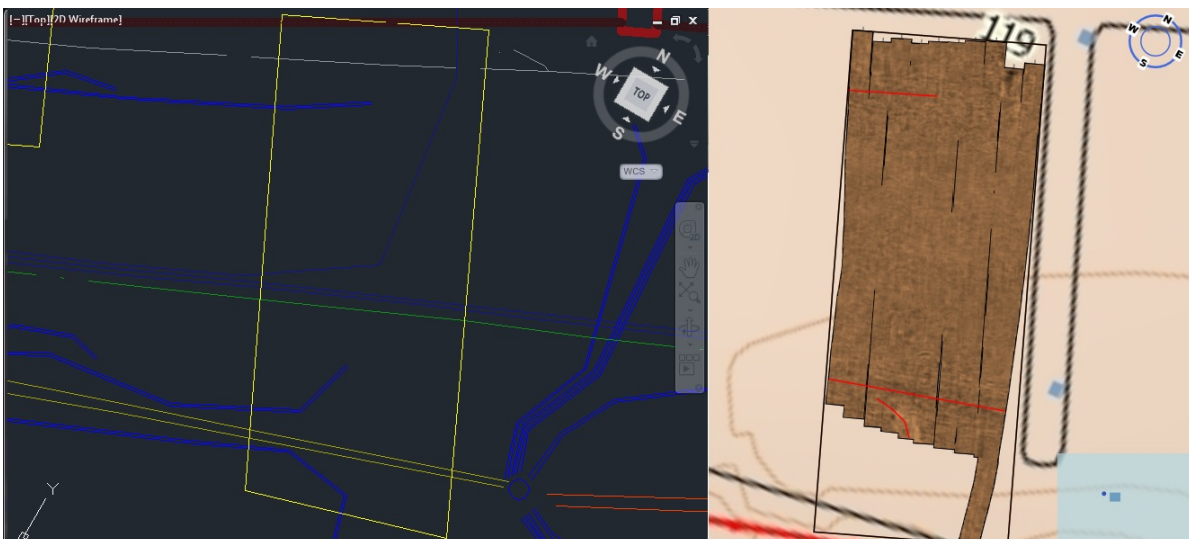


Figure 5.29: Område 1 - Sammenligning mellom as-built data til venstre og våre funn til høyre.

området i begge retninger, lengre sør i dataene, finner vi igjen som to gule linjer i as-built-dataene. I tolkingen gjorde vi også noen antakelser om at en buet anomali utgikk fra den lineære linjen og

gikk ut av dataene i sørlig retning. Også denne finnes i as built-dataene, og vises som en blå buet linje i figur 5.29.

Det er imidlertid et buet rør som går nordover, som vi ikke har funnet i tolkningen. Det ligger også en grøft med spillvann- og vannledning som går midt på parkeringsplassen, i området med grønn og blå linje i as built-dataene i figur 5.29. Laveste rør ligger ca 2.4m under topp asphalt, og vannledning midt i området skal ligge på ca 2m under topp asphalt.

Disse har vi heller ikke funnet i tolkningen. Her har vi i ettertid gjort forsøk med å utvide dybden til 2.7 meter i håp om å få bedre innsyn på de objektene som ligger dypt. Etter nøye tolkning og leting klarte vi å se noen mørke avtegninger på ca 2.4 meters dybde. Disse er så svake at det ligger utenfor vårt kompetansenivå for tolkning.

Vi kan også se at vi ikke oppdaget vannrøret som går i nordlig retning midt i undersøkelsesområdet. Her fant vi ingen spor i datasettet. En av grunnene til at vi ikke så alle rør i dette området er de sterke refleksjonene på 0.7-1.1 meters dybde. Vinter og snøsmelting øker sjansen for at leiren er våt. Leiren absorberer mye av signalet, og gjør at oppløsningen blir dårlig. En annen grunn kan være at rørene har mindre diameter.

Vi fikk også kartlagt tykkelse på asphalt og toppen på leiren i området. Det finnes ingen innmålinger av bunn-asfalt eller leire som kan bekrefte dybden vi fant. Her var det 6 mulige rør i bakken, og radaren fanget opp 3 av disse.

## 5.7. VALIDERING AV DATA - OMRÅDE 2

I område 2 fant vi langt flere anomalier, og avtegningene i datasettet var stort sett klare.

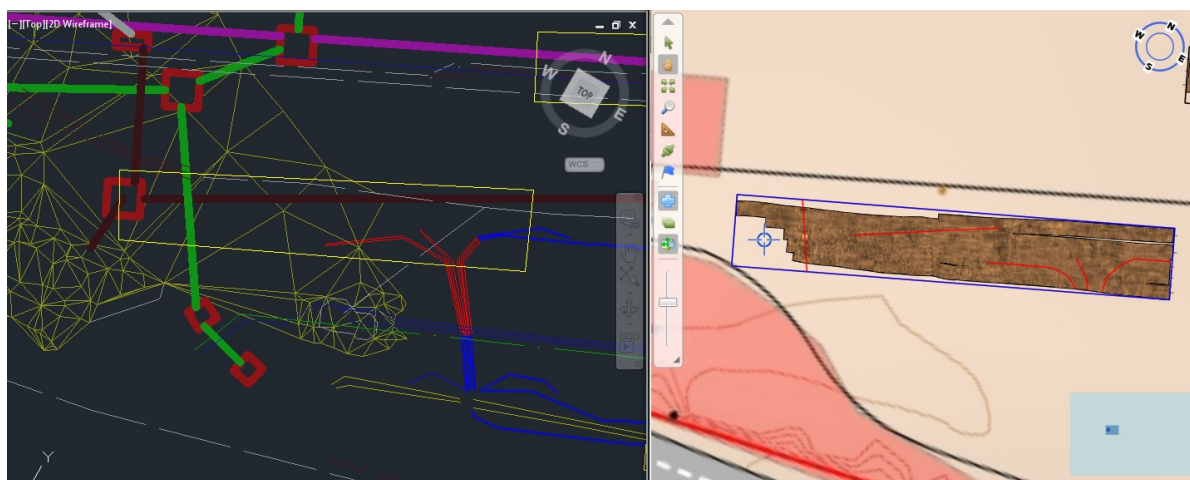


Figure 5.30: Område 2 - Sammenligning mellom as-built data til venstre og våre funn til høyre.

Også her har vi kartlagt tykkelse på asphalt. Som nevnt finnes det ikke data på dette for å gjøre sammenligning av tykkelse.

I dette området kan det se ut til at vi har lokalisert riktig dybde og retning på alle rør, selv om en av de lineære anomaliene ikke er sporet helt ut i kantene slik som as built-data viser. Vi har funnet alle rør i området. Her var det 5 mulige rør i området, og vi fant alle med georadaren.

