

Positionering af underjordiske objekter



Landinspektørstudiet - Aalborg Universitet

10. semester - juni 2009

Projektgruppe MS10-03

Kathrine Pinholt

Landinspektøruddannelsen

Aalborg Universitet

10. semester

Fibigerstræde 11

9220 Aalborg Ø

Tlf. 9940 8341

<http://lsn.aau.dk>

Titel: Positionering af underjordiske objekter

Projektperiode: 2. februar - 10. juni 2009

Projektgruppe: MS10-03

Kathrine Pinholt

Vejledere:

Carsten Bech

Peter Cederholm

Oplagstal: 4

Sideantal: 119

Bilagsantal og -art: 9 bilag og 1 appendiks vedlagt på 1 DVD,
heraf 1 bilag desuden vedlagt som papirudgave.

Afsluttet den: 10. juni 2009

Rapportens indhold er frit tilgængeligt, men offentliggørelse (med kildeangivelse) må kun ske efter aftale med forfatteren.

Synopsis

Dette afgangsprøjsjekt omhandler metoder til kortlægning af underjordiske ledninger. Der er som udgangspunkt taget en bred indgangsvinkel til kortlægningen af alle slags rør og kabler. I projekts foranalyse gøres der rede for argumenterne for at registrere ledningsoplysninger, samt hvorledes delingen af disse informationer håndteres i dag i Danmark. Desuden behandles tre eksisterende kortlægningsløsninger: Radiodetection, PipeTrack og Ground penetrating radar. Til projekts videre arbejde vælges metoden Ground penetrating radar, i form af udstyret IDS Detector Duo, der ønskes vurderet gennem en empirisk undersøgelse. Dataindsamlingen gennemføres på to områder i Doha, Qatar. I denne undersøgelse vælges det at fokusere på udstyrets nøjagtighed, præcision, dimensionsbestemmelse, fuldstændighed og brugervenlighed. Undersøgelsen giver et skuffende resultat for udstyrets nøjagtighed og tilfredsstillende resultater for de øvrige dele af arbejdet.

Abstract

This master thesis deals with methods for mapping underground utilities. A wide approach to mapping of all kinds of pipes and cables is chosen as a point of departure for the project. In the preliminary analysis the pros of recording information about utilities is argued and the Danish solution with information sharing is explained. Furthermore three existing mapping methods are described: Radiodetection, PipeTrack and Ground penetrating radar. For the following work the method Ground penetrating radar is chosen, as the IDS Detector Duo is used to conduct an empirical study. The data collection is carried out in two sites in Doha, Qatar. In this study focus is put on the accuracy, precision, determining of dimension, completeness and user-friendliness of the equipment. The study turns out a disappointing result for the accuracy of the equipment and satisfying results for the remaining parts of the work.

Forord

Denne projektrapport er udarbejdet af projektgruppe 3 på landinspektøruddannelsens 10. semester 2009. Dette er et afgangsprojekt på specialiseringen Measurement Science, og projektperioden løber fra 1. februar til 10. juni 2009.

Kilder angives efter Harvardmetoden, hvilket vil sige, at kun forfatterens efternavn, årstal for udgivelse og evt. sidetal er anført i teksten. Har kilden flere forfattere angives det første efternavn i henvisningen. Der henvises til hjemmesider med en forkortelse. Yderligere oplysninger om kilder kan findes i litteraturlisten.

Figurer er nummereret fortløbende i hvert kapitel. Det vil sige, at figur 2 i kapitel 4 er angivet som Figur 4.2. I figurteksten er angivet kilde til illustrationen.

Bilag og appendiks er placeret på den medfølgende DVD, desuden er et bilag vedlagt rapporten i papirudgave. Bilag er nummereret fortløbende med et enkelt bogstav, og appendiks er nummereret med et enkelt tal.

Der rettes en speciel tak til COWI Qatar for udlån af udstyr til dataindsamlingen.

På forsiden ses et billede af IDS Detector Duo taget under dataindsamlingen.

Indhold

1	Indledning.....	1
2	Baggrund.....	3
2.1	Kilde til interessen	3
2.2	Formålet med ledningsregistrering	4
2.3	Ledningsejerregistret, LER	6
2.4	Initierende problem	7
3	Metode	9
3.1	Problemorienteret projektarbejde	9
3.2	Projektarbejdets forløb	11
3.3	Systemudvikling	12
3.4	Projektstruktur	15
4	Kravspecifikation	19
4.1	Primære krav	19
4.2	Sekundære krav	20
5	Eksisterende løsninger	21
5.1	Radiodetection	21
5.2	PipeTrack.....	25
5.3	Ground Penetrating Radar	27
5.4	Opsamling.....	31
6	Problemafgrænsning.....	33
6.1	Problemformulering	34
7	Analysestruktur.....	35
8	Ground Penetrating Radar – Teknologi	37
8.1	Betingelser for anvendelse	37
8.2	Teori.....	39
8.3	Opsamling.....	43
9	Tidligere test	45
9.1	Danmarks Tekniske Universitet.....	45
9.2	Opsamling.....	46
10	Metode for test.....	49
10.1	Test struktur	49
11	Testelementer	53
11.1	Ønsker til test	53
11.2	Opsamling.....	54
12	Valg af udstyr	55

12.1	Ground Penetrating Radar	55
12.2	GPS	58
12.3	Opsamling.....	60
13	Valg af testområde.....	61
13.1	Ideelt testområde.....	61
13.2	Testområder	63
13.3	Opsamling.....	67
14	Afgrænsning.....	69
14.1	Muligheder	69
14.2	Fravalgte testelementer	70
14.3	Opsamling.....	70
15	Praktiske forsøg	73
15.1	Nøjagtighed, plan- og højde-.....	73
15.2	Dimension.....	73
15.3	Præcision, plan- og højde-	74
15.4	Fuldstændighed.....	74
15.5	Anvendelighed	74
15.6	Opsamling.....	75
16	Indsamling af kontrolmateriale	77
16.1	Testområde 1 – Musaimeer Street	77
16.2	Testområde 2 – Lusail	80
16.3	Opsamling.....	81
17	GPR dataindsamling.....	83
17.1	Positionering af udstyret	83
17.2	Dataindsamlingsmetoder.....	84
17.3	Testområde 1 – Musaimeer Street	86
17.4	Testområde 2 – Lusail	89
17.5	Opsamling.....	90
18	Databearbejdning	91
18.1	Nøjagtighed	91
18.2	Dimension.....	94
18.3	Præcision.....	95
18.4	Opsamling.....	96
19	Testresultater.....	97
19.1	Resultater	97
19.2	Vurdering af resultater	103
19.3	Opsamling.....	104
20	Konklusion	105
21	Perspektivering.....	107

22	Litteraturliste	109
22.1	Artikler.....	109
22.2	Bøger	110
22.3	Vejledninger og informationsmateriale	111
22.4	Internetsider	112
23	Bilag	115
23.1	Bilag C.....	117

1 Indledning

Dette projekt er udarbejdet som et afgangsprøve på specialiseringen Measurement Science på landinspektørstudiet. Ifølge studievejledningen har projektenheden følgende formål: "At dokumentere at den studerende er i stand til selvstændigt at planlægge og gennemføre et projektforløb på et højt fagligt niveau." Efter projektperioden kan det derfor forventes, at den studerende skal kunne:

- Redegøre for den valgte problemstillings relevans for uddannelsen, herunder præcist kunne redegøre for problemets kerne og den faglige sammenhæng, det optræder i.
- Redegøre for mulige metoder til at løse projektets problemformulering samt beskrive og vurdere den valgte metodes egnethed, herunder redegøre for valgte afgrænsninger og disses betydning for produktets resultater.
- Analysere og beskrive den valgte problemstilling gennem anvendelse af relevante teorier og empiriske undersøgelser.
- Beskrive den eller de anvendte teorier, således at teoriens særlige kendetegn fremdrages og herved dokumentere forståelse af den eller de anvendte teoris muligheder og begrænsninger.
- Analysere og vurdere resultaterne af empiriske undersøgelser, hvad enten der er tale om de studerendes egne eller andres undersøgelser, herunder vurdere undersøgelsesmetodens betydning for resultaternes validitet.
- Danne syntese mellem den faglige problemstilling, teoretiske og empiriske undersøgelser, samt foretage kritisk vurdering af den dannede syntese og projektarbejdets resultater i øvrigt.

Dette projekt tager afsæt i et problem, som landmålingsafdelingen i COWI Aalborg har overvejet. Klienter har efterspurgt en kortlægning af underjordiske objekter, herunder særligt rør og kabler. Denne problemstilling vil derfor være udgangspunkt for projektarbejdet, der vil forsøge at behandle nogle anvendelige metoder og teknikker. Særligt arbejdes der videre med et emne og en teknik, som den studerende stiftede bekendtskab med på 9. semester. I det følgende anvendes betegnelsen 'ledninger' som et overordnet udtryk, der omfatter såvel rør som kabler.

2 Baggrund

I dette kapitel præsenteres baggrunden for den valgte problemstilling. Dette sker for at godtgøre, at interesseområdet er et problem. Denne redegørelse indledes med en beskrivelse af COWI's interesse for emnet, der har været anledning til, at den studerende har valgt at beskæftige sig med netop denne problematik. Herefter vil formålet med ledningsregistrering generelt blive behandlet. På denne måde retfærdiggøres det, at det er nødvendigt at bruge ressourcer på at kortlægge og registrere informationer om de underjordiske ledninger. For at gøre det muligt at foreslå metoder og teknikker, der gør det muligt at kortlægge disse ledninger på en tilfredsstillende måde, er det nødvendigt at vide, hvordan problemet håndteres på nuværende tidspunkt. Derfor følger også en beskrivelse af ledningsejerregistret LER og dets anvendelse. Som resultat af disse indledende overvejelser og forhold formuleres det initierende problem, der vil være retningsgivende for foranalysen og dermed resten af projektet.

2.1 Kilde til interessen

Interessen for problematikken blev vagt i forbindelse med et projektforslag fra COWI's landmålingsafdeling i Aalborg. De blev kontaktet af en klient, der udfører videoinspektion af kloakledninger. De var interesserede i at gøre det muligt at positionere deres kameravogn under disse kloakinspektioner. Dette har to formål:

- At gøre det muligt at lokalisere eventuelle skader på ledningen i et referencesystem, der muliggør, at skadens position kan genfindes over jorden. På denne måde ved man mere præcist, hvor man skal etablere sin udgravning for at udbedre skaden. Dette vil altså lette gravearbejdet og minimere tidsforbruget ved sådanne forbedringer af ledningsnettet.
- At kunne kortlægge kameravognens vej og dermed ledningsnettets placering. Dette kunne forbedre ledningsejerens kortmateriale og dermed mindske risikoen for graveskader i forbindelse med anlægsarbejder i området.

Med dette som udgangspunkt kan man overveje kortlægning af også andre typer ledningsnet, hvilket vil sige både kabler og rørføringer. Idet det selvsagt ikke er muligt eller hensigtsmæssigt at sende en kameravogn igennem andre typer ledninger end kloakledninger kunne det være interessant at betragte problemet fra et mere overordnet synspunkt. Hermed menes, at gøre det muligt at kortlægge ledninger uafhængigt af type, størrelse eller anvendelse. Det vurderes, at en sådan kortlægning bør udføres i 3D. Det vil sige, at både den plane position og dybde under overfladen eller kote registreres.

Det er derfor nødvendigt at klarlægge formålet med ledningsregistrering generelt samt at undersøge, hvorledes ledningsregistrering på nuværende tidspunkt gennemføres.

2.2 Formålet med ledningsregistrering

Det overordnede formål med at registrere ledningsoplysninger er at få struktureret og kortlagt alle de informationer, der findes omkring det pågældende forsyningsnet, så informationerne umiddelbart kan benyttes af andre. Ved at udarbejde et digitalt kortværk af ledningerne er det muligt for også næste generation at have overblik over forsyningsnettet. [www.geopoint.dk] Man kan dog stadig spørge, hvorfor dette overblik og kendskab til ledningsnettet er nødvendigt. Det vurderes, at følgende forhold er de vigtigste årsager hertil:

- At undgå skader på ledningerne
- At lette reparationer af beskadigede ledninger og minimere følgeskader
- At undgå at nyt byggeri placeres over eksisterende ledninger
- At gøre det muligt at gøre maksimalt brug af ledningsnettet

2.2.1 At undgå skader på ledningerne

Ved entreprenørarbejde i områder med underjordiske ledninger er der selvsagt risiko for, at ledningerne beskadiges. Dette kan eksempelvis ske, ved at der rammes en fundamentspæl eller en spunsvæg igennem ledningen, eller at ledningen graves over under et gravearbejde. Sådanne skader skal undgås ud fra et økonomisk såvel som et sikkerhedsmæssigt synspunkt.

Det økonomiske aspekt er ofte det, man fokuserer mest på, når disse uheld sker, da det kan være en bekostelig affære på mange måder. Selvfølgelig skal den beskadigede ledning repareres, og afhængigt af hvilken type ledning, der er tale om, er det forskelligt, hvor nemt dette lader sig gøre. Hvis ledningen eksempelvis er et olie- eller gasrør, er reparationen omstændelig, da der kan være sket et betydeligt udslip, inden røret lukkes af. Er der derimod tale om eksempelvis et datakabel, kan skaden udbedres ved en simpel lodning. Udover udbedringen af skaden på ledningen kan det desuden være nødvendigt at ændre det påtænkte projekt, hvis ledningerne viser sig at have en anden placering end først antaget. Dette betyder ekstra udgifter til den projekterende part og ofte også en forsinkelse af projektet. Udover reparation af ledningen er der også brugere, der berøres af uheldet, og dette vil i mange tilfælde betyde et større eller mindre tab af fortjeneste. Især industrivirksomheder der eksempelvis berøres af en længere strømafbrydelse eller lukning for vandet, må i de fleste tilfælde indstille produktionen, indtil skaden udbedres.



Figur 2.1 - Under gravearbejde er der risiko for, at ledninger beskadiges. [www.ler.dk]

Sikkerhedsmæssigt kan en beskadiget ledning have konsekvenser for såvel de, der befinder sig der, hvor skaden sker, som de berørte. Man kan forestille sig et scenarie, hvor en gasledning beskadiges, og der sker en udsivning. Opdages denne skade ikke straks, kan gassen samle sig i hulrum og i værste fald eksplodere. I meget uheldige tilfælde kan gassen samle sig i nærliggende kældre og også her forårsage en eksplosion. Et andet eksempel kan være, at et strømkabel beskadiges under et gravearbejde, og operatøren får elektrisk stød.

2.2.2 At lette reparationer af beskadigede ledninger

I nogle tilfælde beskadiges underjordiske ledninger af andre årsager end de tidligere nævnte. Man kan eksempelvis forestille sig rør beskadiget af træerødder, der er vokset igennem. Et andet tilfælde kunne være, at der er terrænreguleret på et område, hvor man ikke var klar over, at der lå en rørledning, og dette har medført, at ledningen ikke længere befinder sig i frostfri dybde. En hård frostperiode kan derfor, hvis der er tale om særlige materialer, som ældre lerrør, forårsage en sprængning af røret. I disse tilfælde er det vigtigt, at man på forhånd kender ledningens placering, da det ikke nødvendigvis er muligt at se på jordoverfladen, at der er sket en skade på ledningen. En reparation vil derfor kunne foretages betydelig hurtigere, hvis ledningens placering kendes og kan markeres i marken, hvorefter reparationsarbejdet kan påbegyndes. Ydermere vil informationer om lukkesteder for eksempelvis vandledninger kunne minimere følgeskader betydeligt. Kendes stophanes position kan denne lokaliseres og benyttes betydeligt hurtigere, og dermed minimeres de følgeskader, som skaden forårsager.



Figur 2.2 - Det er vigtigt, at der udarbejdes as-built dokumentation for nye ledningers placering. [LER brochure]

2.2.3 At undgå, at nyt byggeri placeres over eksisterende ledninger

Da det ind imellem er nødvendigt at foretage reparationer på og udskiftninger af dele af ledningsnettet, er det fordelagtigt, at der ikke placeres nyt byggeri over eksisterende ledninger. I Danmark

vil der som udgangspunkt være sket en tinglysning af ledningens placering på den enkelte matrikel. Men dette sker for det meste ved brug af designtegningerne, og der foretages ikke altid en opdatering af disse, hvis ledningen som følge af forholdene i marken placeres anderledes. Det er derfor vigtigt, at den korrekte placering af ledningsnettet registreres enten ved opdatering af tegningsmaterialet ved nedgravning af ledningen eller ved en senere kortlægning af de eksisterende ledninger.

2.2.4 At gøre det muligt at gøre maksimalt brug af ledningsnettet

For at kunne udnytte ledningsnettet optimalt er det nødvendigt, at man kender placering og dimensioner af det eksisterende ledningsnet. Dette gør det muligt at afgøre om ledningsnettet er af en sådan størrelse, at nye brugere kan kobles til uden, at der opstår problemer. Er dette tilfældet er det desuden hensigtsmæssigt, at man kan afgøre, hvor den nye tilkobling skal ske, for at gravearbejdet giver færrest muligt gener i området.

2.3 Ledningsejerregistret, LER

Ledningsejerregistret, LER, indeholder oplysninger om ejere af underjordiske ledninger samt informationer om i hvilke områder, der befinder sig nedgravede ledninger. Registrets primære formål er at reducere antallet af graveskader, og dermed de omkostninger der er forbundet med udbedringer af disse. LER blev oprettet, efter Lov om registrering af ledningsejere blev vedtaget i 2004. Denne lov beskriver registerets formål og dets anvendelse. Gruppen af involverede kan inddeles i ledningsejere og graveaktører. [www.ler.dk]



Figur 2.3 - LER indeholder oplysninger om ejere af underjordiske ledninger og placeringen af disse. [www.ler.dk]

2.3.1 Ledningsejere

Ejere af nedgravede ledninger i Danmark har efter den ovennævnte lov pligt til at indberette oplysninger om deres ledninger til registret. Disse oplysninger omfatter følgende:

- Ledningsejerens navn og eventuelt cvr-nummer
- Ledningsejerens postadresse og eventuelt elektronisk postadresse, telefon- og faxnummer
- Ledningsejerens interesseområde
- Forsyningens art

Ledningsejerens interesseområde defineres i loven som et geografisk afgrænset område, der omfatter de pågældende nedgravede ledninger. Arealer mindst en meter fra ledningen på begge sider af denne skal inkluderes i interesseområdet. [www.ler.dk]

Sker der ændringer i forholdene omkring ledningerne eller opdages fejl i de indberettede oplysninger, har ledningsejeren pligt til at foretage en ny indberetning inden 14 dage. Dette sikrer, at registerets oplysninger er korrekte og opdaterede. Når ledningsejeren modtager en forespørgsel fra en graveaktør, er han desuden forpligtet til inden fem hverdage at videregive de nødvendige ledningsoplysninger eller at indgå aftale om påvisning på stedet. [www.ler.dk]

2.3.2 Graveaktører

Graveaktører omfatter bl.a. entreprenører, bygherrer, offentlige myndigheder og andre som graver i jorden med et erhvervsmæssigt formål. Alle disse har pligt til at foretage en forespørgsel i ledningsejerregistret, inden gravearbejde på offentlige vejarealer eller arealer udlagt til privat fællesvej påbegyndes. Herved genereres en liste over ledningsejere i det område, hvor gravearbejdet skal foregå, og graveaktørerne skal, inden arbejdet kan påbegyndes, tage kontakt til ledningsejerne for at indhente de nødvendige ledningsoplysninger. [www.ler.dk]

Det vurderes, at LER sparer de involverede parter tid og penge, da et antal graveskader formodentligt undgås ved, at der indhentes detaljerede oplysninger om underjordiske ledninger i området. Herudover møder graveaktører en klar besparelse i forbindelse med beskadigelse af ledninger, der ikke er korrekt indberettede. I disse tilfælde vil graveaktøren kunne dokumentere en forudgående forespørgsel i LER og dermed fraskrive sig en del af ansvaret for skaden. [www.ler.dk]

2.4 Initierende problem

På baggrund af den beskrevne problematik og dets aspekter er det initierende problem formuleret som følgende:

Hvordan er det muligt at kortlægge underjordiske ledninger?

Desuden trænger følgende underspørgsmål sig på:

- Er det muligt med en tilfredsstillende kvalitet?
- Er det økonomisk fordelagtigt?

Det kan være meget forskelligt, hvad tilfredsstillende kvalitet indebærer afhængigt af den enkelte opgave. I denne sammenhæng er begrebet kvalitet anvendt som et overordnet begreb, der dækker over bl.a. nøjagtigheder, fuldstændighed og output. De specifikke krav skal derfor tilpasses opgaven og kundens behov. Valget af metode afhænger altså af formålet med kortlægningen, og klientens budget for opgaven. Eksempelvis kan man forestille sig, at en clearing af et område, in-

den et gravearbejde påbegyndes, kan gennemføres med en metode, der resulterer i ringere nøjagtighed, hvorimod graden af fuldstændighed er afgørende.

Tilsvarende kan den økonomiske fordelagtighed have mange aspekter. I nogle tilfælde vil en omfattende og dermed bekostelig kortlægning af de underjordiske ledninger nemt kunne forsvares, idet omkostningerne ved en eventuel beskadigelse vil være uoverskuelige. Som eksempel kan nævnes oliefelter, der ofte er afhængige af tilførsel af f.eks. strøm. Beskadiges en sådan ledning forårsages ofte et shut-down af anlægget, indtil et nødsystem er etableret, eller indtil skaden er udbedret. Til sammenligning er en eventuel beskadigelse af et antennekabel i et beboelsesområde ikke lige så bekostelig. Ofte er mange kunder generet af en sådan skade, men det økonomiske tab er ikke tilnærmelsesvis det samme. Det kan altså være svært, hvis ikke umuligt at vurdere om en kortlægning af ledningsnettene generelt er økonomisk fordelagtig, idet dette afhænger af såvel den valgte metode som risikoen for graveskader i området og karakteren af de berørte anlæg. Derfor vil dette spørgsmål ikke blive behandlet yderligere. Det overlades altså derfor til ledningsejeren at afgøre, hvorvidt en komplet kortlægning er fordelagtig i forhold til omkostningerne ved opmålingen.

Den efterfølgende foranalyse vil søge at belyse hvilke teknikker og metoder, der kan anvendes til kortlægning af underjordiske ledninger. Metodernes anvendelighed vil blive diskuteret ud fra et praktisk synspunkt.

3 Metode

Dette kapitel vil beskrive, hvorledes projektarbejdet og arbejdet med projektrapporten er struktureret. Endvidere beskrives forskellige systemudviklingsmetoder, der kan anvendes i arbejdet med projektet.

3.1 Problemorienteret projektarbejde

Projektarbejdets indhold varierer fra projekt til projekt. Der er dog fællestræk imellem selv meget forskellige projekter. Generelt kan et problemorienteret projekt deles op i fire hovedelementer:

- Problemformulering
- Teori
- Empiri
- Konklusioner

[Aunsborg, 1997]

3.1.1 Problemformulering

Dette er projektets omdrejningspunkt, hvor problemstillingen indkredses, beskrives, afgrænses og præciseres. Da denne del er meget vigtig for projektets efterfølgende forløb, er den ofte omfattende og rummer som minimum følgende:

- En introduktion til emnet
- En beskrivelse af, hvori problemet består
- En afgrænsning af hvilke dele af problemet, der behandles i projektet
- En præcision af hvilke synsvinkler, der benyttes
- En begrundelse for, at problemet behandles

[Aunsborg, 1997]

3.1.2 Teori

Forskellige teorier rummer forskellige tolkninger af virkeligheden. Dette er dog ikke ensbetydende med, at forskellige teorier er i modstrid med hinanden. Forskellen kan blot ligge i den anvendte synsvinkel, eller i hvor specifik den enkelte teori er. I det problemorienterede projektarbejde ligger arbejdet med teorier i at udvikle en teori, der løser problemet. Eksisterer der allerede teorier indenfor området, skal disse ofte tilpasses eller videreudvikles for at kunne finde anvendelse til løsning af det valgte problem. Andre gange er det nødvendigt at formulere en forklaring helt fra bunden. Derfor er en vigtig del af projektarbejdet at klarlægge, hvorvidt der findes teorier på området, der er brugbare i den specifikke problemstilling. [Aunsborg, 1997]

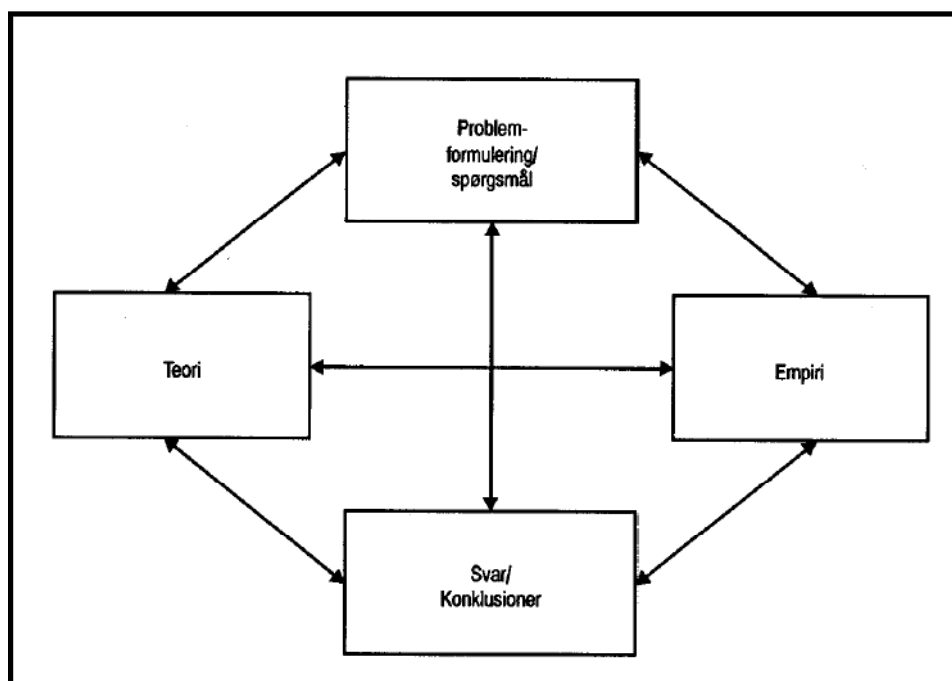
3.1.3 Empiri

Dataindsamling og -bearbejdning foregår som en del af projektet for at opnå et større kendskab til den pågældende del af virkeligheden. Det vil sige, at empirien ikke har noget selvstændigt formål, men at dens begrundelse skal findes på det teoretiske niveau i projektarbejdet. Derudover er empirien med til at give erfaring ved udførelse af måleopgaver med nye måleteknikker. [Aunsborg, 1997]

3.1.4 Konklusioner

Konklusionen og resultaterne er svaret på problemformuleringens spørgsmål. Ved præsentation af konklusionen vil projektets hovedlinier blive opridset. Disse vil afspejle den viden, der er opnået gennem projektarbejdet, samt de begrænsninger og forudsætninger resultaterne er underlagt. Læseren skal altså i princippet kunne nøjes med at læse problemformuleringen, der beskriver hvilken uvidenhed der behandles, samt konklusionen, der præsenterer den efterlyste viden. [Aunsborg, 1997]

Disse fire elementer er i det problemorienterede projektarbejde forbundet gennem forskellige analyser og undersøgelser, se Figur 3.1.



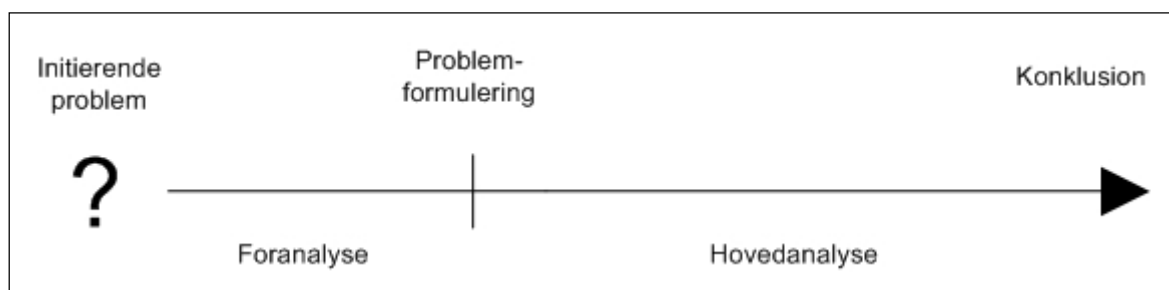
Figur 3.1 - Figuren viser den optimale sammenhæng mellem det problemorienterede projektarbejdes fire hovedelementer. [Aunsborg, 1997]

Figuren illustrerer den optimale sammenhæng mellem de fire hovedelementer. Pilene symboliserer som nævnt forskellige analyser og undersøgelser uden hensyntagen til hvilken rækkefølge, de er foretaget i. Typisk indledes projektarbejdet med en meget løs problemformulering også kaldet en formulering af det initierende problem, der præsenterer problemfeltet. Herefter udføres en række indledende analyser, hvorefter der vendes tilbage til problemformuleringen, som tilpasses det videre projektarbejde. [Aunsborg, 1997]

Som nævnt illustrerer figuren den optimale arbejdsgang som en iterativ proces. Det vil sige at der efter udarbejdelse af en konklusion skal vendes tilbage til problemformuleringen for yderligere justeringer, hvorefter analyserne gennemføres på ny. Da dette projekt strækker sig over en begrænset tidsperiode, er det ikke realistisk at forvente, at alle pilene er repræsenteret i projektets analyser.

3.2 Projektarbejdets forløb

Dette projekt kan groft illustreres som et lineært forløb bestående af to hoveddele; En foranalyse og en hovedanalyse, se Figur 3.2. Der vil dog foregå nogle iterative processer, idet det vil være nødvendigt, at problemformuleringen justeres nogle gange undervejs for at lede projektet i den ønskede retning.



Figur 3.2 - Figuren viser projektarbejdet som et lineært forløb.

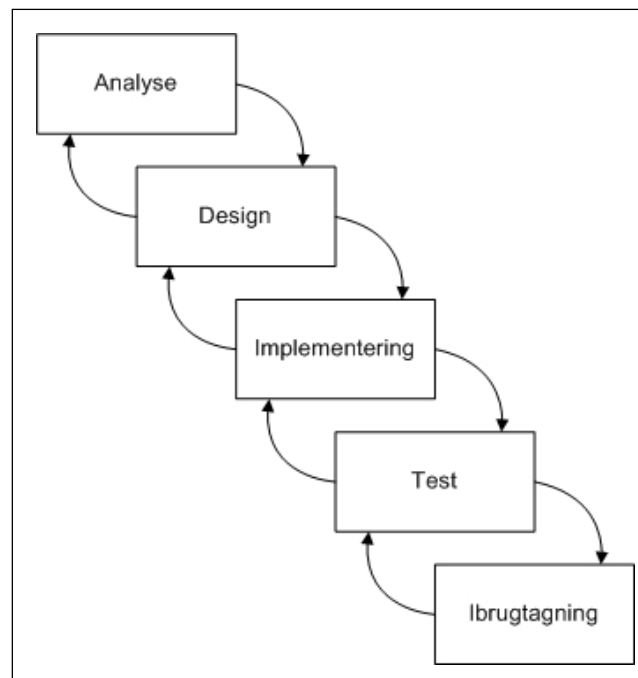
Som det ses, indledes arbejdet med en formulering af det initierende problem. På denne måde præsenteres interesseområdet og det indledende arbejde, her benævnt foranalysen, kan påbegyndes. Denne består af en analyse af problemfeltet og har til formål at gøre det muligt at foretage en afgrænsning og præcisering af problemet, så den egentlige problemformulering kan udarbejdes. Denne leder arbejdet videre til den egentlige hovedanalyse. Når analysearbejdet er gennemført, udarbejdes en konklusion, der besvarer problemformuleringen.

3.3 Systemudvikling

Da det initierende problem er formuleret som et spørgsmål om at finde en metode til kortlægning, har den studerende valgt at betragte nogle af de mest anvendte metoder til systemudvikling. Da der i dette projektarbejde ikke er tale om udvikling af et nyt målesystem fra ende til anden, vil metoderne sandsynligvis ikke kunne anvendes direkte eller i deres helhed. Det forventes dog, at enkelte elementer eller sammenhænge kan benyttes i det videre projektarbejde.

3.3.1 Vandfaldsmodel

Denne model er den mest generelle udviklingsmodel, der indeholder elementer, der optræder i de fleste andre systemudviklingsmodeller. På Figur 3.3 ses et eksempel på en såkaldt vandfaldsmodel.



Figur 3.3 - Figuren viser en iterativ variant af vandfaldsmodellen. [Vahlstrup, 2004]

Som det ses indledes processen med en analyse, der har til formål at formulere en kravspecifikation. Denne proces afløses af en designfase, hvor en 'arkitekttegning' af produktet udarbejdes, og gør det muligt at gennemføre næste fase, der er en implementering. Som den sidste del af processen inden ibrugtagningen, skal der foretages en test. Oprindeligt var denne metode et rent sekventielt forløb. Det vil sige, at man gjorde et element helt færdigt, inden man bevægede sig videre til det næste. Der arbejdes altså stringent fremad fra en klar opgavedefinition til én løsning. Deraf stammer betegnelsen vandfaldsmodel. Illustrationen viser dog en videreudvikling af denne model, idet modellen er iterativ. Dette gør det muligt at bevæge sig tilbage op ad vandfaldet og justere på de tidligere processer, inden man igen bevæger sig med strømmen ned ad vandfaldet til næste proces. I praksis vil modeller af denne type ikke udelukkende være sekventielle eller iterati-

ve, men en kombination af disse. Der vil være elementer af begge forløb i forskellige dele af projektet. Projektets karakter og omfang er klart afgørende for fordelingen mellem de to forløbsmodeller.