De gule trianglene i as built-data er en overflatemodell av grunnfjellet som ble profilert. Ut fra utbredelsen på grunnfjell i as built-dataene har vi truffet ganske bra på tolkningen. Grunnfjellet ligger på 1.8-2.5 meters dybde, og som vi mistenkte i tolkningen gikk grunnfjell over i andre masser lengst mot øst i datasettet. Vi har ikke hatt mulighet til å sjekke om topografien til grunnfjellet er helt nøyaktig i forhold til det som var innmålt i as built-data. Høydene ser derimot ut til å stemme ganske godt, og ville vært av god nok kvalitet til å benyttes for å beregne masser i forkant av et prosjekt.

## 5.8. VALIDERING AV DATA - OMRÅDE 3

I område 3 fant vi også mange anomalier, og signalene i området var stort sett gode.

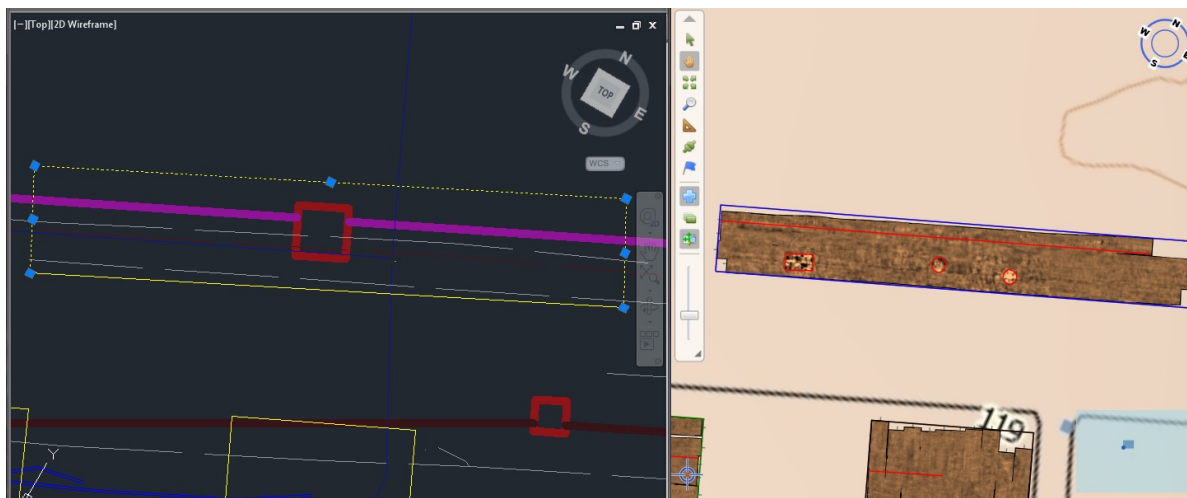


Figure 5.31: Område 3 - Sammenligning mellom as-built data til venstre og våre funn til høyre.

As built-dataene for område 3 viser at det er flere rør som går parallell med perrongen. Vi fikk her informasjon om at det var støpt inn rør ca 0.4-0.5 meter ned. Dette stemmer bra overens med de tolkningene vi har gjort i området. Vi fant som nevnt topp og bunn på noe vi antok å være en kabelgate. Posisjonering, retning og høyde på denne anomalien stemmer bra med as built data.

Vi skulle også sjekke høyden på topp kum. I følge as built-data skulle denne ligge 0.2 cm under topp asfalt. Dette stemmer bra i forhold til våre tolkninger. Her har vi kartlagt tykkelse på asfalt. Som nevnt finnes det ikke data på dette for å gjøre sammenligning av tykkelsen.

Vi har heller ikke innmålte data på varmekabler i område 2 og 3. Her har vi fått bekreftet at det ligger varmekabler i den høyden der vi påviste anomalier med mønster som så ut som varmekabler.



# 6

## DRØFTING

Mangel på informasjon og lite fokus på kartlegging under bakken har i mange år skapt forsinkelser og ekstra kostnader i bygg og anleggsbransjen. Hovedgrunnet er diskusjonen er litteraturstudiet, feltarbeidene og samtaler med fagfolk i bransjen. Diskusjonen bygges altså på de grunnsteinene som er lagt tidligere innen fagområdet. Gjennom prosjektiden har vi kartlagt fordeler og ulemper med metoden. Uten feltarbeidet ville oppgaven vært basert på teori, og ville manglet det faglige og praktiske innsynet. Georadar er mye brukt innen arkeologi og geoteknikk, og prosjektet dreide seg rundt spørsmålet om metoden var overførbar til bygg og anleggsbransjen. Vi ønsket å se om metoden kunne brukes i de ulike fasene av et prosjekt. Vi ønsket også å finne ut hvordan Skanska effektivt kan bruke georadar i sine prosjekter. Målet med dette kapitlet er å sammenføre teori med empiri, med tanken om å tilføre nye erfaringer til temaet.

### 6.1. GRUNNLAGSDATA

Økt utnyttelse av areal i under bakken er en viktig grunn til at det i dag rettes større fokus til bedre kartlegging og planlegging av undergrunnen. Det er også økende etterspørsel og interesse for bruk av geofysiske metoder. Gode grunnlagsdata vil uten tvil være med på å redusere risiko for både byggherre og entreprenør i utførelsen av prosjekt. Ved mer nøyaktige masseberegninger i forkant av prosjektering, vil anbud og prissetting av prosjekt også bli mer korrekt. Skanska ønsker å benytte georadar for kartlegging av grunnfjelllets topografi og andre lagdelinger i undergrunnen. Det ble også lagt fokus på om metoden egnet seg til å kartlegge ledninger, kabler, rør og andre konstruksjoner. Den geofysiske rapporten fra Rjukan viste at potensialet med georadar innen bygg og anleggsbransjen er stort. Da undersøkelsen ble gjort i 2011, ble det sagt at metoden ikke var automatisert nok. Altså var ikke arbeidsprosessen og dataflyten i prosjektet god nok til at Skanska kunne se potensialet til å ta i bruk metoden for kartlegging.

Bransjen trenger en effektiv metode for kartlegging under bakken, men innføring av nye arbeidsprosesser og metoder er ikke alltid like lett. Før man implementerer og satser ressurser på nye metoder vil man ha bevis for at metoden fungerer og vil føre til reduserte kostnader på lang sikt. Et eksempel bra bransjen er implementeringen av BIM i byggebransjen, som har tatt lang tid. Her har flere store entreprenører i bransjen ledet an i utviklingen av prosesser og bruk av BIM på bygg og anlegg. Blant de mindre entreprenørene, har knapphet på ressurser gjort at man ikke har kunnet satse mens BIM var i startfasen. Etter hvert som byggherre også begynte å stille krav om at BIM skulle benyttes, våknet resten av bransjen. Man så nå at BIM endret arbeidsprosessene på en positiv måte og førte til reduserte kostnader i alle prosjektets faser. Det var også frykt for å havne utenfor bransjen dersom man ikke kunne levere i henhold til byggherres krav. BIM har i dag endret måten man designer, bygger og vedlikeholder bygninger, og brukes av så godt som alle. Dette er på mange måter

overførbart til innføringen av georadar som metode for innsamling av grunnlagsdata. Bransjen har i dag få krav knyttet til kvaliteten på grunnlagsdata som benyttes.

For at bransjen i større grad skal øke sitt fokus på grunnlagsdata, må det stilles krav om kvalitet og kilder for data. Det bør stilles strengere krav fra byggherre om hvilke data prosjekter bygger på. Veldig ofte kan prosjekteringsgrunnlaget baseres på FKB-kart, og grunnboringer med få punkter og lav tetthet. Bruk av georadar kan gi økt kvalitet på grunnlagsdataene ved bekreftelse av gamle data og at man kan få en relativt god pekepinn på vertikalavstand til objekter i grunnen. Det gjøres i dag arbeider med å samordne informasjon om undergrunnen i ulike databaser.

Selv om det ville være store fordeler med åpne data og databaser for all infrastruktur som legges ned i bakken, reiser dette nye problemstillinger rundt dette med informasjonssikkerhet. Det er ikke ønskelig at sensitiv informasjon om tele- og ledningsnett skal være offentlig eller ligge tilgjengelig i offentlige databaser. Det vil sette samfunnet i en sårbar situasjon dersom denne informasjonen skulle komme i feile hender. Et annet viktig poeng fra det private er at man ikke ønsker at all informasjon skal være tilgjengelig på grunn av konkurranseaspektet.

## 6.2. DATAINNSAMLING

Georadaren er en rask metode som kan gi oss et bilde av hva man kan forvente seg å finne av infrastruktur i bakken. Med dagens utstyr er det mulig å dekke over store områder på kort tid. Den største ulempen med feltarbeidene er at georadarens signaler i stor grad påvirkes av undersøkelsesmaterialets egenskaper. I prinsippet vil dette si at metoden påvirkes av fuktighet, vanninnhold og saltnivåer i bakken, og er dermed avhengig av ytre forhold som vær. Under feltarbeidet var det knyttet en usikkerhet til oppløsning og kvalitet på data. Dette spesielt fordi vi utførte målingene i vinterhalvåret. Med Oslos milde vintre kunne vi risikere at smelting av is og snø ville ødelegge oppløsningen i datasettet.

En annen viktig del av kvaliteten til radardataene er posisjonen som legges til innmålingene. Under feltarbeidet brukte vi georadar med tilkobling til GNSS. GNSS gir mer enn god nok kvalitet for posisjonering av radardata, men det er likevel mulige feilkilder man må ta hensyn til. Kvaliteten er knyttet til tilgang på satellitter. Dette vil for eksempel gjøre det vanskelig med målinger i urbane miljø, eller områder med mye skog.

Grunnboringer er en av de tradisjonelle metodene som benyttes i dag for å undersøke grunnforhold. Denne metoden er kostbar, og krever fysisk inngrep i naturen. Ofte er det vanskelig å utføre grunnboringer i områder på fjellet eller i utmarksområder. Maskinene er store og vanskelig å frakte. Her har georadar en stor fordel, med at utstyret er lett å frakte med seg, og utstyr kan tilpasses til de ulike områdene som krever kartlegging. Georadaren kan også benyttes i høy fart, montert som tilhenger på ulike fremkomstmidler, og vil derfor ikke forstyrre omgivelsene under datainnsamlingen.

## 6.3. RESULTAT FRA FELTARBEIDENE

Til tross for at undersøkelsen ble gjort i vinterhalvåret var dataene ganske gode. Svakheten med å ha én undersøkelsesenhet er at vi dermed har begrenset kontroll på om vi bare var heldige den dagen vi utførte målinger. Det ville vært interessant å utføre undersøkelsene i samme område ved en annen årstid for å se om resultatene blir de samme.

En stor fordel med dette prosjektet var at vi hadde tilgang på as built-data for hva som var gravd ned i bakken på Høvik. Sammenligningen med as built-dataene gjorde at vi kunne verifisere våre tolkninger, og dette var klart en stor fordel med prosjektet. Lignende prosjekter som er utført tidligere av Skanska har ikke hatt denne typen kontroll. Vi fikk ikke tilgang på as built-data før tolkningsarbeidet var utført. Dette gjorde at tolkningen var krevende i starten, både fordi vi manglet erfaring, og fordi vi ikke visste helt hva vi skulle lete etter. Ved reelle prosjekt vil usikkerheten ikke alltid kunne bekreftes gjennom as built-data, men må verifiseres når for eksempel gravearbeider

starter.

I georadardataene våre så vi tydelig kumlokk, rør, asfalt-tykkelser og ulike lag som leire og grunnfjell. Vi så også at signalene ble utydelig og vanskeligere å tolke ved 2 meters dybde. I realiteten ligger for eksempel grunnfjell på dybder helt ned mot 30 meter. Innstillingene for vår datainnsamling fokuserte på objekter nær overflaten, og det bør gjøres flere forsøk med større dybderekkevidde hvis Skanska ønsker å bruke metoden for kartlegging av grunnfjell.

Georadaren måler med høy tetthet i måleområdet, og er en rask og effektiv måte å samle inn store mengder data på. Med riktig posisjonering av antennen vil georadar gi oss nøyaktig dybdeinformasjon på objekter i grunnen gjennom post-prosesseringen. Bruk av georadar krever at operatør har kjennskap til metoden, utstyr, prosessering og tolkning. For at dybdeinformasjonen skal være nøyaktig bør operatør ha noe erfaring for å kunne tolke data med større sikkerhet.

Feltarbeidene og sammenligningen med as-built-data avdekket det meste som man kunne forvente å finne av infrastruktur, og man kan derfor konkludere med at metoden fungerte relativt godt, selv om det alltid vil være usikkerhet knyttet til tolkninger og om signalet klarer å penetrere undersøkelsesmateriale. Det vanskeligste området å tolke var påvirket av et lag med leire. Dette ødela mye for våre forutsetninger til å se objekter. Dette viser veldig godt svakheten med å benytte georadar; Man har ingen garanti for oppløsning og kvalitet på data. Dette viser også at metoden alene ikke fungerer godt. Vi tror at georadaren ikke vil kunne erstatte de tradisjonelle metodene for kartlegging, men har potensiale til å være et godt supplement for å sikre gode grunnlagsdata.

## 6.4. DATAFLYT

De nyere programmene for tolkning av radardata gjør arbeidet enklere, men det kreves fortsatt kunnskap for å kunne tolke noe fornuftig ut av datasettet. Programmet vi benyttet i vår tolkning er godt utviklet og inneholder mange nyttige funksjoner som letter arbeidet med prosessering og tolkning. 3DR Examiner har et moderne brukergrensesnitt og programmet har gjort klart for import av andre radarformater enn de man får ut fra 3D Radars antenner. Begrensningene rundt bruk av programvare i dette prosjektet var rettet mot våre forutsetninger til å lære å benytte programvare og lære å tolke data.