3.3.2 Struktureret programudvikling, SPU

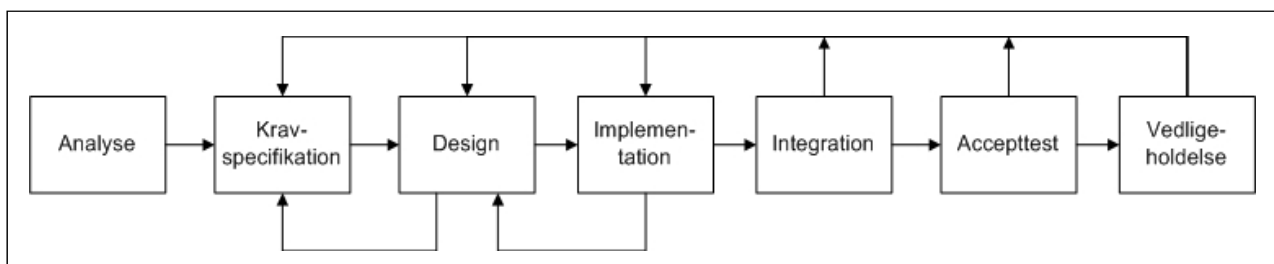
Struktureret programudvikling, SPU, er en metode, hvis kerne består af otte regler for programudviklingen:

- Benyt en udviklingsmodel
- Udarbejd en kravspecifikation
- Design før kodning
- Planlæg test
- Anvend reviewteknikken
- Foretag projektstyring
- Dokumentér undervejs
- Foretag konfigurationsstyring

[Biering-Sørensen, 1988]

Disse otte regler er lige vigtige for projektets succes, og dette var en af grundidéerne bag SPU-konceptet. Det er altså et metodeuafhængigt koncept eller en slags 'knagerække', hvorpå man kan hænge konkrete metoder, teknikker og værktøjer. [Hansen, 2005]

Følgende Figur 3.4 viser en simpel udgave af en SPU-model.



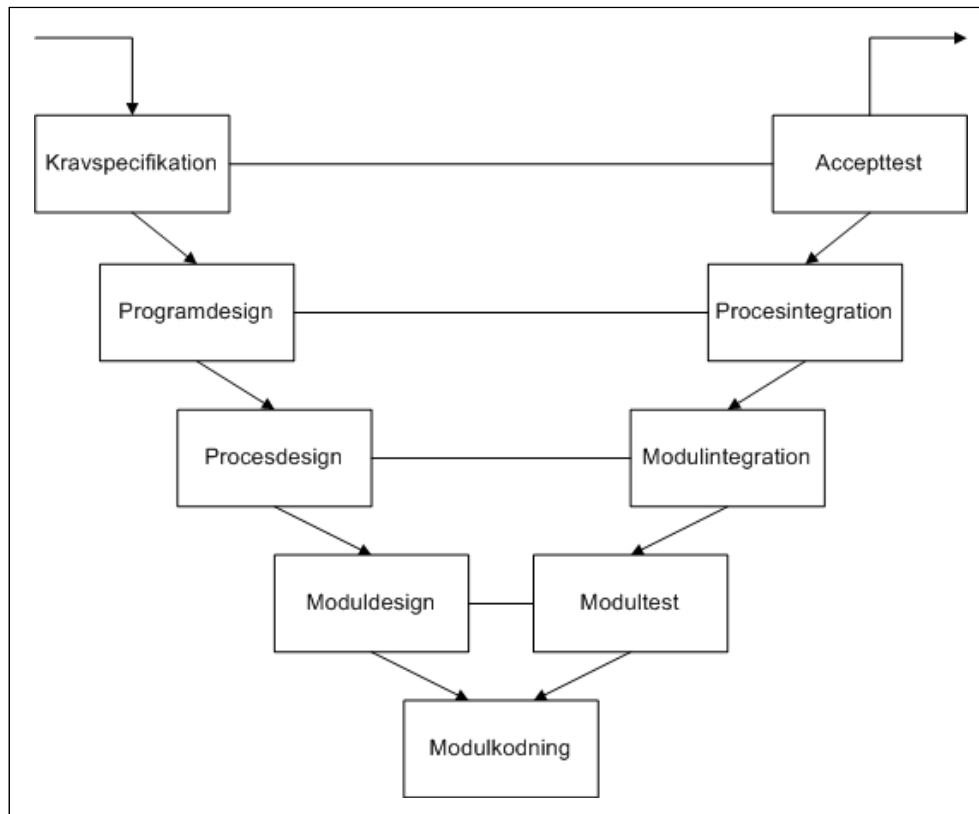
Figur 3.4 - Figuren viser en SPU-model i forsimplet udgave. [Biering-Sørensen, 1988]

Figuren viser et forløb for et projekt, en såkaldt 'lifecycle'-model. Der er ikke tale om en streng model, der angiver tidsforbruget, men en aktivitetsmodel der omfatter de egentlige udviklingsaktiviteter i forløbet. [Biering-Sørensen, 1988]

Der kan anvendes mange forskellige udviklingsmodeller afhængigt af projektets type. Fælles for dem er altså, at de alle er bundet sammen af SPU-konceptets otte regler. I det følgende præsenteres to forskellige udviklingsmodeller, V-modellen og spiralmodellen. [Hansen, 2004]

V-model

V-modellen anvendes ofte til tests, idet den giver en god illustration af forholdet mellem tidlige testforberedelser og de senere testudførelser. Figur 3.5 viser v-modellen. [Hansen, 2004]

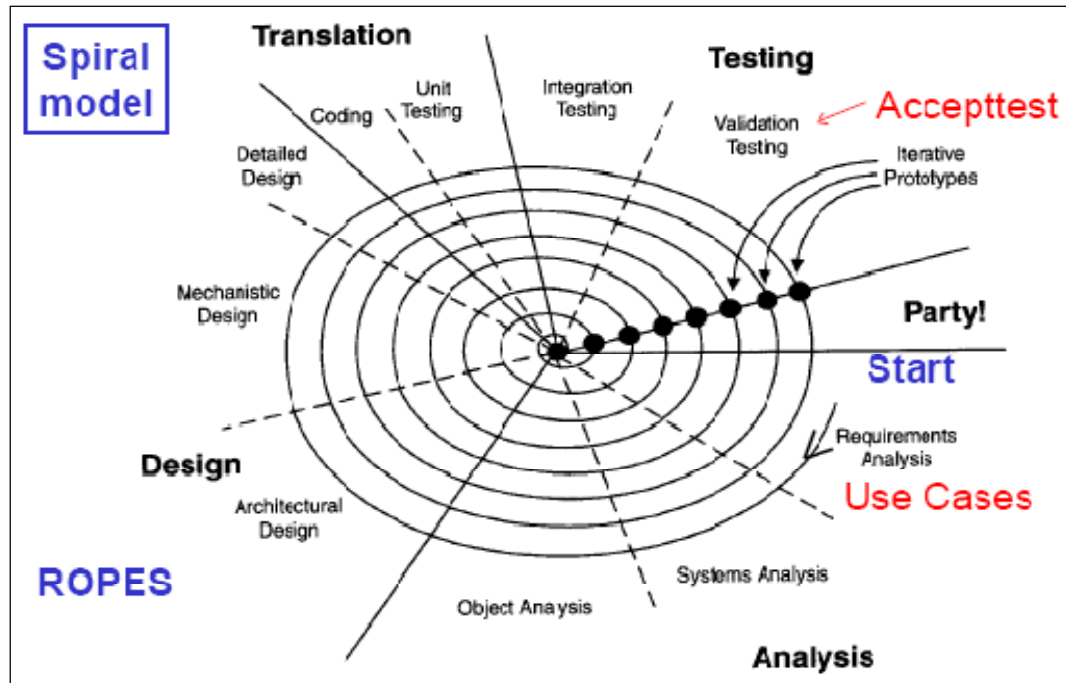


Figur 3.5 - Figuren viser en model for tests eller en såkaldt V-model. [Biering-Sørensen, 1988]

Figuren viser altså sammenhængen mellem konstruktionsaktiviteterne og de tilhørende testaktiviteter. Princippet med modellen er, at der under den enkelte designfase udarbejdes specifikationer for den tilhørende test. Dette har flere fordele. Produkterne bliver generelt bedre, og det bliver lettere at udføre den tilhørende test. Dette har flere projektstyringsfordele, idet de nødvendige testfaciliteter identificeres tidligt i processen. Dette gør det muligt at anvende de udarbejdede testspecifikationer i projektplanlægningen. [Biering-Sørensen, 1988]

Spiralmodel

Denne model er en meget iterativ udviklingsmodel. Figur 3.6 viser en ROPES-model (Rapid Object-oriented Process for Embedded Systems), der er en objektorienteret udgave af spiralmodellen for projektstyring.

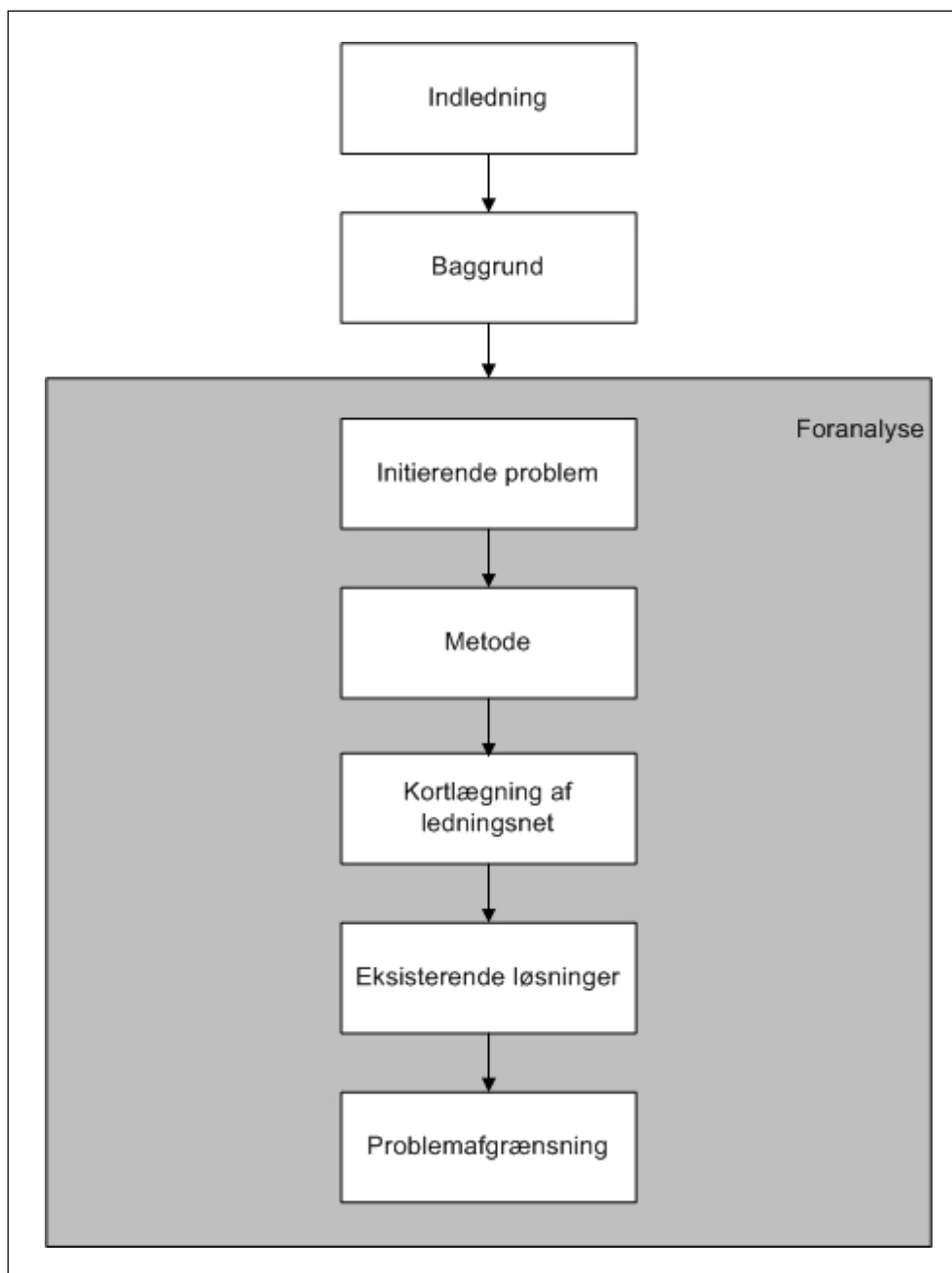


Figur 3.6 - Figuren viser en ROPES-model, der er en objektorienteret udgave af en spiralmode. [Hansen, 2004]

En iterativ udviklingsmodel har flere fordele. Den kan være med til at nedsætte risikoen ved de mest risikobetonede dele af projektet, idet disse udvikles meget tidligt i projektets forløb. Dette gør det muligt at ændre på kritiske faktorer i tide eller eventuelt stoppe projektet, hvis det ikke kan realiseres. Modellen er særlig velegnet til projekter, hvor ny teknologi tages i anvendelse, idet der her opereres med mange korte gentagelser. [Hansen, 2004]

3.4 Projektstruktur

Som tidligere nævnt består det problemorienterede projektarbejde af to hoveddele: Foranalysen og hovedanalysen. Der indledes med en bredere problemstilling, hvorefter der foretages en analyse af det initierende problem. Dette gør det muligt at foretage en afgrænsning af problemområdet og en egentlig problemformulering. Denne problemformulering vil være retningsgivende for det videre projektarbejde. For at illustrere foranalysens struktur er der udarbejdet et strukturdiagram, se Figur 3.7.



Figur 3.7 - Figuren viser strukturen over projektarbejdets foranalyse.

Som nævnt indledes projektet med en redegørelse for baggrunden for problemet. Her redegøres der for, hvorfor den studerende har valgt at behandle den pågældende problemstilling, samt hvilket formål det tjener at beskæftige sig med emnet. Dette gør det muligt at formulere det initierende problem, der definerer foranalysens retning. Foranalysen indledes med denne metodebeskrivelse, der har givet inspiration til analysens opbygning og struktur.

For at gøre det muligt at foretage en senere problemafgrænsning og tilpasning af problemformuleringen gennemføres en bredere undersøgelse af interesseområdet. Denne undersøgelse indledes

med en redegørelse for kortlægning af ledningsnet generelt. Her vil det specificeres, hvilke krav man kan forestille sig, at brugerne har til en kortlægning af ledningsnettet. Denne vil gøre det muligt at vurdere og sammenligne forskellige metoder og teknikker på samme grundlag. Herefter præsenteres et antal eksisterende løsninger på problematikken. Det vil sige en række metoder og teknikker, der anvendes i praksis til kortlægning af underjordiske ledninger. Disse metoder behandles dog på et overordnet niveau ud fra et litteraturstudie. Det vil sige, at den studerende ikke nødvendigvis selv har erfaring med brug af metoden eller besidder tilbundsgående viden om alle tekniske aspekter af teknologien. Dette valg er taget, da formålet med undersøgelsen udelukkende er at blive i stand til at vurdere, om den pågældende metode kan finde anvendelse til at løse den beskrevne problematik. Herefter er det muligt at foretage en problemafgrænsning på baggrund af analysen af interesseområdet. Dette omfatter også en problemformulering, der vil være retningsgivende for det videre projektarbejde.

4 Kravspecifikation

I dette kapitel diskuteres hvilke krav, der skal stilles til en kortlægning af underjordiske ledninger. Det vil sige, at der gives en begrundelse for, at den nævnte attribut vurderes at have betydning for et eventuelt kortmateriale over ledningsnettet. Desuden vil der foretages en sortering af kravene som primære eller sekundære krav. Med dette menes, hvorvidt den valgte attribut er interessant at registrere for alle typer ledningsnet, eller om kun enkelte typer net vil have behov for den pågældende information.

Denne kravspecifikation vil som nævnt præcisere, hvilke informationer det kunne være interessant at registrere i forbindelse med kortlægning af ledningsnet. En sådan specifikation vil gøre det muligt at vurdere forskellige kortlægningsmetoder på det samme grundlag, og det vil gøre det mindre kompliceret at afgøre, hvorvidt metoden er egnet til den type kortlægning, der søges. Det er valgt ikke at angive konkrete mål såsom nøjagtigheder eller fuldstændigheder som succeskriterier. Dette skyldes, at disse forhold afhænger af den enkelte kortlægningsopgave samt kundens krav og behov.

4.1 Primære krav

- Planposition. Den vigtigste information, der registreres ved en kortlægning, er naturligvis den plane position. Kendes denne, er det muligt at udarbejde et kortmateriale, så ledningens placering kan videreformidles til andre. Hermed tænkes eksempelvis på de tidligere omtalte graveaktører. Når disse har kendskab til ledningsnettets placering, nedbringes risikoen for graveskader væsentligt. Ydermere vil denne information gøre det muligt at optimere ledningsnettets anvendelse. Idet ledningsejeren nemmere vil kunne planlægge nye tilslutninger hensigtsmæssigt.
- Dybde eller kote. Umiddelbart virker denne information ligeledes som en naturlig del af en kortlægning. Er denne information tilgængelig, er det muligt at afgøre, om eventuelle nye ledninger kan placeres i samme tracé i en mindre dybde. Dette er ofte tilfældet med ledninger placeret i fortovet langs veje i bymæssig bebyggelse. På denne måde er det muligt at foretage reparationer på ledningsnettet uden at genere trafikken. Men da der jo selvsagt er begrænset plads under et fortov, kan det være nødvendigt at placere forskellige ledninger i forskellige dybder. Det kan dog diskuteres, hvorvidt den registrerede information skal være dybde under terrænets overflade eller koten relateret til et referencesystem. Dybde under terrænets overflade vil selvsagt være den mest tilgængelige information for eksempelvis graveaktører. Men da der jo kan foretages terrænregulering over ledningerne er kote i forhold til et referencesystem en uforanderlig information.

4.2 Sekundære krav

Udover de nævnte krav er der en række informationer, man kan forestille sig at registrere om ledningen. Informationerne er dog ikke så vigtige i alle sammenhænge, at de er vurderet som primære krav. Det må derfor vurderes i forhold til brugerens behov, hvorvidt de sekundære krav skal medtages i kortlægningen. I det følgende beskrives enkelte sekundære krav, og det forklares, i hvilke tilfælde den pågældende information kan være anvendelig.