For at radar-data skal kunne brukes i bransjen er det viktig at de tolkede dataene skal kunne legges inn i eksisterende modeller for prosjekter. Her er det viktig at data og informasjon ikke går tapt mellom ulike programmer. 3DR Examiner kan man blant annet eksportere til DWG og DXF. Det vil dermed ikke være noe problem å få data eksportert videre til IFC-formatet og BIM-programvare. Med eksport til CAD-programmer vil det heller ikke være problem med å benytte dataene ute på anlegg i ulike landmålingsprogrammer eller for maskinstyring. Utveksling av informasjon via DWG og DXF gjøres ved gruppering av objekter gjennom lagenes navn. Dette er en begrensning med CAD-tegninger som utvekslingsformat av informasjon i tilknytning til dataene. Begrensningene er velkjent og håndteres av de som genererer dataene og de som bruker de.

Programvaren kan også eksportere geo-refererte raster-bilder. Disse kan legges inn som bakgrunnsbilder i CAD-programmer. Vi har også mulighet til å gjøre enkle visualiseringer i "allmenne" programmer som Google Earth, i KMZ-formatet. Ved eksport av numeriske høyder kan man lage enkle 3D-visualiseringer i MathLab eller Microsoft Excel. Det er en stor fordel, i og med at man ikke trenger dyre lisenser eller installasjon av store programmer for å få innsyn i data.

Per i dag er det ikke mulig i 3DR Examiner å eksportere objekter digitalisert på grunnlag av georadar-dataene via SOSI-formatet, hvor en spesifiserer datakilde som georadar. Dataene ville da kunne legges rett inn i enhver SOSI-database.

## 6.5. BRUK AV GEORADAR

Georadar kan benyttes i flere faser av et bygg og anleggsprosjekt, og vil i sin helhet bidra til å fjerne usikkerhet rundt posisjonering av objekter i undergrunnen. Vi mener at georadaren har potensiale

til å være ressurs sparende, i alle prosjektets faser.

### 6.5.1. PROSJEKTERING

I prosjekteringsfasen vil georadarundersøkelser hjelpe oss å kartlegge infrastruktur, finne grunnfjelllets topologi og se lagdelinger i undergrunnen. Radardataene kan brukes i ulike modeller, som videre danner grunnlag for kostnadsoverslag og kalkyler. Kjennskap til ulike lagdelinger i grunnen vil gjøre at prosjektets masseberegning blir optimalisert. Her får man mulighet til å prosjektere vei og bygninger etter grunnforhold. Grunnarbeidet og masseforflytting kan med dette holdes til et minimum.

Testprosjekter gjort av Sweco i Vestre Korridor viser at undersøkelser med georadar i kombinasjon med eksisterende metoder fungerer godt for å kartlegge grunnforhold. Forsøket deres har så langt vist at masseberegningene holder seg innenfor 5-10% av det som ble beregnet i prosjektets kalkyler (Sweco, Vedlegg A A.3).

Georadar kan være med på å senke risikoen for byggherre og entreprenør, ved at prissetting og kalkyler vil være mer korrekt. Vi vet i dag at bransjen opererer med en risikomargin på opp mot 30 % av budsjettet (Jernbaneverket, Vedlegg A. A.1). Det er snakk om mye penger selv for mindre bygg og anleggsprosjekter. Knapphet på ressurser gjør at man ønsker en optimalisering av de ressurser man har, og vi tror her at georadaren kan bidra til bedre planlegging av bygg og anleggsprosjekter.

Metoden er relativt billig sammenlignet med de mer tradisjonelle metodene som benyttes i dag. Det er også dyrt for både byggherre og entreprenører å grave over viktig infrastruktur i bakken. Dette kan føre til store overskridelser og forsinkelser i bygg og anleggsprosjekter. Feilgravinger kan også påvirke deler av samfunnet, og i verste fall være forskjell på liv og død. Georadaren vil kunne hjelpe med å fjerne usikkerheten rundt gravearbeider.

Selv om georadaren gir oss gode indikasjoner på omfanget til masser ligger det fortsatt en stor usikkerhet i hva man faktisk kan se ut fra dataene, og rekkevidden på radarmålingene. Igjen vil vi påpeke at georadaren anbefales brukt i kombinasjon med andre metoder for å fjerne noen av usikkerhetene.

### 6.5.2. UTFØRING

Georadaren kan brukes til inspeksjon underveis i gravearbeider og arbeid med trauing av grunn. På grunn av begrensningene ved georadarens dybdemålinger, kan man, om man kommer til et felt hvor en må grave forsiktig, grave vekk et sjikt for deretter å bruke georadar for å påvise objekter i grunnen. Dette vil for eksempel være relevant dersom man møter på områder med leire, og hvor radarmålingene ikke klarer å penetrere bakken.

### 6.5.3. ETTERTID

Georadaren kan benyttes i ettertidsfasen av prosjekter for å blant annet sjekke målebrev. Det er vanlig at entreprenører jobber ut fra kontrakter som baseres på mengder (kubikk) når det er snakk om masser. Her vil georadar hjelpe byggherre med å kontrollere at massene stemmer overens med det som ble fakturert. Georadar kan dokumentere ulike lag i en veg når den er ferdig bygd for å sjekke at vegoppbyggingen er riktig, eller som tilstandsvurdering på gamle veier. Den største fordelene med georadar i bruk ved tilstandskontroll er at man ikke trenger å gjøre fysiske inngrep.

Georadaren kan som nevnt også brukes for å gi input til mengdeberegning. Men den kan ikke brukes ene og alene, da dataene må kalibreres mot f.eks innmålte flater, eller fysiske prøver, for å gi et sikkert resultat. Dette er noe av det som taler i mot bruken av georadar.

Dersom Skanska tar i bruk georadar vil de også ha mulighet til å lage historiske databaser med radardataene. Dette åpner muligheter for å lage 4-D modeller av endringsvisualiseringer over et gitt tidsintervall i et område.



# 7

## KONKLUSJON

### 7.1. KONKLUSJON

*"Hvordan kan Skanska effektivt bruke georadar i sine prosjekter?"*

Etter å ha vært gjennom prosessen fra idé til ferdige tolkninger og data i XYZ har vi sett at georadar egner seg godt som datainnsamlingsmetode. Metoden er rask og kan enkelt dekke store områder. En sammenligning med tilsvarende metoder, viser klare fordeler som taler for mer bruk av georadar. Her nevnes blant annet at radaren kan brukes uten fysiske inngrep i naturen, og vil derfor være en bærekraftig og miljøvennlig metode. Spesielt er dette viktig i urbane områder, der man vil unngå stengte veier, forsinkelser og lange utgravninger.

Det vil være viktig å strukturere dokumentasjon av det som blir lagt i bakken, og styre utviklingen av undergrunnen med tanke på fremtidig bærekraftighet. Dette er anbefalt gjort gjennom å konsekvent dokumentere alle elementer som graves ned i bakken, samt at informasjon i større grad samordnes i databaser. Arbeid som allerede pågår med dette er SOSI-ledningsnett og NADAG-databasen for grunnboringer.