- Dimension. Dette krav kan virke overflødigt i nogle sammenhænge. Eksempelvis er det ikke den vigtigste information i forbindelse med gravearbejder, hvor man blot ønsker at undgå graveskader. Det er dog tilføjet rækken af krav da det er nødvendigt at vide for at gennemføre optimering af et ledningsnet. På denne måde er det muligt at udnyttet nettet optimalt.
- Anvendelse. Udføres kortlægningen i et område, hvor der er mange forskellige ledninger, er det ikke altid muligt at vide, hvordan de forskellige ledningsnet løber. Det er derfor en væsentlig del af dataindsamlingen at bestemme, hvilke ledningsstykker der sammen udgør ledningsnettet. Det vil sige, hvilke ledningsstykker der har samme anvendelse. Eksempelvis kan man forestille sig, at der lokaliseres et kabel. Her vil det være væsentligt at kunne afgøre, om der er tale om et strømkabel eller et datakabel.
- Placering af enkeltkomponenter. Som nævnt i de indledende beskrivelser af problemet kunne det være nyttigt at kende placeringen af enkeltkomponenter som eksempelvis stophaner, ventiler o. lign. Dette er især aktuelt i tilfælde, hvor udslip fra et beskadiget rør kan forvolde betydelige skader, som kunne minimeres, hvis placeringen af stophanen var kendt på forhånd.
- Materiale. Oplysninger om ledningens materiale er ikke i alle tilfælde en nødvendig information, men i nogle tilfælde kan denne viden være særdeles anvendelig. Nogle materialer kræver eksempelvis mere og oftere vedligeholdelse eller udskiftning. Ved at have denne information er det derfor muligt at tage højde for disse forskellige behov. Ydermere kan viden om, hvilket materiale ledningen er af, gøre det nemmere at bestemme, hvad ledningen anvendes til og dermed lette klassifikationen.

Efter opstilling af krav til en eventuel kortlægning af et ledningsnet er det muligt at foretage en ensartet vurdering af eksisterende metoder.

5 Eksisterende løsninger

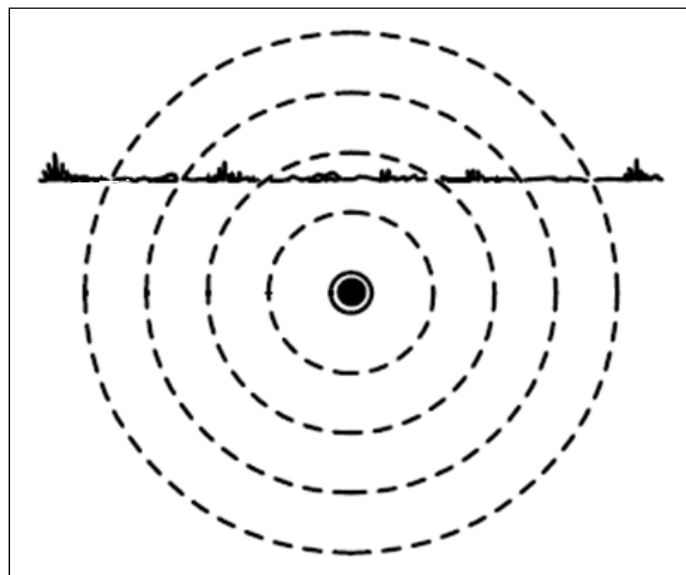
I dette kapitel præsenteres en række metoder, der anvendes til kortlægning af underjordiske ledninger. I alt tre metoder beskrives og vurderes:

- Radiodetection
- PipeTrack
- Ground Penetrating Radar

Disse behandles ud fra et litteraturstudie, og den studerende har derfor ikke nødvendigvis erfaring med at anvende den enkelte metode. Der vil dog blive foretaget en vurdering af anvendeligheden og kvaliteten af kortlægningen med disse metoder med baggrund i litteraturstudiet.

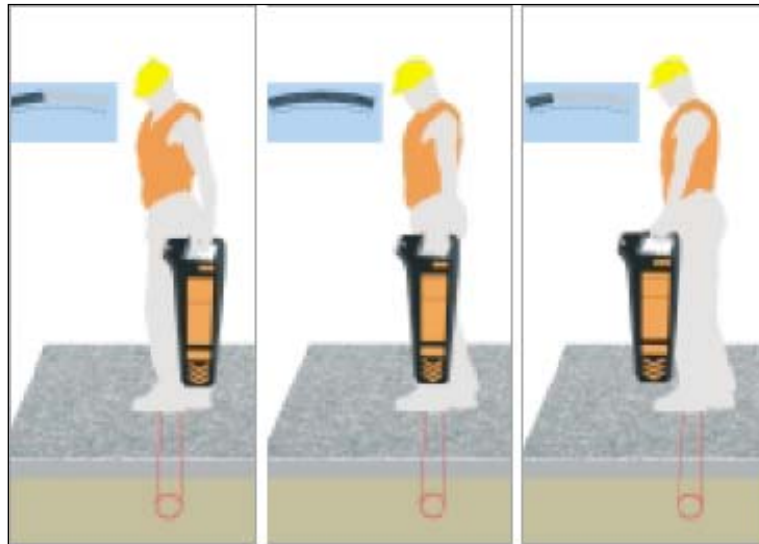
5.1 Radiodetection

Denne teknik anvendes til at lokalisere underjordiske kabler. Metoden kan bruges til at lokalisere forskellige størrelser og typer kabler. Princippet bag teknikken udnytter det elektromagnetiske felt, der dannes omkring kabler. Dette magnetfelt kan dannes automatisk af flere årsager. Strømførende kabler danner naturligt et elektromagnetisk felt. Dog kan dette felt være for svagt til, at det er muligt at lokalisere kablet. Signaler fra radiosendere løber i jorden, og disse har en tendens til at følge den rute, hvor der er mindst modstand. Denne rute er ofte langs begravede metalledninger, hvor der derfor skabes et elektromagnetisk felt. Figur 5.1 viser et tværsnit af et kabel og dets elektromagnetiske felt.



Figur 5.1 - Figuren viser et tværsnit af et kabel, hvor det elektromagnetiske felt er symboliseret ved de koncentriske cirkler. [Radiodetection]

Figuren viser en situation, hvor der ikke er forstyrrende elementer i nærheden af kablet. Det betyder, at magnetfeltet i dette tilfælde er cirkulært. Feltet er stærkest tættest på ledningen, hvilket betyder, at magnetfeltet over jorden er stærkest lige over kablet. [Radiodetection] På denne måde er det altså muligt at følge kablets forløb ved at bevæge sig der, hvor magnetfeltet er stærkest. Følgende Figur 5.2 viser, hvorledes ledningen lokaliseres med detektoren.



Figur 5.2 - Figuren viser, hvordan detektoren anvendes. Den blå boks til venstre for operatørens hoved viser, hvor kraftigt udslag detektoren giver. [cscope]

Denne teknik kan opdeles i to forskellige metoder afhængigt af den specifikke fremgangsmåde:

- Passiv
- Aktiv

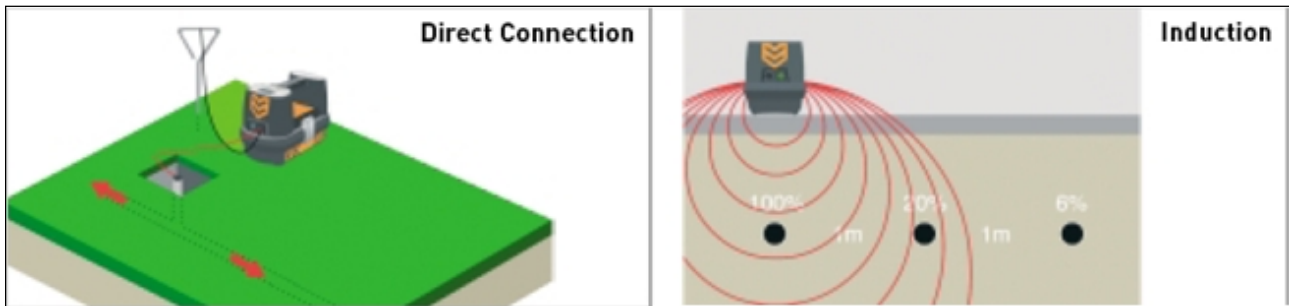
[Stratascan]

5.1.1 Passiv metode

Denne metode anvender det magnetfelt, der allerede er til stede omkring kabler, som nævnt tidligere pga. enten strøm i kablet eller radiosignaler i jorden. Styrken af dette magnetfelt afhænger dog af faktorer som kablets diameter, vandindholdet i den omgivende jord og strømstyrken. Det er derfor ikke sikkert, at det altid vil være muligt at lokalisere alle de tilstedeværende kabler ved brug af denne metode, da det ikke er muligt at få indflydelse på de betydende faktorer. [Schonstedt]

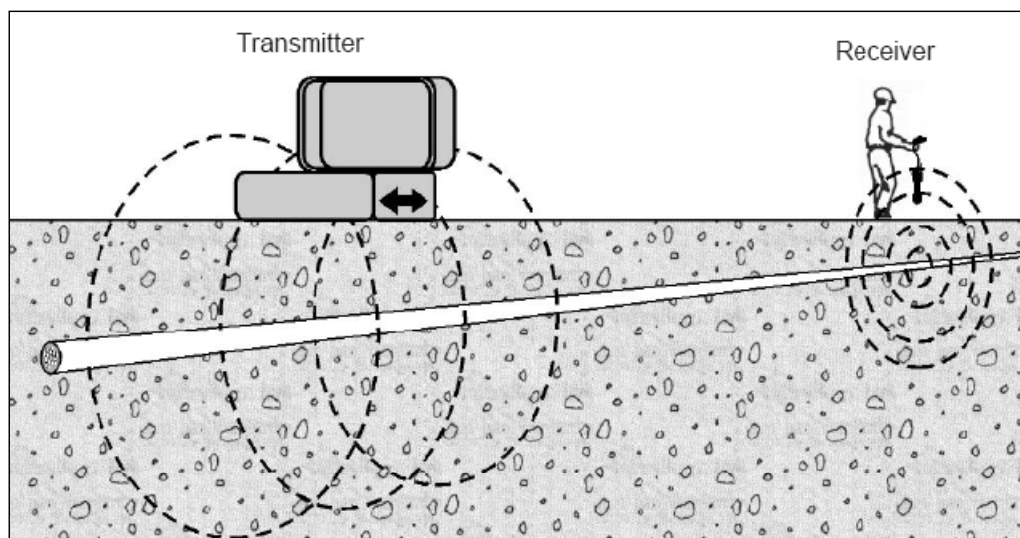
5.1.2 Aktiv metode

Denne metode anvender samme princip som den passive metode, dog med den afgørende forskel at der her anvendes en signal-generator til at skabe det elektromagnetiske felt [cscope]. Dette kan ske ved direkte tilkobling eller ved induktion, se Figur 5.3.



Figur 5.3 - Figuren viser de to måder, hvorpå signal-generator kan anvendes, direkte tilkobling til venstre og induktion til højre. [cscope]

Ved direkte tilkobling kobles signal-generatoren direkte til ledningen, en stophane eller andet, der er i forbindelse med ledningen, hvorved der sendes et signal gennem ledningen. Denne metode anvendes oftest til metalledninger eller ledninger af andre ledende materialer. Dette signal genererer herved et tilsvarende elektromagnetisk felt, der kan detekteres. Ved induktion er det ikke nødvendigt at have adgang til ledningen, idet signalet kan transmitteres gennem jorden ved brug af samme signal-generator. Følgende Figur 5.4 viser, hvordan signalet ved induktion transmitteres til ledningen.



Figur 5.4 - Figuren viser princippet bag induktion. Da transmitteren er placeret direkte over ledningen skabes et magnetfelt, der kan opfanges af detektoren. [Schonstedt]

Som det ses, placeres senderen lige over ledningen, idet det udsendte signal er stærkest direkte under senderen. På denne måde skabes der et elektromagnetisk felt, der kan bruges til at bestemme kablets videre forløb.

Alle de nævnte metoder kan anvendes til at bestemme ledninger og specielt kablers forløb. Ydermere kan dybden bestemmes ved at betragte magnetfeltets amplitude. Dog bestemmes dybden ikke lige nøjagtigt ved alle metoder. Anvendes metoden, hvor radiosignalers rute gennem jorden

langs ledningerne udnyttes, er det ikke muligt at bestemme ledningens dybde med en brugbar nøjagtighed. Derfor er dette ikke muligt med de fleste detektorer. [cscope]

Efter at have beskæftiget sig med teorien bag denne metode trænger følgende spørgsmål sig på:

1. Med hvilken nøjagtighed er det muligt at lokalisere ledninger i de forskellige metoder?
2. Ved brug af en signal-generator hvor lang rækkevidde har signalet langs ledningen?
3. Er det muligt at lokalisere ledninger under forstærkede overflader og inde i bygninger?

For at få svar på disse spørgsmål kontaktede den studerende C.Scope, der forhandler radiodetection udstyr. Deres support gav følgende svar:

1. C.Scope angiver normalt en lokaliseringsnøjagtighed på +/- 5 % af ledningens dybde. Dette skal forstås således, at en ledning begravet i en meters dybde vil kunne lokaliseres indenfor 5 cm. Denne sammenhæng kan overføres til alle de omtalte metoder. Det skal dog nævnes, at operatørens rutine vil have indflydelse på resultatet af kortlægningen.
2. Der er stor forskel på, hvor lang rækkevidde et signal tilført ledningen har. Flere fysiske faktorer har indflydelse på dette, dog vil rækkevidden typisk være bedre, hvis direkte tilkobling benyttes frem for induktion.
3. Det er muligt at lokalisere ledninger under forstærkede overflader. Dog skal man være opmærksom på, at der kan optræde forstyrrende elementer såsom eksempelvis armering. Er der mulighed for direkte tilkobling med signal-generatoren, er der dog gode muligheder for at kunne gennemføre en kortlægning.

Korrespondancen med C.Scope Support er vedlagt som bilag A.

5.1.3 Vurdering

Radiodetection er en metode, hvor man udnytter elektromagnetiske felter omkring ledninger i jorden. Disse felter fremkommer enten som følge af kablernes anvendelse eller som følge af ydre påvirkninger. Det anvendte udstyr er meget begrænset og enkelt at anvende. Derfor er det ofte denne metode, der vælges af entreprenører, der vil undersøge et område, inden et gravearbejde påbegyndes. Da det elektromagnetiske felt, der udnyttes til at bestemme position og dybde, som nævnt er påvirket af en række faktorer, er der en del usikkerheder og ukontrollable forhold, der kan få indflydelse på arbejdet. Ydermere begrænses metodens anvendelighed af ledningens dybde. Det vil sige, at ledninger begravet meget dybt ikke vil kunne lokaliseres ved brug af denne metode.

Det skal bemærkes, at underjordiske ledninger ved brug af denne metode ikke positioneres absolut, men blot lokaliseres, hvorefter det altså er nødvendigt at gennemføre en opmåling med traditionelle metoder for at gennemføre en egentlig kortlægning af ledningerne.

5.2 PipeTrack

Dette system er et eksempel på et instrument, der består af en samling sensorer. Princippet i denne metode er 'in-pipe mapping'. Det vil sige, at røret kortlægges indefra, hvilket skal forstås således, at instrumentet føres igennem en rørstrækning. Ved hjælp af sensorerne registreres instrumentets bevægelser og dermed rørstrækningens forløb. Som et eksempel på et sådant instrument beskrives PipeTrack konceptet, der er udviklet af Infotec i England.