For å svare på problemstillingen vår "Hvordan kan Skanska effektivt bruke georadar i sine prosjekter?" har vi sett på våre resultater fra feltarbeidet, samtaler med bransjen og koblet disse opp mot teorigrunnlaget. Hva som menes med effektiv bruk er at man kjenner til mulighetene og begrensningene. I det ligger forståelsen av metodens fordeler og ulemter, og dermed kunnskaper om hvor det vil lønne seg å ta i bruk metoden. Dette kan oppnås gjennom flere forsøk som referanse og som bekrefter potensialet til metoden.

Georadar er i dag ikke en standard metode i bransjen. De fleste har ikke kompetanse til å bruke metoden, og har heller ikke verktøy for å begynne å bruke den. Bransjen vil ofte ha sterke bevis og argumenter før de bruker ressurser på å implementere en metode. De økonomiske fordelene ved å benytte georadar kontra andre metoder har vi valgt å ikke gå dypere inn på enn eksemplet fra Sweco, der de antok at størrelsen på besparelsen var i millionklassen (Sweco, Vedlegg A. A.3).

Georadaren kan ikke brukes alene som metode. Konklusjonen er at metoden fungerer godt og gir sikrere resultater i kombinasjon med andre metoder som finnes i dag. Vi tror at vanlig kabelpåvisning og grunnboringer for kalibrering av radardata vil gi den beste kombinasjonen for å avdekke grunnforhold i prosjekter. Vårt forsøk viser muligheter og begrensninger med georadar som innsamlingsmetode. Håpet er at utstyr vil få forbedringer, som gjør at objekter som ligger dypt blir enklere å tolke ut fra dataene.

Georadar har et stort potensiale i bygg og anleggsbransjen. Innføring av denne typen teknologi vil føre til bedre planlegging og prosjektering, og vil i sin helhet spare byggherre og entreprenør for tid og penger.

## 7.2. VEIEN VIDERE I SKANSKA

Gjennom dette prosjektet har vi oppnådd et godt resultat under feltarbeidene. Vi har kartlagt fordeler og ulemper med bruk av metoden i bygg og anleggsbransjen. Vi legger her føringer for om metoden anbefales brukt, og da spesielt av Skanska som en av de ledende entreprenører i Norge.

Skanska ønsket gjennom dette prosjektet å finne ut om georadar kunne benyttes for å lokalisere rør, kabler og konstruksjoner, og ikke minst finne topografien til grunnfjell og andre lagdelinger under bakken. Det var det også viktig å se på om utstyr og programvare var utviklet nok til å utføre undersøkelser og tolkninger på en effektiv måte. Hva som menes med effektiv datainnsamling er at det etableres gode rutiner, måleteknikker og arbeidsprosesser. Dette oppnås gjennom testing og bygging av en erfaringsbank. Skanska vil gjennom bruk av metoden tilegne seg mer kunnskap om grunnforhold i prosjektområder.

Skanska kan effektivt ta i bruk georadar i sine prosjekter ved å innse potensialet til metoden, og se at georadaren kan være med på å fjerne usikkerhet rundt masser og infrastruktur i bakken. Vi oppfordrer Skanska til å utføre nye testforsøk, selv om de også selv må ta høyde for at de videre undersøkelsene kanskje ikke gir noen svar. Skanska har ressursene som skal til, og noen i bransjen må satse for at teknologien skal utvikles og bli mer åpen for allmenn bruk.

Prosjektet vårt skrapper bare overflaten på et stort fagområde der det er gjort mye bra forskningsarbeid. Vi ser ingen grunner til at georadar som metode ikke vil fungere i bygg og anleggsbransjen, siden metoden er effektivt brukt i andre fagområder.

# LITTERATURLISTE

- Skanska, *Om skanska*, <http://www.skanska.no/no/0m-Skanska/> (2015), [Online; accessed 10-Mars-2015].
- D. Goodman and S. Piro, *GPR Remote Sensing in Archaeology, Geotechnologies and the Environment* (Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2011).
- D. J. Daniels, *Ground Penetrating Radar*, 2nd ed. (Knoval (Institution of Engineering and Technology), London, England, 2004).
- I. L. Solberg, A. S. Nossun, and P. Ryhaug, *Utvikling av Nasjonal database for grunnundersøkelser (NADAG)*, Artikkel, Kart og Plan vol. 74, POB 5003, NO-1432 Ås (Norges Geologiske Undersøkelse (NGU), Norge, Bergen, 2011).
- J. J. Daniels, *Ground Penetrating Radar Fundamentals*, Vedlegg til rapport til U.S. EPA (Department of Geological Sciences, The Ohio State University, USA, 2000).
- A. Stamnes and L. Gustavsen, *A sense of the past. studies in current archaeological applications of remote sensing and non-invasive prospection methods - a review*, in *BAR International Series nr. 2588*, edited by A. Posluschny, M. Gojda, and H. Kamermans (Archaeopress, Oxford, 2014).
- A. Stamnes and A. Avlesen, *Georadarundersøkelse ved Mogreina kraftstasjon, Rjukan, Tinn kommune i Telemark*, Geofysisk rapport 2011/716211 (NTNU, Vitenskapsmuseet, Norge, 2011).
- 3D-Radar, *About 3d-radar*, [http://www.3d-radar.com/?page\\_id=866](http://www.3d-radar.com/?page_id=866) (2015), [Online; accessed 10-Mars-2015].
- G. Elden, *Høvik stasjon - historisk tilbakeblikk*, <http://www.jernbaneverket.no/no/Prosjekter/Prosjekter/Hovik-stasjon/Prosjektartikler/Hovik-stasjon--historisk-tilbakeblikk> (2015), [Online; accessed 16-Februar-2015].
- O. Nordli, *Dette er høvik stasjon*, <http://www.jernbaneverket.no/no/Prosjekter/Prosjekter/Hovik-stasjon/Prosjektartikler/Dette-er-Hovik-stasjon/> (2015), [Online; accessed 16-Februar-2015].
- A. Johannesen, P. A. Tufte, and L. Christoffersen, *Introduksjon til Samfunnsvitenskapelig Metode*, 4th ed. (Abstrakt Forlag, Norge, 2011).
- O. Dalland, *Metode og Oppgaveskriving* (Gyldendal Akademisk Forlag, Norge, 2012).
- T. H. Aase and E. Fossåskaret, *Skapte Virkeligheter* (Universitetsforlaget, Norge, Oslo, 2007).
- A. P. Annan, *Gpr - history, trends and future developments*, Sensors and Software Inc (2002).
- E. Muring, J. Koziel, T. Lauritsen, J. Rønning, and J. Tønnesen, *Målinger med Georadar - Teori, Anvendelse, Teknikker og Eksempler på Opptak*, Geofysisk rapport 94.024/63.2586.00 (Norges Geologiske Undersøkelse (NGU), Trondheim, Norge, 1995).
- B. Myhre, *Innberetning om utgravning av områder hvor magnetometeret ga utslag. sørheim, gnr. 36 bnr. 12*, Top. ark. Bergen Museum (1968).

- L. Gustavsen, K. Paasche, and O. Risbøl, *SVV - Rapport 192 Arkeologiske Undersøkelser*, NPRA Rapport (Statens Vegvesen, Miljøseksjonen, Norge, 2013).
- Vegdirektoratet, *Håndbok nr. V770 - Modellgrunnlag - Krav til grunnlagsdata og modeller*, Håndbok (2014).
- T. A. Kristoffersen, *Håndbok - Digital planlegging i Jernbanelivet*, STY-600239, Håndbok (2013).
- Kartverket, *Fagområde: Ledningsnett v4.0, SOSI Standard - Generell objektkatalog* (Hønefoss, 2006).
- B. Laberg, *Underjordisk milepæl*, VVS Aktuel, Byggfakta DOCU (2012).
- E. Schnebele, B. Tanyu, G. Cervone, and N. Waters, *Review of Remote Sensing Methodologies for Pavement Management and Assessment*, Artikkel publisert gjennom SpringerLink (Department of Geography and Institute for CyberScience, Pennsylvania State University, Pennsylvania, USA, 2015).
- Kartverket, *Cpos*, <http://kartverket.no/posisjonstjenester/cpos/> (2015), [Online; accessed 17-Mars-2015].
- A. Grimsæth, *Vi har funnet kongens lik i kirkeveggen*, [http://www.nrk.no/hordaland/\\_-vi-har-funnet-kongens-lik-1.8092496](http://www.nrk.no/hordaland/_-vi-har-funnet-kongens-lik-1.8092496) (2012), [Online; accessed 29-April-2015].
- I. Hoff, *Undersøkelse av tunneler*, <http://www.sintef.cn/globalassets/upload/byggforsk/fagartikler/byggeindustrien/06-09-georadar.pdf> (2009), [Online; accessed 28-April-2015].
- E. Eide, I. Hoff, and E. Værnes, *Undersøkelse av Ballast under Jernbane ved hjelp av Georadar*, SINTEF Rapport STF22 A01319 (2001).
- E. Mehren, *Politiet om vålnes-saken: -vi kan ikke ha for høye forhåpninger*, [http://www.nrk.no/troms/politiet-om-valnes-saken\\_-\\_vi-kan-ikke-ha-for-hoye-forhapninger-1.12333494](http://www.nrk.no/troms/politiet-om-valnes-saken_-_vi-kan-ikke-ha-for-hoye-forhapninger-1.12333494) (2015), [Online; accessed 29-April-2015].



## INTERVJU MED BRANSJEN

### A.1. INTERVJU MED JERNBANEVERKET DEN 09. APRIL 2015

Vi hadde 9. april fremføring av status for prosjektet for de ansatte ved Jernbaneverkets anleggskontorer på Høvik Stasjon. Etter presentasjonen fikk vi anledning til å stille noen spørsmål rettet mot Jernbaneverkets erfaringer og hvilke data som danner grunnlaget for prosjekteringen ved deres prosjekter. Videre presenteres sammendrag fra gruppesamtalen.

Tilstede: Tor Espeland, Gisle Melkild Hustavnes, Jan Nondal, Kåre Digernes, Marigonë Selimi, Anders Avlesen, Sandra Jensen

#### A.1.1. GRUNNLAGSDATA PÅ HØVIK

Data som danner grunnlaget for jernbaneverkets prosjekter er eksempelvis digitale kart (FKB), bane-data, data fra ulike kabeletater, data fra vann og avløps-etater, prøveboringer (opp til 30 meters dybde på Høviks prøveboringer), prøvegravinger og miljøprøver. Nøyaktigheten på disse dataene varierer veldig fra eier til eier. Vanlig prosedyre for kabelpåvisning er å peile etter kabler og rør med metaldetektorer. Peiling etter ikke-metalliske rør gjøres med å tre metallpinner inn i kabelkanaler for å så peile med en metalledetektor. Dette var problematisk i forhold til lokalisering av fiberkablene som Vegvesenet hadde gravd ned langs E18. Her hadde man ikke mulighet til å peile, eller tre inn metallpinner og fiber gir ingen utslag på noen detektorer.

Prosesen i forkant av byggestart gjøres normalt gjennom utarbeidelse fra hovedplanen til Jernbaneverket. Videre prosjekteres det ulike forslag til løsninger. Forslagene som velges blir regulert inn i reguleringsplanen i kommunestyret. Videre tar Jernbaneverket kontakt med kabelselskap og andre aktører som har aktivitet på området (eks. Vegvesenet siden det er avkjørsel til e18 og ny rundkjøring i planområdet). Jernbaneverket er byggherre på Høvik stasjon og har dermed overordnet ansvar for å ta kontakt med alle etater som er i kontakt med prosjektområdet, for å få utført kabelpåvisning og få samlet grunnlagsdata som skal ligge til grunn for prosjektering. Jernbaneverket (og bransjen generelt) opererer med en risikomargin på opp mot 30 % av kontraktsum. Grunnprøver på høvik har kostet mellom 3-5 millioner NOK.

Jernbaneverket uttrykket sin interesse for å innføre bruk av georadar i sine prosjekter i samarbeid med etablerte metoder for å sikre gode grunnlagsdata. De syntes at det ville vært interessant å prøve ut georadar i ett av sine prosjekter for å se hvor godt dette fungerer som metode. De ønsker selvsagt å vite hvor mye slike undersøkelser koster og hvor mye de ville spart på dette i forhold til uforutsette utgifter.

## A.2. SKANSKA

Sammendrag av feltintervju med Anders Avlesen:

Grunnfjellboringer skjer tradisjonelt med få punkter og lange avstander mellom punktene. I prosjekteringsarbeidet dras det en parallell mellom grunnboringene fra overflatelinjen. Dette gjør at det er store forskjeller mellom prosjekterte mengder og faktiske mengder. Dette fører igjen til usikkerhet i prissetting. Grunnlagsdata baserer seg desverre ofte på gamle data. Georadar bør ikke benyttes alene som metode. Her bør det gjøres kalibrering opp mot geotekniske prøver. Kombinert vil georadar sammen med andre metoder fungere godt.

Klassisk problemstilling er å vite mest mulig om massebalansen i et prosjekt før oppstart. På grunnlag av det kan man lage en god produksjonsplan. Grunnlagsdataene blir bedre og bedre, men vi ser at det fortsatt gjøres antagelser og forenklinger for å lage grunnlagsmodeller, isteden for å bruke ulike kompletterende metoder som for eksempel grunnboringer og georadar.

Sammendrag av mail-korrespondanse med Trond Petter Eide, Leder for Skanska Survey: Gode grunnlagsdata er et tema som er svært sentralt og som opptar Skanska i stor grad i våre prosjekter. Vi har tidligere undersøkt mulighet for å bruk georadar til slikt formål, men på det tidspunktet var teknologi og tolkningsmuligheter ikke «modne» til vårt formål. Det kan hende at dette har endret seg noe til nå. Konklusjonen tidligere har vært at teknologien ikke har vært automatisert nok for å gi praktisk bruksverdi (i form av geometriske data) for Skanskas prosjekter, men at teknologien absolutt har potensiale også innefor vår bransje. Prosjektet er en test av modenhet til georadar sett fra landmåler-perspektiv.