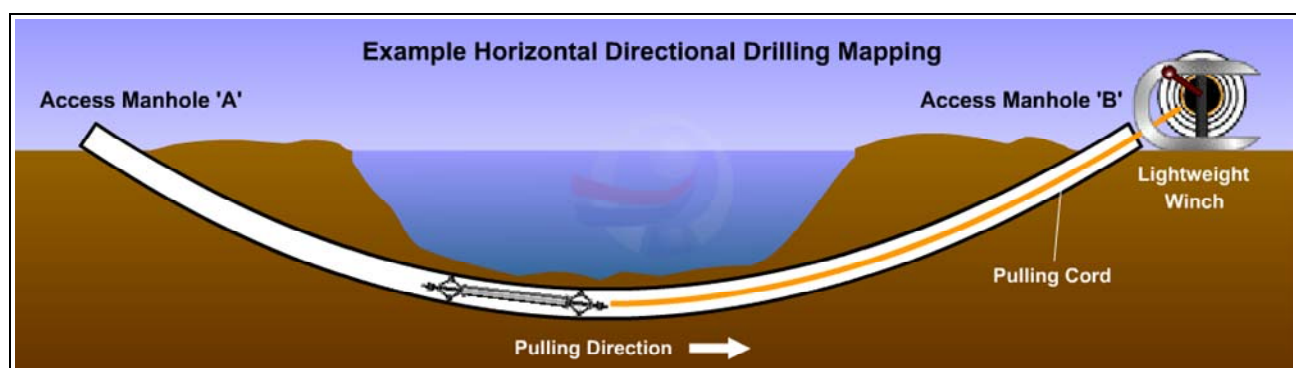
5.2.1 PipeTrack konceptet

PipeTrack enheden er et gyro-baseret system, der føres gennem en rørstrækning og løbende registrerer retningsændringer. Ved at kombinere disse informationer med den tilbagelagte afstand er det muligt at bestemme ledningsnettets forløb. På Figur 5.5 ses en PipeTrack sonde. [www.pipetrack.co.uk]



Figur 5.5 - Billedet viser PipeTrack sonden. [www.pipetrack.co.uk]

Som det ses, er det ikke nødvendigt, at forbinde datakabler med sonden, eftersom alt data lagres på et indbygget system. Dette data kan, efter indsamlingen er afsluttet, udlæses og ved hjælp af processeringssoftware kombineres afstands- og retningsinformationerne til en kortlægning af ledningens forløb. Instrumentet er dog ikke selvdrevet, hvilket betyder, at det føres igennem ledningen ved brug af en træksnor og et spil, se Figur 5.6. [www.pipetrack.co.uk]



Figur 5.6 - Figuren viser, hvordan sonden anvendes. Et spil trækker sonden gennem røret i en træksnor. [www.pipetrack.co.uk]

På figuren ses arbejdsgangen ved en kortlægning af et rørstykke. Det er nødvendigt, at der er fri adgang til mandehuller i begge ender af ledningen. Umiddelbart virker dataindsamlingen en anelse

omstændelig, idet træksnoren på forhånd skal føres igennem det ledningsstykke, der ønskes kortlagt. Producenten, Infotec, hævder dog, at et målehold med erfaring i kortlægning med PipeTrack sonden kan indsamle data fra 500 m ledning på mindre end en time. [www.pipetrack.co.uk]

PipeTrack sonden kan anvendes i ledninger med diameter fra 5 cm op til 2,5 m. Sonden har en række begrænsninger i forhold til, hvor skarpe bøjninger den kan føres igennem. Dette afhænger naturligvis af ledningens diameter. Producenten giver dog følgende eksempler på denne sammenhæng [www.pipetrack.co.uk]:

Diameter på ledningen	Maksimal bøjningsradius
90 mm	4,5 m
300 mm	0,9 m

Ønskes ledningsstykker kortlagt, hvor der findes skarpe bøjninger end dette, produceres fleksible sonder, der består af flere led, se Figur 5.7. Dette gør det muligt for sonden at passere gennem meget skarpe bøjninger. Som det ses på billedet, består denne model af flere mindre led. Ydermere har sonden sammenklappelige hjul, der gør det muligt at passere gennem beskadigede ledninger og forgreninger. [Infotec]



Figur 5.7 - Billedet viser en leddelt PipeTrack sonde. [Infotec]

Med denne metode oplyser producenten, at det er muligt at kortlægge ledningsnet med følgende nøjagtighed [www.pipetrack.co.uk]:

Plan nøjagtighed	0,25 %
Dybde nøjagtighed	0,1 %

Sådanne procentsatser er ikke altid den mest hensigtsmæssige måde at angive nøjagtigheder på. Det vurderes dog, at det skal forstås således, at afvigelsen på det samlede ledningsstykke afhænger af stykkets længde. Alligevel forventedes det, at antallet af bøjninger ville influere på nøjagtigheden af kortlægningen, idet retningsændringen gennem disse bøjninger registreres med en vis nøjagtighed. Men det har ikke været muligt at finde informationer om en sådan sammenhæng.

Ydermere har følgende spørgsmål trængt sig på efter denne redegørelse:

- Hvor stor er sonden? Længde, diameter osv.

- Hvilke tiltag bliver gjort for at forhindre, at sonden sætter sig fast i røret?

Den studerende har forsøgt at kontakte Pipetracks support afdeling, men det har ikke været muligt at få besvaret disse spørgsmål.

5.2.2 Vurdering

PipeTrack systemet fungerer efter et simpelt princip. Ved hjælp af afstande og retningsændringer er det muligt at beregne ledningens forløb ud fra startpositionen. Det vil også sige, at ledningens forløb udelukkende bliver bestemt relativt ud fra startpositionen. Det er derfor nødvendigt at gennemføre en traditionel opmåling af de anvendte mandehuller for at kortlægge ledningen absolut. Selve arbejdsgangen i dataindsamlingen er dog ikke uden uhensigtsmæssigheder. Da sonden ikke er selvkørende, er det nødvendigt inden dataindsamlingen påbegyndes at føre en træksnor igennem det ledningsstykke, der ønskes kortlagt. Dette giver desværre systemet nogle ulemper. Eksempelvis er det på denne måde udelukkende muligt at kortlægge ledningsstykker, hvor der kan opnås adgang til mandehuller. Det vil sige, at stikledninger, hvor der ikke er mulighed for at få adgang til mandehullerne, ikke kan indgå i kortlægningen. Denne ulempe kunne dog afhjælpes, hvis man kobler sonden til en selvkørende vogn, som eksempelvis bruges til kamerainspektioner o. lign.

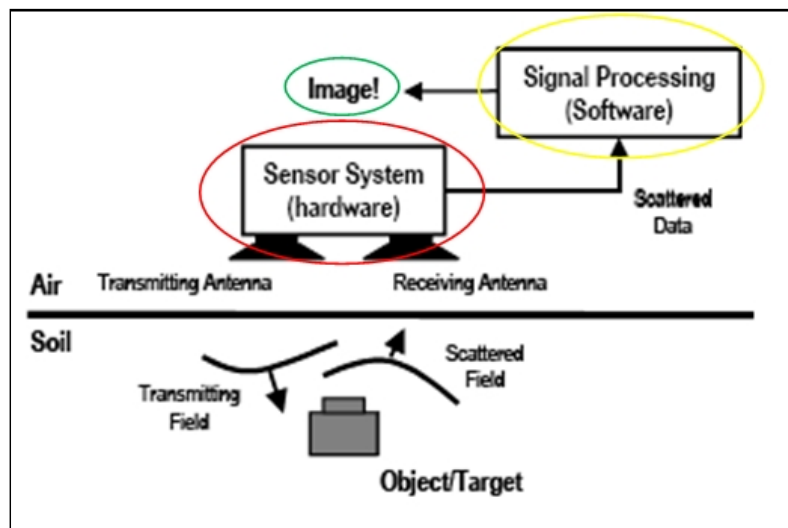
Idet der er tale om et system, der foretager dataindsamlingen indeni ledningen, er der selvsagt en række begrænsninger. Der kan naturligvis kun være tale om kortlægning af rør, hvilket afskærer en væsentlig del af de interessante ledningsnet med kabler. Ydermere er det nødvendigt, at sonden kan færdes frit i røret, hvilket i nogle tilfælde betyder, at den pågældende del af ledningsnettet ikke kan anvendes normalt under dataindsamlingen. Dog kan sonden arbejde under vand, hvilket betyder, at dataindsamling i eksempelvis et kloakrør vil kunne gennemføres på trods af, at ledningen anvendes normalt. Dette er dog ikke muligt i eksempelvis gas-, olie- eller vandværk. I et ledningsnet med drikkevand kunne man endvidere forestille sig, at ledningsejeren ikke var interesseret i, at sonden befinder sig indeni røret, idet der på denne måde er risiko for forureningen af vandet i ledningsnettet. En tømning af et ledningsnet samt et driftstop under dataindsamlingen kan i olie- og gasindustrien være en yderst bekostelig affære, hvorfor dette så vidt muligt undgås.

5.3 Ground Penetrating Radar

Ground penetrating radar er også kendt som georadar, subsurface interface radar og geoprobing radar, men i denne rapport vil betegnelsen ground penetrating radar eller forkortelsen GPR blive anvendt. Teknikken er en 'no-dig' teknologi, hvilket betyder, at dataindsamlingen foregår uden, at det er nødvendigt at blotlægge ledningerne. Der produceres et tværsnit af det underjordiske uden, at det er nødvendigt at grave, bore eller på andre måder komme i kontakt med elementer under

terrænets overflade. På denne måde er det muligt at bestemme dybden og dimensionen af begravede objekter og at studere naturlige underjordiske elementer. [www.pmprestij.com]

GPR systemer virker ved at udsende en elektromagnetisk strøm i jorden ved brug af en bredbånds antenne. Refleksioner fra jorden og objekter heri opfanges og vises på instrumentets display. Figur 5.8 viser princippet bag og set-up'et for en GPR. [www.pmprestij.com]



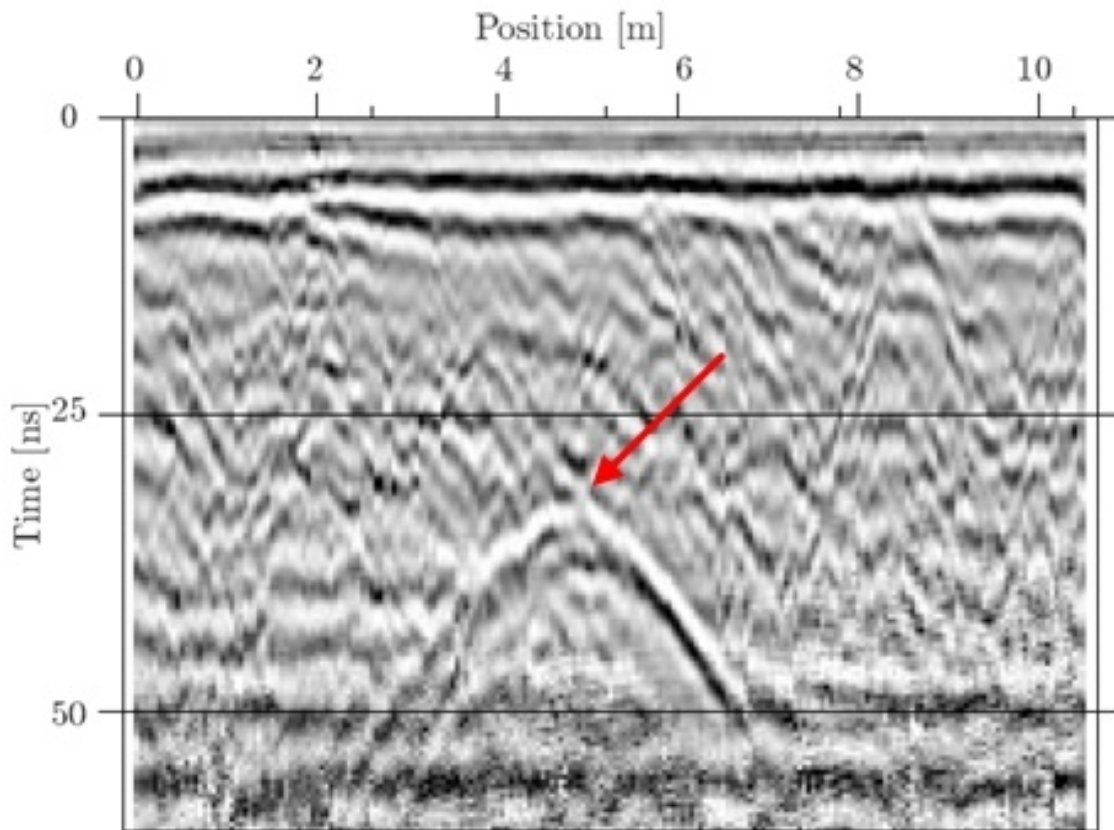
Figur 5.8 - Figuren viser princippet bag ground penetrating radar. [Karlsen]

Som det ses på figuren består set-up'et af tre dele:

- Et sensorsystem, som består af radarantennen, se Figur 5.8 den røde ring. Her udsendes den elektromagnetiske strøm fra én antenne, og det reflekterede signal opfanges af en anden antenne. Det er denne del af systemet, der køres eller trækkes henover jordoverfladen i interesseområdet, og når et begravet objekt lokaliseres, angiver antennens placering objektets planposition.
- En processerings enhed, som indeholder det software, der processerer det indsamlede radar data, se Figur 5.8 den gule ring. Det vil sige, at denne enhed konverterer det indsamlede radar data til et billede, som derefter vises i real-time på instrumentets display.
- En computer, som viser et billede af det processerede radar data i real-time, se Figur 5.8 den grønne ring. Her er det muligt for operatøren at se det reflekterede billede. På denne måde kan begravede objekter lokaliseres i real-time. På denne computer er det endvidere muligt at markere objekterne og bestemme dybden under terrænets overflade.

Som nævnt anvender GPR elektromagnetiske bølger til at lokalisere underjordiske objekter. Det betyder, at enhver dielektrisk diskontinuitet i det udbredende medie som f.eks. et begravet objekt eller forandringer i jordforhold vil forårsage en refleksion. På denne måde er det altså muligt at lokalisere både metalliske og ikke-metalliske elementer, og ikke som det er tilfældet med andre tek-

nikker udelukkende metalliske eller ledende objekter. Nogle systemer viser det processerede radar data i real-time, og andre GPR systemer georefererer det indsamlede radar data, hvorfor en post processing er nødvendig for at lokalisere og positionere de underjordiske objekter. Følgende Figur 5.9 viser et eksempel på real-time displayed radar data. [www.diwww.epfl.ch]

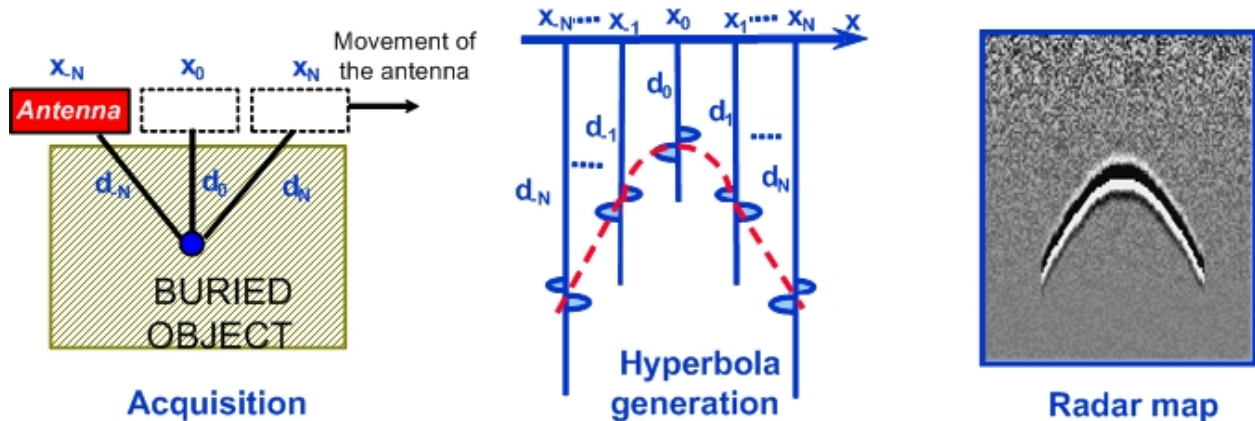


Figur 5.9 - Billedet er et eksempel på, hvorledes det processerede radar data vises. I midten af billedet markeret med en rød pil ses en top, der indikerer et større rør. [van der Kruk; 2001]

Som nævnt viser Figur 5.9 et billede af processeret radar data. Det er tydeligt at se den top, der indikerer et større rør i midten af billedet markeret med den røde pil. Den horisontale akse angiver antennen's placering, hvor 0 meter er startpunktet for dataindsamlingen. Skalaen angiver altså den afstand i meter, der er tilbagelagt fra startpunktet. Den vertikale akse er, som det ses på figuren, tiden i nanosekunder (ns). Det vil sige 'time of flight' for de elektromagnetiske bølger, fra tidspunktet de er udsendt, til refleksionen er opfanget i den modtagende antenne. Når den elektromagnetiske strøms karakteristika kendes, er det på denne måde muligt at beregne dybden af objektet. Det skal dog bemærkes, at udpeging af udslag i data foregår som et skøn af operatøren. Det betyder, at tydingen afhænger af operatørens rutine og omhyggelighed. Som eksempel kan det diskuteres, om der er tale om andre udslag fra ledninger i det viste billede eller blot støj fra sten o. lign.

Som nævnt er refleksionerne forårsaget af forskelle i de dielektriske konstanter i de underjordiske elementer. Intensiteten af refleksionen er derfor højere, jo større forskel der er mellem de die-

lektriske egenskaber. [MALÅ] Følgende Figur 5.10 viser, hvorledes toppen i radar billedet fremkommer.



Figur 5.10 - Figuren viser, hvordan toppen, der indikerer et begravet objekt, genereres. [Simi]

Første billede viser selve dataindsamlingen, hvor antennen føres henover det begravede objekt. Den røde kasse symboliserer antennen, der bevæges langs den horisontale akse, x . De reflekterede radarsignaler, d_{n-n} , rammer objektet, mens antennen føres henover det. Det andet billede viser processen i en forstørret udgave, hvor det er tydeligt at se, at udslaget er et resultat af refleksioner af de elektromagnetiske bølger på objektet. Det sidste billede viser blot endnu et eksempel på, hvorledes toppen vises i det processerede billede.

Jord- og overfladeforhold er ikke en altafgørende faktor ved brug af GPR. Ved opstart af dataindsamlingen gennemføres en on-site kalibrering, der sikrer, at GPR'en tilpasses til de specifikke forhold. Dette gør det muligt at lokalisere objekter under armeret beton, asfalt, grus og de fleste almindelige overflader. Som væsentlige begrænsninger i denne metode skal adgang til området samt den opnåelige dybde nævnes. GPR antennen er ofte, afhængigt af fabrikant, forholdsvis stor, mens processeringsenheden ofte er en mindre laptop. Det er derfor nødvendigt, at der er uhindret adgang til interesseområdet. Dette inkluderer også, at området er relativt ryddet for affald, vegetation og andet. Den mest begrænsende faktor er dog den maksimalt opnåelige dybde for GPR. Selvom den maksimalt opnåelige dybde afhænger af, hvilken frekvens antennen anvender, må GPR dog kategoriseres som en teknik, der kan anvendes i en relativt begrænset dybde. Den maksimalt opnåelige dybde er tæt forbundet med antennens frekvens. Jo lavere frekvens, jo større dybde. Men en lav frekvens betyder også, at kun større objekter lokaliseres. I disse dybder vil det altså ikke være muligt at lokalisere objekter som f.eks. kabler o. lign.

5.3.1 Vurdering

GPR anvender elektromagnetiske bølger til at identificere forskelle i forskellige underjordiske elementers dielektriske egenskaber. På denne måde er det muligt at udpege begravede objekter som eksempelvis ledninger. En af fordelene ved denne metode er, at det ikke er nødvendigt at have kontakt med den søgte ledning. Det er altså ikke nødvendigt at have adgang til stophaner, mandehuller eller andre elementer, der er forbundet med ledningen. På denne måde er det også muligt at lokalisere ledninger, som man ikke i forvejen kendte til. Man bestemmer altså eksistensen af alle ledninger i et givent interesseområde. Desuden skelnes der ved brug af denne metode ikke mellem, hvilken type ledning der er tale om. Det vil sige, at både rør og kabler af mange slags materialer kan lokaliseres. Dog skal det også her bemærkes, at denne teknik ikke positionerer ledningerne absolut, men blot lokaliserer deres placering i marken. Det er altså derfor nødvendigt at gennemføre en opmåling med traditionelle metoder for at gennemføre en absolut positionering.

Da ledningerne udpeges af operatøren under dataindsamlingen, er der en risiko for grove fejl. Er toppen i det viste billede ikke tilstrækkelig tydelig, er der risiko for, at den ikke udpeges og registreres. Ligeledes er der risiko for at andre objekter, som f.eks. større sten udpeges og registreres. Da GPR'en producerer et tværsnit af det underjordiske, gennemføres dataindsamlingen oftest i et grid. Tætheden af dette grid bestemmes ved eksempelvis at betragte bebyggelsesforhold. Det vil sige, at griddet ofte er tættere i bymæssig bebyggelse end i mere øde områder.

Også denne metode er underlagt nogle begrænsninger. Den største begrænsning er som nævnt den maksimalt opnåelige dybde. Dog er de mest anvendte frekvenser i stand til at bestemme objekter i en dybde af 5-7 meter, hvilket er tilstrækkeligt til at lokalisere langt de fleste underjordiske ledninger. Derudover kan et højt vandindhold i jorden være begrænsende for GPR'ens rækkevidde. Det er derfor ikke muligt at lokalisere ledninger placeret under grundvandsspejlet.

5.4 Opsamling

De tre beskrevne teknikker anvendes alle til at lokalisere eller kortlægge ledninger. Radiodetection udnytter naturlige eller genererede elektromagnetiske felter til at lokalisere underjordiske ledninger. PipeTrack sonden bestemmer rørforløb ved brug af gyroer og odometre. GPR anvender elektromagnetiske bølger til at identificere forskelle mellem forskellige elementers dielektriske egenskaber. På denne måde lokaliseres rør og kabler af mange forskellige materialer.

Hver af disse metoder har deres fordele og deres begrænsninger. Det er derfor vigtigt at overveje, hvilke krav man har til kortlægningen. Klientens krav og behov skal altså specificeres grundigt, inden kortlægningen planlægges og gennemføres.

6 Problemafgrensning

I foranalysen er den valgte problemstilling blevet præsenteret. Formålet med at arbejde med kortlægning af underjordiske ledninger er godtgjort gennem beskrivelser af baggrunden for problemet og en forklaring af, hvordan problemet på nuværende tidspunkt håndteres i Danmark.

Herefter er der opstillet en kravspecifikation for kortlægning af ledningsnet. På denne måde redegøres der for, hvilke informationer der skal registreres ved en kortlægning. Denne er opdelt i primære og sekundære krav, idet ikke alle oplysninger er relevante for alle ledningsejere. Denne specifikation giver et overblik, der er nødvendigt for at kunne vurdere forskellige kortlægningsmetoder og deres anvendelighed i denne sammenhæng.

Endeligt præsenteres tre eksisterende løsninger, der anvendes til kortlægning af ledningsnet. Beskrivelsen af disse er udarbejdet ud fra et litteraturstudie, hvilket betyder, at den studerende ikke nødvendigvis har erfaring med metoderne. Disse beskrivelser omfatter blandt andet en forklaring om princippet bag metoden, og begrænsningerne metoden er underlagt. Det er valgt at behandle følgende tre løsninger: Radiodetection, PipeTrack og Underground Penetrating Radar. Fordelen ved Radiodetection er, at der er tale om udstyr, der er meget simpelt at anvende. Dog forudsætter denne metode, at det er muligt at opnå adgang til ledningerne for at skabe et elektromagnetisk felt, der kan lokaliseres med detektoren. PipeTrack er en sonde, der føres igennem rørene og registrerer afstande og retningsændringer. Det vil sige, at ledningsnettets placering bestemmes ud fra sondens startposition. Den største ulempe ved dette system er, at sonden skal føres igennem røret, hvilket betyder, at det kun er muligt at kortlægge strækninger, hvor der kan opnås adgang til begge ender af røret. Ydermere afskærer metoden naturligvis kortlægning af alle de ledningsnet, der består af kabler. Ground Penetrating Radar er den eneste af metoderne, der ikke kræver kontakt med ledningen. Instrumentet benytter elektromagnetiske bølger for at detektere ledningerne. Det vil sige, at det er muligt at lokalisere både kabler og rør af mange materialer. Fælles for alle metoderne er den ulempe, at der ikke positioneres absolut under dataindsamlingen. Det er derfor nødvendigt at kombinere dem med traditionelle opmålingsmetoder for at opnå en absolut positionering af ledningsnettet.

Den studerende vælger på dette tidspunkt at fravælge to af de tre lokaliseringsmetoder for at koncentrere det følgende arbejde om en enkelt af metoderne. Da den studerende ikke har adgang til udstyr til Radiodetection- eller PipeTrack-metoderne, fravælges disse. Det vil sige, at der arbejdes videre med Ground penetrating radar, hvor det er muligt at låne udstyr af eksterne samarbejdspartnere i COWI Qatar.

6.1 Problemformulering

Følgende problemformulering er udarbejdet. Denne vil være retningsgivende for det videre analysearbejde.

Med hvilken kvalitet kan kortlægning med ground penetrating radar gennemføres?

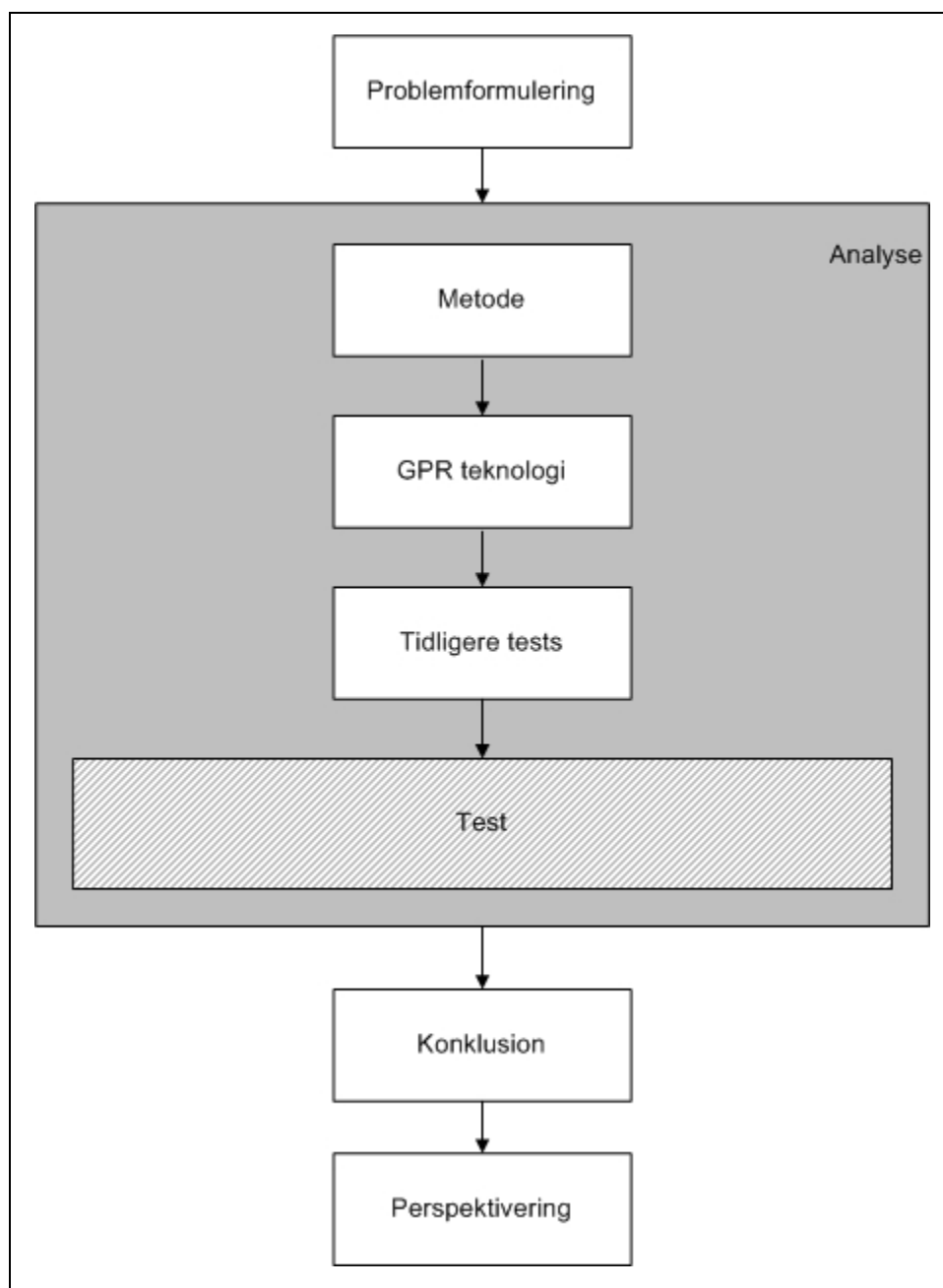
Dette problem kan udspecificeres i følgende delspørgsmål:

- Hvor præcist bestemmes ledningens plane position?
- Hvor præcist bestemmes ledningens dybde under jorden?
- Hvor præcist bestemmes ledningens dimension?
- Hvilken fuldstændighed opnås ved kortlægningen?
- Er det muligt at bestemme enkeltkomponenters position?
- Er det muligt at bestemme hvilket materiale, ledningen er fremstillet af?
- Er det muligt at skelne mellem forskellige anvendelser? Eksempelvis mellem strøm- og datakabler eller mellem olie- og vandrør.

Dette ønskes undersøgt gennem en empirisk undersøgelse. På denne måde søges problemformuleringen besvaret, og den studerende får erfaring med at arbejde med denne metode. Det betyder, at der ydermere kan gives en vurdering af den praktiske anvendelighed og uhensigtsmæssigheder ved metoden.

7 Analysestruktur

Efter at have gennemført foranalysen og udarbejdet den endelige problemformulering er det muligt at fastlægge strukturen for det videre analysearbejde i projektet. Følgende Figur 7.1 viser et diagram over strukturen for analysen.



Figur 7.1 - Figuren viser strukturen over projektets analyse.

Som nævnt i problemafgrænsningen søges problemformuleringen besvaret gennem en empirisk undersøgelse. Diagrammet på Figur 7.1 viser strukturen for den følgende analyse. Boksene i diagrammet symboliserer projektarbejdets elementer, hvilket betyder, at ikke alle er repræsenteret med et afsnit.

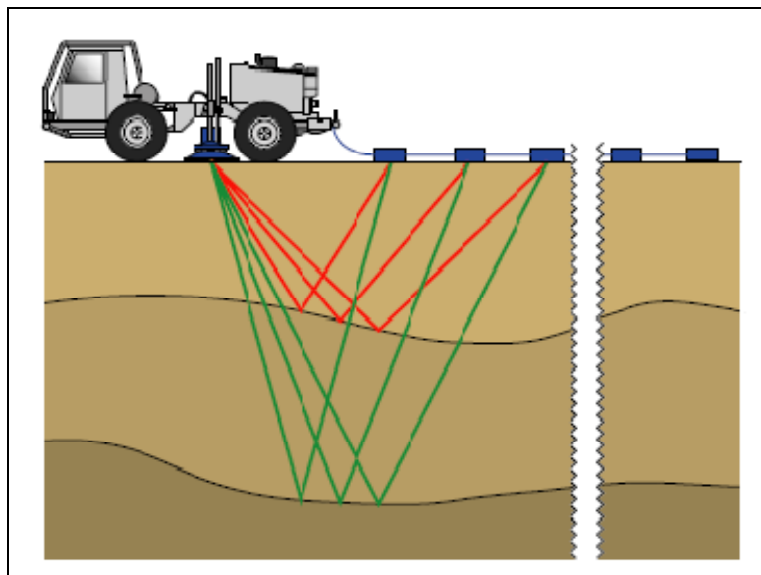
Som det ses, er det væsentligste input til denne del af arbejdet problemformuleringen. Denne angiver i hvilken retning, projektarbejdet herefter skal bevæge sig. Analysen indledes med denne strukturbeskrivelse, der overordnet beskriver arbejdsgangen. Herefter følger en mere indgående redegørelse for principperne bag ground penetrating radar. Det omfatter en betragtning af de dielektriske principper og de begrænsninger, metoden er underlagt. Herefter søges der inspiration til testopbygningen ved at betragte tests af lignende instrumenter foretaget andre steder. Herved erfares det, hvilke elementer af kortlægningen man andre steder har fundet væsentlige at teste, og hvordan testen rent praktisk er gennemført. Efter disse analyser kan den egentlige test påbegyndes. En detaljeret beskrivelse af strukturen for denne del af arbejdet vil blive præsenteret på et senere tidspunkt. Efter arbejdet med hovedanalysen er gennemført er det muligt at reflektere over resultaterne i forhold til problemformuleringen. Dette udmunder i konklusionen, der vil søge at besvare problemformuleringens spørgsmål samt præcisere, hvilke forudsætninger disse resultater er underlagt. Projektarbejdet afrundes med en perspektivering.

8 Ground Penetrating Radar – Teknologi

Dette kapitel vil bygge videre på afsnit 5.3 *Ground Penetrating Radar*. Her præsenteres betingelserne for at anvende systemet. Derudover redegøres der for principperne bag metoden og faktorerens sammenhæng. Den teoretiske gennemgang er holdt på et overordnet niveau, idet et dybdegående studie af de fysiske principper ikke vil bidrage med brugbare oplysninger i forhold til problemstillingen.

8.1 Betingelser for anvendelse

GPR er i princippet ligesom refleksionsseismik og sonar, bortset fra at der benyttes elektromagnetiske bølger i stedet for lydbølger. Figur 8.1 viser princippet ved refleksionsseismik. Monteret under køretøjet findes en seismisk vibrator, der sender lydbølger frembragt af vibrationerne ned i jordlagene. Disse bølger reflekteres delvist ved laggrænserne, og det reflekterede signal registreres af en række geofoner på jordoverfladen. Når dette er gennemført, løftes vibratorpladen, og køretøjet flyttes til næste målepunkt, hvor processen gentages. [Olsen, 2002] Sonar er meget tilsvarende refleksionsseismik med den forskel, at processen foregår under vand, og at lydbølgerne udsendes af en afsender.



Figur 8.1 - Figuren viser princippet bag refleksionsseismik. [Olsen, 2002]

GPR sender korte højfrekvente (10 MHz – 1000 MHz) elektromagnetiske bølger ned i jorden. Udbredelsen af disse bølger i jorden afhænger af de elektriske egenskaber, som hovedsageligt er bestemt af dielektricitetskonstanten, der øges med vandindholdet, og den elektriske ledningsevne, der øges med ionindholdet. Dielektricitetskonstanten er et udtryk for den relative permittivitet, der

beskriver et materiales evne til at frembringe en strømning, eksempelvis af et elektromagnetisk felt, når det påvirkes af et sådant felt. Med andre ord beskriver denne konstant altså, hvor nemt det elektromagnetiske felt har ved at udbrede sig i det pågældende materiale. [www.denstoredanske.dk1] [www.denstoredanske.dk2] Disse egenskaber har indflydelse på bølgenes udbredelseshastighed, dæmpning og refleksion. Valg af antennefrekvens afhænger af, hvorvidt man er interesseret i en stor dybderækkevidde eller en god vertikal opløsning, idet en højere frekvens giver bedre vertikal opløsning, men dårligere rækkevidde. [Mauring, 1995]

Dybderækkevidden for elektromagnetiske bølger aftager med øgende ledningsevne. Det vil sige, at signaler dæmpes i materialer med god ledningsevne, og det er derfor ikke muligt at 'se' igennem godt ledende materialer som eksempelvis ler og saltvand. Ved målinger gennem løsere aflejringer egner metoden sig bedst til tørre grovkornede materialer. Målinger kan dog også gennemføres gennem grove, vandmættede aflejringer på trods af, at vandet øger ledningsevnen, idet vandmætningen også øger dielektriciteten og dermed forplantningen af de elektromagnetiske bølger. Ser man bort fra antennefrekvens er følgende et groft udtryk for dybderækkevidden:

$$d_{max} < \frac{35}{\sigma}$$

Hvor σ er den elektriske ledningsevne i mS/m
[Mauring, 1995]

Følgende tabel, Figur 8.2, viser eksempler på maksimal dybderækkevidde for en række almindelige materialer. Disse er baseret på erfaring, og der er ikke taget hensyn til antennefrekvens.