## A.3. INTERVJU MED SWECO

Vi hadde et intervju med Terje Glad i Sweco den 28.04.15 ute på deres kontorer på Vækerø i Oslo. Her er referat fra møtet:

Sweco har nylig benyttet georadar i et prosjekt som ble utført for Statnett i arbeidet med å oppgradere linjene i den vestre korrideren. Her ble georadar benyttet sammen med andre tradisjonelle metoder som grunnboringer og prøvegravinger. Borepunktene ble lagt i ulike akser med 25x25 meters avstand og målingene med georadar ble gjort for å treffe på de nevnte borepunktene og videre brukes som kalibrering av radardata. Utstyr og operatør ble leid inn av ScanSurvey. Georadar bidro

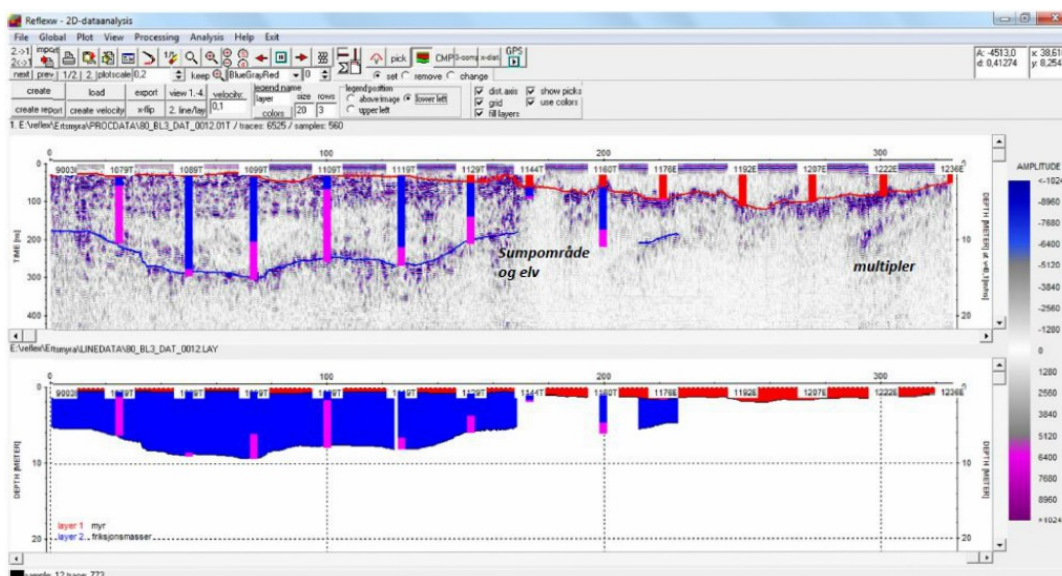


Figure A.1: Georadardata sammen med grunnboringer. Gjengitt med tillatelse fra Terje Glad, Sweco.

til et bedre prosjekteringsgrunnlag, og var et fint supplement til grunnboringene. Georadaren

gjorde det lettere å lage en god massebalanse i prosjektet. Vanlig praksis er at man har en usikkerhetsmargin på 30%. I dette prosjektet strebet vi etter en optimal massebalanse, og opplevde at georadar var med på å gjøre kalkylen mer nøyaktig. Her var vi innenfor 5-10% avvik i antatt og faktiske masser.

Vi jobber nå med å finne ut om georadar kan benyttes for kartlegging av sjøbunn på vinterstid på is, istedenfor å bruke ekkolodd som krever båt med gyro-stabilisator. Georadar vil ha en stor fordel i mobilitet da utstyr for kartlegging med ekkolodd ofte må fraktes opp på fjellet med helikoptertransport.

Vi i Sweco merker økende interesse blant våre kunder. Samtidig er også vanskelig å selge inn en metode som ikke har noen garantier for kvalitet. Det ligger alltid en usikkerhet i tolkningene. Vi ønsker å redusere risiko for våre kunder ved å bedre bestemme grunnforholdene i prosjektområder.

Hva skal til for å få bransjen til å utføre flere prosjekt med georadar? Det som skal til for at bransjen i større grad benytter georadar er at det blir en større sikkerhet i målingene. Viktig å få til noen prosjekter nå som kan vise hvor effektivt bruken av georadar kan være. Med slike eksempel vil det være lettere å råde oppdragsgiver til å sette av penger til undersøkelser med georadar. Her burde byggherrer også stille strengere krav til kvaliteten på grunnlagsdata. Bedre data vil si redusert risiko for kunder, bedre kalkyler og bedre utnyttelse av masser.





# B

## PROSJEKTPLAN OG ARBEIDSLOGG

### B.1. PROSJEKTPLAN

Flytdiagrammet i figur B.1 viser de ulike faser ved prosjektoppgaven. Som vi kan se overlapper mange av fasene hverandre.

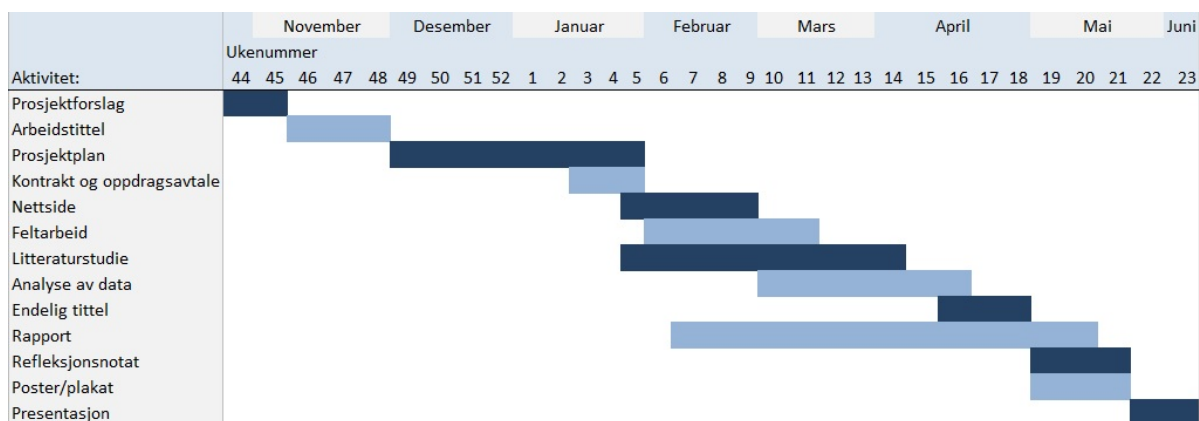


Figure B.1: Flytdiagram som viser tidsdisposisjonering for utførelse av prosjekt.

### B.2. ARBEIDSLOGG

Det utført arbeid hver uke i henhold til flytdiagrammet. Arbeidsloggen inneholder de viktigste.