Materiale	Maksimal dybderækkevidde, m
Sand/grus	60
Moræne	15
Silt	5-10
Ferskvand	15-25
Tørv	15-20
Ler	2-4
Polaris	>4000
Tør stensalt	>2000
Fjeld	75-300

Figur 8.2 - Tabellen viser eksempler på dybderækkevidde. Der er ikke taget hensyn til antennefrekvens. [Mauring, 1995]

Idet der ikke tages hensyn til antennefrekvens, skal disse værdier udelukkende betragtes som tilnærmelser. Dette skyldes, at antennefrekvensen er afgørende for dybderækkevidden.

Som nævnt tidligere, benytter GPR forskelle i dielektriske egenskaber til at lokalisere begravede objekter. Det er dog nødvendigt, at der er en vis forskel mellem de forskellige materialer, før objektet forårsager identificerbare refleksioner. Følgende beskriver denne sammenhæng:

$$P_r = \left| \frac{\sqrt{\epsilon_{rv}} - \sqrt{\epsilon_{ro}}}{\sqrt{\epsilon_{rv}} + \sqrt{\epsilon_{ro}}} \right|^2 > 0,01$$

Hvor ϵ_{rv} er dielektricitetskonstanten for værtsmaterialet

ϵ_{ro} er dielektricitetskonstanten for objektet

[Mauring, 1995]

8.2 Teori

Da GPR som nævnt anvender elektromagnetiske bølger, er det nødvendigt at kende principperne bag disse for at forstå teknologiens styrker og svagheder.

8.2.1 Elektromagnetiske bølgers forplantning

Udsendelse, forplantning, refleksion, refraction og diffraktion af elektromagnetiske bølger er baseret på Maxwells ligninger. Disse beskriver sammenhængen mellem den elektromagnetiske bølges elektriske og magnetiske egenskaber udtrykt ved de elektriske og magnetiske egenskaber for mediet, som bølgerne forplantes igennem. Disse ligninger kan kombineres til én enkelt differentiaalligning, kaldet bølgeligningen. For det elektriske felt udtrykkes den ved:

$$\Delta^2 E = \gamma^2 E$$

For det magnetiske felt ved:

$$\Delta^2 H = \gamma^2 H$$

Hastighed og dæmpning af elektromagnetiske bølger kan udledes fra γ^2 , som benævnes forplantningskonstanten:

$$\gamma^2 = j\omega\mu(\sigma + j\omega\epsilon)$$

Med udgangspunkt heri formuleres bølgetallet, γ :

$$\gamma = \alpha + j\beta$$

Hvor

$$\alpha = \omega \sqrt{\frac{\mu\epsilon}{2} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega\epsilon}\right)^2} + 1 \right)}$$

$$\beta = \omega \sqrt{\frac{\mu\varepsilon}{2} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega\varepsilon} \right)^2} - 1 \right)}$$

α kaldes dæmpningsfaktoren, og β kaldes forplantningsfaktoren.

[Mauring, 1995]

Symbolforklaring:

$$\omega = 2\pi f \text{ (rad/s)}$$

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r \text{ (F/m)}$$

$$\mu = \mu_r \mu_0 \text{ (H/m)}$$

σ er elektrisk ledningsevne (S/m)

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ (H/m)}$ er magnetisk permeabilitet i vakuum

f er antennefrekvens (Hz)

$$j = \sqrt{-1}$$

μ_r er relativ magnetisk permeabilitet, som er en ubenævnt størrelse.

Denne sættes = 1 for de mest almindelige materialer.

$\varepsilon_0 = \frac{10^{-9}}{36\pi} \text{ (F/m)}$, dielektricitet i vakuum.

ε_r er dielektricitetskonstanten, som er en ubenævnt størrelse. Denne er en værdi fra 1 – 80 for geologiske materialer.

Dielektricitetskonstanten er misvisende, idet den varierer med frekvens. Dog er værdien konstant indenfor mindre frekvensområder.

Ud fra de tidligere nævnte udtryk, dæmpningsfaktoren og forplantningsfaktoren kan hastigheden for elektromagnetiske bølger i geologiske materialer, fasehastigheden, bestemmes:

$$V = \frac{\omega}{\beta}$$

Betragtes elektromagnetiske bølgers udbredelseshastighed i vakuum opnås:

$$V = \frac{\omega}{\beta} = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}} = c$$

Hvor

$$c = 2,988 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$\sigma = 0$$

$$\varepsilon = \varepsilon_0$$

$$\mu = \mu_0$$

[Mauring, 1995]

Ved GPR målinger anvendes oftest frekvenser i området 10 MHz – 1000 MHz, og i de fleste udbredelsesmedier ligger σ i området 0,2 mS/m - 10 mS/m og $\mu_r \approx 1$. I dette tilfælde kan udbredelsestakstigheden sættes til:

$$V = \frac{\omega}{\beta} \approx \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}} = \frac{1}{\sqrt{\mu_r\mu_0\epsilon_r\epsilon_0}} = \frac{c}{\sqrt{\mu_r\epsilon_r}}$$

$$\mu_r = 1 \Rightarrow V \approx \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

[Mauring, 1995]

Det ses her, at det i de fleste udbredelsesmedier er dielektricitetskonstanten, der har størst betydning for de elektromagnetiske bølgers udbredelsestakstighed, og som nævnt tidligere er det indholdet af vand, der kontrollerer dielektricitetskonstanten. Følgende tabel, Figur 8.3, viser typiske værdier for dielektricitetskonstanten, elektrisk ledningsevne, takstighed og dæmpning i en række almindelige geologiske materialer ved brug af en antenne med frekvens 100 MHz.

Materiale	ϵ_r	σ (mS/m)	V (m/ns)	α (dB/m)
Luft	1	0	0,30	0
Destilleret vand	80	0,01	0,033	$2 \cdot 10^{-3}$
Ferskvand	80	0,5	0,033	0,1
Saltvand	80	30000	0,01	1000
Tørt sand	3-10	0,01 - 0,5	0,15	0,01
Vandmættet sand	20-30	0,1 - 1,0	0,06	0,03 - 0,3
Kalksten	4-8	0,5 - 2	0,12	0,4 - 1
Silt	5-30	1 - 100	0,07	1 - 100
Ler	5-40	1 - 1000	0,06	1 - 300
Granit	4-6	0,01 - 1	0,13	0,01 - 1
Tør salt	5-6	0,01 - 1	0,13	0,01 - 1
Is	3-8	0,01	0,16	0,01

Figur 8.3 - Tabellen viser typiske værdier for dielektricitetskonstant, elektrisk ledningsevne, takstighed og dæmpning ved brug af en antennefrekvens på 100 MHz. [Mauring, 1995]

Det ses af tabellen, at dielektricitetskonstanten for vand er angivet til 80 og for de fleste tørre materialer i området 4-8. Det er derfor tydeligt at se, at dielektricitetskonstanten er afhængig af vandindholdet i materialet.

8.2.2 Vertikal opløsning

Udtrykket vertikal opløsning dækker over den mindste afstand mellem to objekter i det tilfælde, at der optræder flere objekter i et mindre område. Dette udtryk refereres normalt til bølgelængden λ og er ideelt $\lambda/4$. Usikkerhed ved hastighedsbestemmelse og variationer i bølgeformen betyder dog, at den virkelige opløsning ligger i intervallet $\lambda/3 - \lambda/2$. Bølgelængden angives ved:

$$\lambda = \frac{V}{f} \approx \frac{c}{f\sqrt{\epsilon_r}}$$

[Mauring, 1995]

Denne sammenhæng gælder for $\sigma < 10 \text{ mS/m}$. Dette er opfyldt for langt de fleste geologiske materialer. Af udtrykket ser vi, at den vertikale opløsning øges med øgende antennefrekvens og dielektricitetskonstant. Det er derfor vigtigt at gøre sig klart, om man ønsker en god vertikal opløsning eller en stor dybderækkevidde, inden man vælger antenne. Følgende tabel, Figur 8.4, giver nogle eksempler på vertikal opløsning for nogle værdier af ϵ_r ved 50 MHz og 200 MHz antenner.

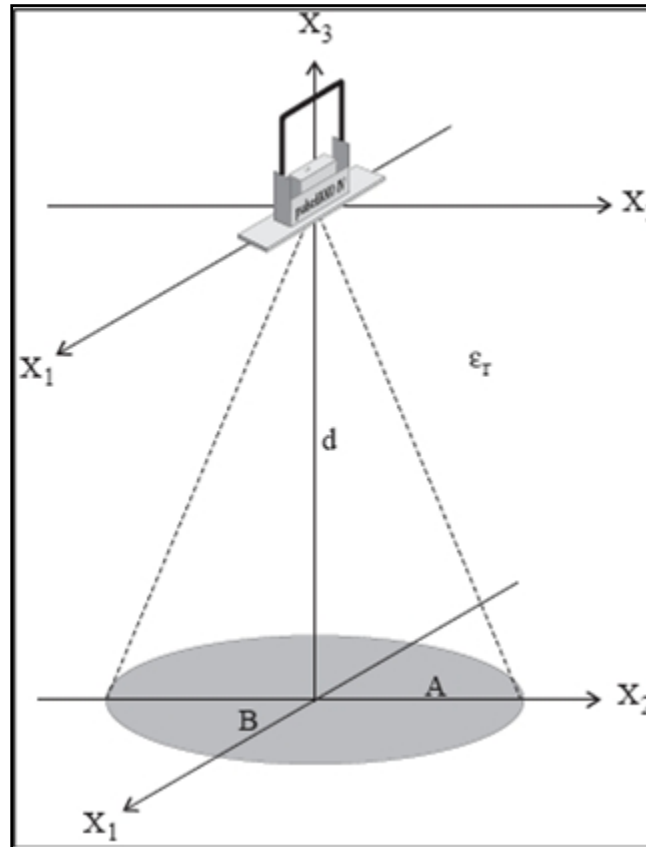
f (MHz)	ϵ_r	Vert. opl. (m)
50	4	1,5
50	25	0,6
50	81	0,3
200	4	0,4
200	25	0,15
200	81	0,08

Figur 8.4 - Tabellen viser eksempler på vertikal opløsning for to forskellige antennefrekvenser. [Mauring, 1995]

Som det ses af tabellen, er den vertikale opløsning altså højere ved brug af en antenne med højere frekvens.

8.2.3 Horisontal opløsning

Refleksionen fra en plan grænseflade skal have et minimumsareal, som betegnes den horisontale opløsning. Figur 8.5 viser dette minimumsareal som en skraveret ellipse med halvakserne A og B.



Figur 8.5 - Figuren viser den horisontale opløsning for en plan grænseflade. [Mauring, 1995]

Et objekt kan detekteres hvis $B > d/10$, hvilket betyder, at objektet skal have en udstrækning på mindst 10 % af dybden. A og B skal bestemmes ved følgende:

$$A = \frac{\lambda}{4} + \frac{d}{\sqrt{\epsilon_r - 1}} \approx \frac{c}{4f\sqrt{\epsilon_r}} + \frac{d}{\sqrt{\epsilon_r - 1}}$$

$$B = \frac{A}{2}$$

Ellipsen med disse halvaksler angiver altså arealet på et objekt, hvor det meste af energien bliver reflekteret fra.

8.3 Opsamling

I dette kapitel gøres der rede for teknologien bag ground penetrating radar. Dette omfatter, hvilke begrænsninger og påvirkninger teknikken er underlagt. Desuden behandles den bagvedliggende teori, der inkluderer elektromagnetiske bølgers forplantning og den vertikale samt horisontale opløsning. Efter der er opnået kendskab til de grundlæggende principper, er det muligt at arbejde videre med forberedelserne til testen.

9 Tidligere test

Dette kapitel vil beskrive en anden test af ground penetrating radars. Formålet hermed er, at samle inspiration inden planlægningen af den empiriske undersøgelse påbegyndes. Det er derfor testens opbygning, der fokuseres på i det følgende. Da testens resultat selvfølgelig er stærkt afhængig af de valgte instrumenter, udelades en gennemgang af disse.

9.1 Danmarks Tekniske Universitet

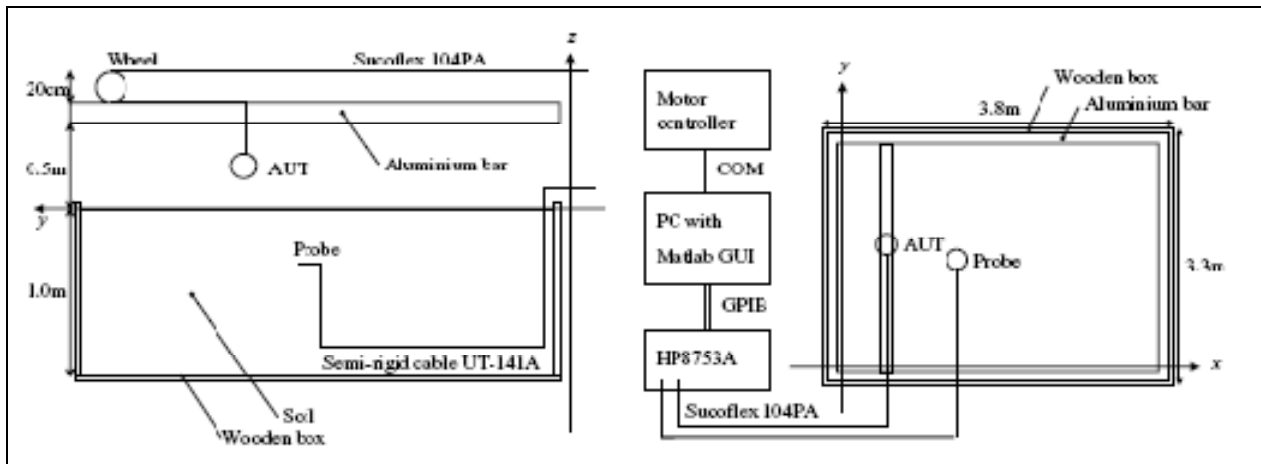
Denne undersøgelse er foretaget på Danmark Tekniske Universitet (DTU) i 2004. Formålet med arbejdet var at konstruere et testanlæg, der gjorde det muligt at undersøge GPR antenner under kontrollerede og konsistente forhold. Dette ville gøre det muligt at sammenligne resultaterne for de forskellige antenner. [Lenler-Eriksen]

Forskningsholdet konstruerede en trækasse med dimensionerne: 3,8 meter lang, 3,3 meter bred og 1 meter dyb. Kassen er fyldt med jord for at skabe en ensartet baggrund for de begravede objekter. Over kassen er placeret en kranbane, der gør det muligt at bevæge antennen henover overfladen af anlægget. Denne kranbane har en bevægelsesfrihed, der gør, at antennen kan bevæges i to retninger, så hele kassens areal kan undersøges for begravede objekter. Figur 9.1 viser et billede af testanlægget. [Lenler-Eriksen]



Figur 9.1 - Billedet viser testanlægget og især kranbanen, der bevæger antennen. [Lenler-Eriksen]

På billedet ses især kranbanen, der gør det muligt at bevæge antennen henover kassens overflade. Figur 9.2 viser en tegning af testanlægget.



Figur 9.2 - Tegningerne viser testanlægget. Til venstre ses anlægget fra siden, og til højre ses anlægget ovenfra. [Lenler-Eriksen]

Tegningen til højre viser testanlægget set ovenfra, og tegningen til venstre viser anlægget set fra siden. Som det ses, er der placeret en sonde omtrent midt i kassen i en dybde af 20,3 cm. Ved brug af dette anlæg blev i alt 8 antenner testet i løbet af en uge, og resultaterne blev sammenlignet for at give en vurdering af disse antenner. [Lenler-Eriksen]

9.2 Opsamling

I dette kapitel er en tidligere undersøgelse blevet beskrevet. Formålet med at studere tidligere tests er at samle inspiration, inden planlægningen af projektets empiriske undersøgelse påbegyndes. Undersøgelsens resultater er som nævnt ikke inkluderet i denne gennemgang, da disse er mere afhængige af den valgte antenne end af undersøgelsens opbygning.

I denne undersøgelse er der tale om et mindre testanlæg, hvis opbygning og egenskaber er kendte. På denne måde kan testene gennemføres under kontrollerede og konsistente forhold. Dette medfører dog, at testanlægget på nogle punkter adskiller sig væsentligt fra realistiske forhold. Kassen er i dette tilfælde fyldt med et homogent materiale for at skabe en ensartet baggrund for de begravede objekter. Dette vil næppe være tilfældet i praksis, da der oftest er en vis variation i underlaget samt diverse naturlige begravede objekter som f.eks. sten. I praksis vil man desuden ofte komme ud for, at overfladen adskiller sig væsentligt fra de dybereliggende lag. I bebyggede arealer vil man ikke sjældent opleve at skulle lokalisere ledninger gennem asfalt eller diverse andre typer belægning. Selv i tilfælde hvor der ikke er tale om belægning er det øverste lag af jorden ofte forarbejdet ved tilførsel af f.eks. ekstra muld, stabilgrus eller sand, der ofte adskiller sig væsentligt fra de dybereliggende lag.