Uke	Oppgaver
Uke 3	Oppstart av prosjektet. Startet arbeidet med prosjektplan. Opprettet nettside: hovedprosjekter.hig.no/v2015/tol/geo/georadar/.
Uke 4	Første møte med veileder på HIG, Rune Ødegård. Arbeidet med prosjektplan. Sendt kontrakt for signering til Skanska. 3D-Radar invitert inn i prosjektet.

<b>Uke</b>	<b>Oppgaver</b>
Uke 5	Levert ferdig prosjektplan og signert kontrakt fra Skanska. Tildelt lisens for 3DR Examiner, og fått tilgang på testdata. Innlevering av prosjektplan.
Uke 6	Besøkte 3D-Radars kontorer i Oslo. Her fikk vi undervisning om georadar og georadarens signaler, samt oppstartshjelp i 3DR Examiner.
Uke 7	Programmering av nettside.
Uke 8	Har vært i Oslo på sikkerhetskurs hos Jernbaneverket.
Uke 9	Befaring på Høvik stasjon med Jacopo Sala og Anders Avlesen. Utformet måleplan for feltarbeidene. Begynte med å lage struktur av prosjektrapport i L <sup>A</sup> T <sub>E</sub> X.
Uke 10	Utførelse av målinger på Høvik den 03. mars.
Uke 11	Møte med 3D Radar. Fikk veiledning om analyse og tolkning av målinger. Møte med veileder Rune Ødegård på HIG.
Uke 12	Jobbet med analyse av målinger. Deltok på geomatikkdagene på Lillehammer 17-19. mars.
Uke 13	
Uke 14	Rapportskriving og tolkning av målinger. Forberedelse av fremføring for Jernbaneverket.
Uke 15	Presentasjon hos Jernbaneverket(JBV), fremlegging av resultater av våre målinger på Høvik. Gruppesamtale med JBV på Høvik om georadar og grunnlagsdata på Jernbaneverkets prosjekter.
Uke 16	Møte med veileder på HIG, Rune Ødegård. Arbeid med sammenligning av as built-data og våre målte data.
Uke 17	Arbeid med rapportskriving.
Uke 18	28. april møte og intervju med Sweco. 29. april møte med 3D-Radar, gjennomgang av data og rapport.
Uke 19	Modellering av resultater fra programvare.
Uke 20	Rapport levert

# C

## PROSJEKTAVTALE



HØGSKOLEN I GJØVIK

### PROSJEKTAVTALE

mellom Høgskolen i Gjøvik (HiG) (utdanningsinstitusjon),

Skanska Norge AS (oppdragsgiver), og

Sandra Kaurine Jensen  
Marigone Selimi (student(er))

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

1. Studenten(e) skal gjennomføre prosjektet i perioden fra 19.01.2015 til 06.06.2015.

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

2. Kostnadene ved gjennomføringen av prosjektet dekkes på følgende måte:
  - Oppdragsgiver dekker selv gjennomføring av prosjektet når det gjelder f.eks. materiell, telefon/fax, reiser og nødvendig overnatting på steder langt fra HiG. Studentene dekker utgifter for trykking og ferdigstillelse av den skriftlige besvarelsen vedrørende prosjektet.
  - Eiendomsretten til eventuell prototyp tilfaller den som har betalt komponenter og materiell mv. som er brukt til prototypen. Dersom det er nødvendig med større og/eller spesielle investeringer for å få gjennomført prosjektet, må det gjøres en egen avtale mellom partene om eventuell kostnadsfordeling og eiendomsrett.

3. HiG står ikke som garantist for at det oppdragsgiver har bestilt fungerer eller hensikten, ei heller at prosjektet blir fullført. Prosjektet må anses som en eksamensrelatert oppgave som blir bedømt av faglærer/veileder og sensor. Likevel er det en forpliktelse for utøvelse av prosjektet å fullføre dette til avtalte spesifikasjoner, funksjonsnivå og tider.

4. Den totale besvarelsen med tegninger, modeller og apparatur så vel som programlisting, kildekode, mv. som inngår som del av eller vedlegg til besvarelsen, gir det en kopi av til HiG, som vederlagsfritt kan benyttes til undervisnings- og forskningsformål. Besvarelsen, eller vedlegg til den, må ikke nyttes av HiG til andre formål, og ikke overlates til utenforstående uten etter avtale med de øvrige parter i denne avtalen. Dette gjelder også firmaer hvor ansatte ved HiG og/eller studenter har interesser.

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

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

5. Besvarelsens spesifikasjoner og resultat kan anvendes i oppdragsgivers egen virksomhet. Gjør student(en) i sin besvarelse, eller under arbeidet med den, en patentbar oppfinnelse, gjelder i forholdet mellom oppdragsgiver og student(er) bestemmelsene i Lov om retten til oppfinnelser av 17. april 1970, §§ 4-10.

6. Ut over den offentliggjøring som er nevnt i punkt 4 har student(en) ikke rett til å publisere sin besvarelse, det være seg helt eller delvis eller som del i annet arbeide, uten samtykke fra oppdragsgiver. Tilsvarende samtykke må foreligge i forholdet mellom student(er) og faglærer/veileder for det materialet som faglærer/veileder stiller til disposisjon.

7. Student(en) leverer 3 - tre - eksemplarer av oppgavebesvarelsen med vedlegg til Studenttorget. I tillegg leveres et eksemplar til oppdragsgiver. HiG kan stille til disposisjon ytterligere eksemplar(er) for oppdragsgiver mot at denne godtgjør produksjonskostnadene.

8. Denne avtalen utfordiges med et eksemplar til hver av partene. På vegne av HiG er det dekan/prodekan som godkjenner avtalen.

9. I det enkelte tilfelle kan det inngås egen avtale mellom oppdragsgiver, student(er) og HiG som nærmere regulerer forhold vedrørende bl.a. eiendomsrett, videre bruk, konfidensialitet, kostnadsdekning og økonomisk utnyttelse av resultatene.

Dersom oppdragsgiver og student(er) ønsker en videre eller ny avtale, skjer dette uten HiG som partner.

10. Når HiG også opptrer som oppdragsgiver trer HiG inn i kontrakten både som utdanningsinstitusjon og som oppdragsgiver.

11. Eventuell uenighet vedrørende forståelse av denne avtale løses ved forhandlinger avtalepartene i mellom. Dersom det ikke oppnås enighet, er partene enige om at tvisten løses av voldgift, etter bestemmelsene i tvistemålsloven av 13.8.1915 nr. 6, kapittel 32.

12. Deltakende personer ved prosjektgjennomføringen:

HiGs veileder (navn): Rune Strand Ødegaard

Oppdragsgivers  
kontaktperson (navn): Anders Aulsen

Student(er) (signatur): Sandra Karine Jensen dato 19/01-15  
[Signature] dato 19/01-15  
 \_\_\_\_\_ dato \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_ dato \_\_\_\_\_

Oppdragsgiver (signatur): Anders Aulsen dato 28.01.15

TØL Dekan/prodekan (signatur): Torbjørn Kravdal dato 2.2.15