Det vurderes altså, at dette testanlæg skaber en testsituation, der adskiller sig væsentligt fra de forhold, der opleves i praksis. Det betyder, at en sådan type test egner sig bedst til sammenligning

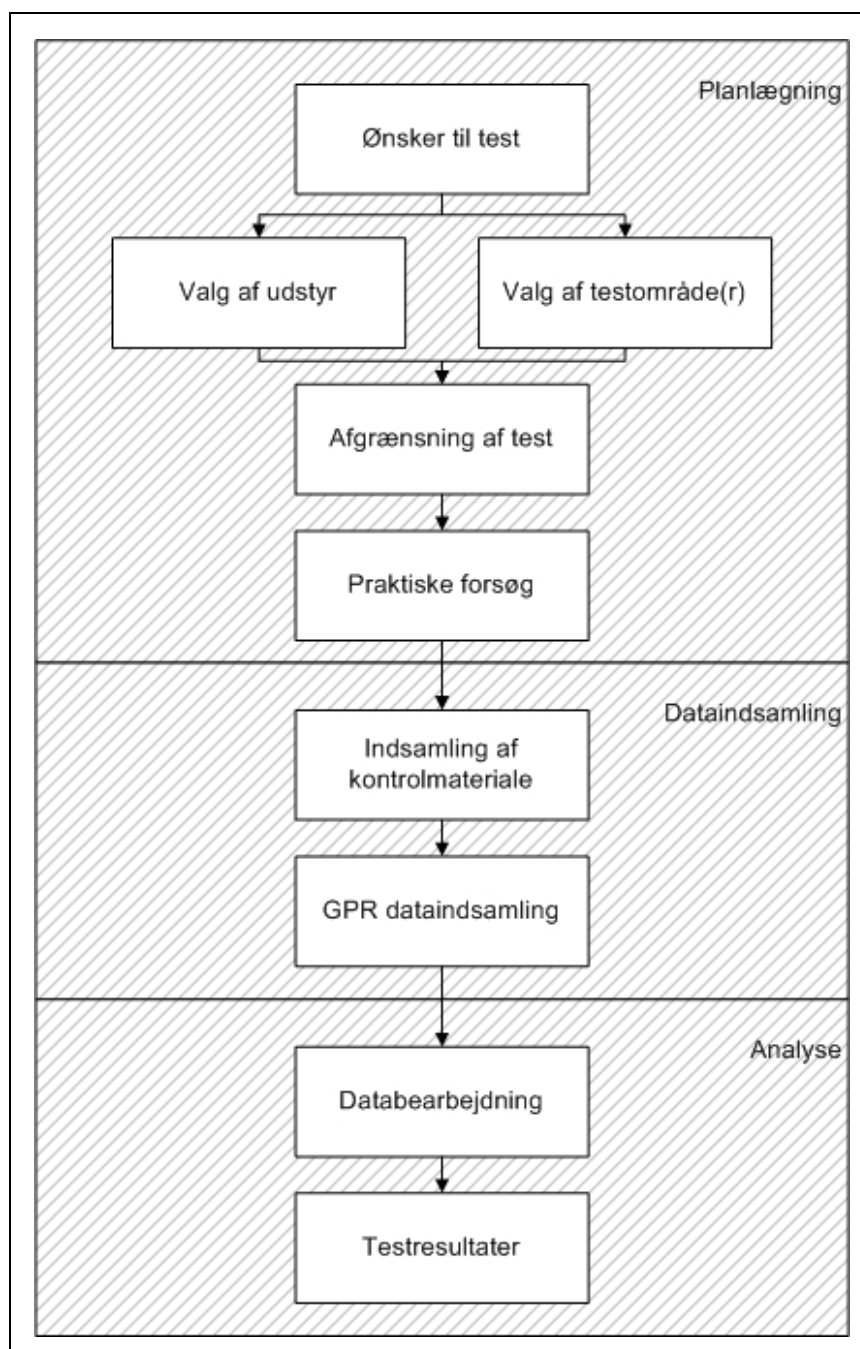
af flere forskellige antenner. Under kontrollerede og konsistente forhold opnås resultater, der er påvirket af de samme faktorer, og derfor kan sammenlignes uden hensyntagen til ydre påvirkninger. Til undersøgelse af en enkelt antenne vurderes det, at mere realistiske forhold burde tilstræbes.

10 Metode for test

Dette kapitel vil beskrive strukturen for den empiriske undersøgelse. Her vil de enkelte dele blive beskrevet og deres sammenhæng med foregående og efterfølgende elementer blive klarlagt. En sådan planlægning af testens opbygning sikrer, at der er taget højde for de relevante faktorer.

10.1 Test struktur

For at illustrere testens opbygning på en overskuelig måde er der udarbejdet et diagram, der viser testens elementer, se Figur 10.1. Det skal dog understreges, at boksene i diagrammet symboliserer de enkelte elementer. Det betyder, at ikke alle bokse nødvendigvis er repræsenteret ved et selvstændigt afsnit eller kapitel, men blot ved en proces eller analyse.



Figur 10.1 - Diagrammet viser testens opbygning.

Som det ses, er testen på et overordnet niveau opdelt i tre faser:

- Planlægning
- Dataindsamling
- Analyse

Disse dele er derefter hver især inddelt i flere elementer.

Planlægningen er en væsentlig del af testen, da det her sikres, at testen er sammensat, så den belyser de ønskede aspekter tilstrækkeligt og på den rigtige måde. Det vil sige, at alle aspekter af

testen nøje skal overvejes og planlægges for at sikre, at testens resultater kan danne baggrund for en udtalelse om problemstillingen frem for at være et antal tilfældige stikprøver. Planlægningen indledes med en redegørelse for, hvilke aspekter og forhold den studerende har interesse i at undersøge. Det vil sige, at alle ønsker inddrages i denne opsummering uden hensyntagen til begrænsende faktorer og forhold, undersøgelsen måtte være underlagt. Herefter udvælges og præsenteres det nødvendige udstyr. Dette inkluderer en forklaring på udstyrets opbygning og specifikationer angivet af producenten. Sideløbende med denne proces foregår en udpegning af testområder. Det forventes på nuværende tidspunkt, at det er nødvendigt at gøre brug af flere testområder for at opnå den nødvendige variation i testmaterialet. Dette vil dog blive diskuteret mere indgående i beskrivelsen af udvælgelsen, der indebærer en beskrivelse af området, argumenter for at inddrage netop dette område i testen, samt en beskrivelse af hvilke begrænsninger brug af området medfører for testen. Efter redegørelsen for disse konkrete forhold er det muligt at afgrænse testen. Her tages bl.a. det valgte udstyrs og de valgte områders muligheder og begrænsninger i betragtning for at tilpasse testens interesseområde. Denne afgrænsning udmunder i en specificering af hvilke forhold, der ønskes undersøgt i de praktiske forsøg. Her vil der yderligere blive redegjort for, hvordan undersøgelsens resultater præsenteres, og hvilke datasæt der er nødvendige for at belyse de valgte forhold.

Når planlægningen er gennemført, er det muligt at påbegynde dataindsamlingen. Denne består af to dele: Dataindsamling til kontrolmateriale og dataindsamling med GPR'en. Formålet med kontrolmaterialet er, som navnet afslører, at danne kontrolgrundlag for den egentlige undersøgelse. Det er derfor vigtigt, at denne dataindsamling foregår således, at det er sikret, at kontrolmaterialet er af overlegen nøjagtighed i forhold til undersøgelsen. Herefter foretages dataindsamlingen med GPR'en i overensstemmelse med de retningslinier, der er formuleret under planlægningsfasen.

Med begge datasæt indsamlet kan den egentlige analyse gennemføres. Her sammenlignes testdata med kontrolmaterialet. Første del af analysen er derfor selve databearbejdningen, hvor det forklares, hvordan det indsamlede data er behandlet for at danne grundlag for de følgende beregninger. Der foretages dermed ingen beregninger eller præsenteres resultater i denne del af projektet. Sidste del af analysen er præsentation af testresultaterne. Resultaterne er beregnet ved brug af udtryk præsenteret tidligere i projektet. Derudover vil der her blive givet en vurdering af de opnåede testresultater, der gør det muligt i den afsluttende konklusion at udtale sig om projektets problemstilling.

11 Testelementer

Dette kapitel har til formål at præsentere, hvilke forhold der ønskes testet. Det vil sige, at alle de forhold og funktioner, den studerende finder interessant at undersøge, beskrives og præciseres. Det er dog ikke nødvendigvis alle forholdene, der medtages i den endelige test.

11.1 Ønsker til test

Som beskrevet i kapitel 4 *Kravspekifikation* er det interessant at registrere følgende oplysninger om et ledningsnet:

- Planposition. Her kan man vælge at registrere en relativ position i forhold til et lokalt koordinatsystem eller en absolut position i et overordnet referencesystem.
- Dybde eller kote. I nogle tilfælde er informationer om dybde under jordoverfladen lettere anvendelige end en kote i forhold til et højdesystem. I undersøgelserne udført som del af dette projekt vælges det dog at behandle højdeinformationerne som en kote i forhold til et højdesystem, da dette gør det muligt direkte at sammenligne det indsamlede data med kontrolmaterialet.
- Dimension. Oplysninger om dimensionen af ledningen vil ofte registreres som en diameter, $\emptyset$.
- Anvendelse. Oplysninger om, hvad ledningen anvendes til, kan bruges til at klassificere ledningen. På denne måde vil det være muligt at adskille forskellige ledningsnet fra hinanden i områder, hvor flere net er til stede.
- Placering af enkeltkomponenter. Disse oplysninger kunne eksempelvis være placering af stophaner og registreres i form af en relativ eller absolut position.
- Materiale. Denne oplysning vil som anvendelsen kunne bruges til at klassificere ledningen.

Det er i forbindelse med registrering af disse oplysninger interessant at undersøge de delspørgsmål, der blev præciseret i afsnit 6.1 *Problemformulering*:

- Hvor præcist bestemmes ledningens plane position?
- Hvor præcist bestemmes ledningens dybde under jorden?
- Hvor præcist bestemmes ledningens dimension, $\emptyset$?
- Hvilken fuldstændighed opnås ved kortlægningen?
- Er det muligt at bestemmes enkeltkomponenters position?
- Er det muligt at bestemme, hvilket materiale ledningen er fremstillet af?
- Er det muligt at skelne mellem forskellige anvendelser?

Ydermere kunne det være interessant at undersøge, om det nævnte afhænger af følgende forhold på det enkelte testområde:

- Dybden af ledningen
- Den omgivende jordtype
- Belægning på jordoverfladen
- Ledningens dimension
- Ledningens materiale

For at undersøge disse afhængigheder, er det nødvendigt at finde meget varierede testfelter. Disse forhold skal derfor holdes for øje i forbindelse med udvælgelse af testområder.

Ydermere kunne det være interessant at belyse anvendeligheden af systemet. Hermed menes, hvor operationelt udstyret er, og hvilket tidsforbrug der skal påregnes en opmåling. I denne sammenhæng er det desuden naturligt at betragte anvendeligheden af systemets output. Såsom hvorledes det er muligt at præsentere resultaterne af opmålingen og bevare disse oplysninger til eventuelt senere brug. Ydermere kunne man overveje, hvorvidt det er muligt at optimere arbejdsgangen ved dataindsamling. Det vil sige, om der kan anvendes en anden metode end tværsnit til lokalisering af ledningen.

11.2 Opsamling

Dette kapitel har præsenteret elementer den studerende finder det interessant at inddrage i en undersøgelse. Inden den endelige test kan sammensættes, er det nødvendigt at udvælge det udstyr, der ønskes anvendt samt de testområder, hvor testen skal gennemføres. Disse kan have begrænsende virkning på testens omfang og omdrejningspunkter. Ydermere kan det virke begrænsende, at testen skal gennemføres over en kortere begrænset tidsperiode.

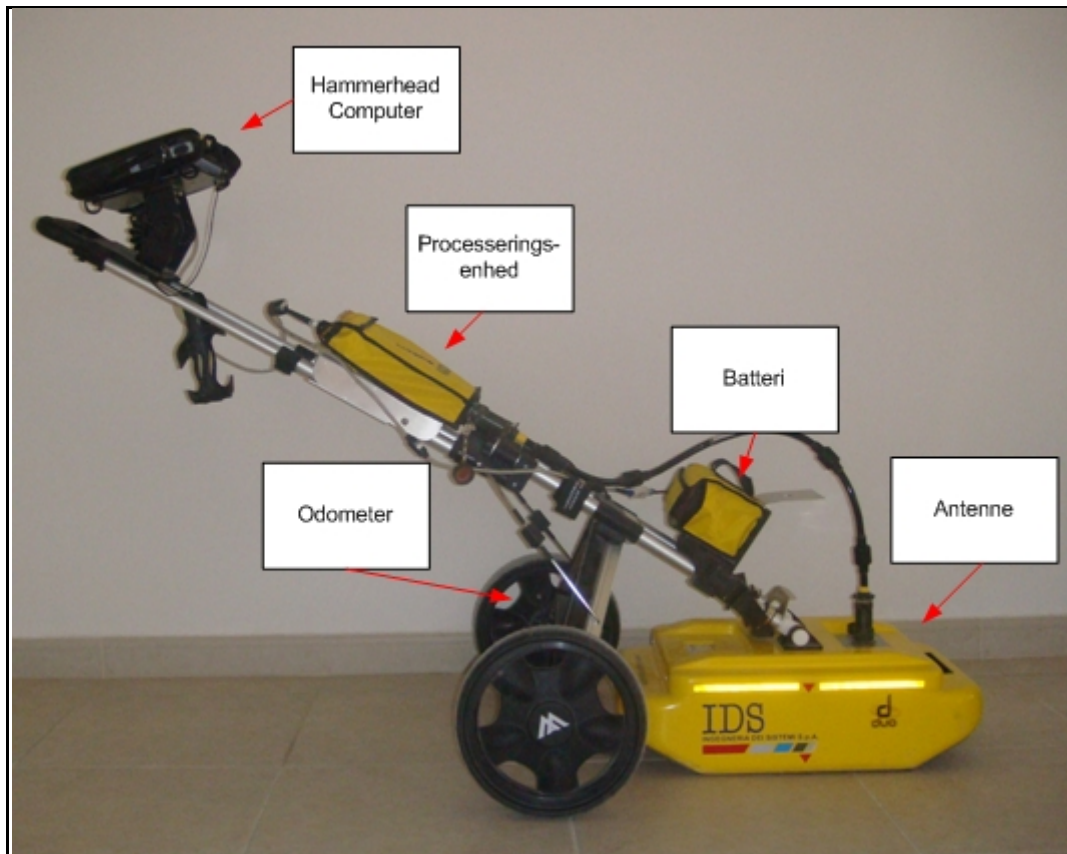
12 Valg af udstyr

Efter at have redegjort for hvilke forhold det kunne være interessant at inddrage i den empiriske undersøgelse, er det nødvendigt at bestemme hvilket udstyr, der ønskes anvendt. I følgende kapitel præsenteres derfor det udstyr, der anvendes under testens dataindsamling. Det drejer sig først og fremmest om en ground penetrating radar, der er genstand for testen, samt et GPS set-up, der bruges til at indsamle det nødvendige kontrolmateriale og til at positionere GPR'en under dataindsamlingen. Der redegøres hermed for udstyrets set-up samt for de fra producenten oplyste specifikationer. Ydermere betragtes udstyrets muligheder og begrænsninger, der kan have betydning for den empiriske undersøgelse.

12.1 Ground Penetrating Radar

Da Aalborg Universitet ikke er i besiddelse af en ground penetrating radar, er det nødvendigt at opsøge eksterne samarbejdspartnere for at låne det nødvendige udstyr. Som tidligere nævnt har den studerende været i kontakt med COWI i Danmark i forbindelse med de indledende overvejelser omkring problemstilling. Det er derfor nærliggende at henvende sig til COWI for at låne udstyr til testen, idet en anden afdeling af firmaet, COWI Gulf, tilbyder servicen og derfor har inkluderet en ground penetrating radar i deres udstyrspakke. COWI Gulf survey udfører landmålingsopgaver i det meste af mellemøsten, men har base i Doha, Qatar. Det er derfor muligt at låne det nødvendige udstyr, så længe dataindsamlingen foregår i Qatar.

Det udstyr, der er til rådighed hos COWI Qatar, er en IDS Detector Duo, der er fremstillet af Ingegneria dei Sistemi i Italien. Figur 12.1 viser udstyrets set-up.



Figur 12.1 - Billedet viser en IDS Detector Duo, der anvendes til projektets dataindsamling.

Som det ses, består udstyret af flere dele, der alle er monteret på en trolje og forbundet med en række kabler. Øverst på troljen ses en Panasonic Hammerhead bærbar computer, der viser det processerede data i real-time under dataindsamlingen. Hammerhead'en er udstyret med en touch-skærm, så radaren nemt kan betjenes i marken. Længere nede ad trojlen ses en aflang gul holder, hvor processeringsenheden er placeret. Her behandles rådata fra antennen, inden det sendes videre til computeren, hvor det vises og lagres. Efter processeringsenheden er batteriet placeret i en lignende holder. Denne forsyner hele set-up'et, bortset fra computeren, med strøm under dataindsamling. Hvilende på jorden ses den gule dobbeltfrekvente antenne. Denne feature betyder, at der kan detekteres objekter i både lavere og dybere jordlag med den samme antenne i et enkelt scan. Når der lokaliseres et begravet objekt, er det placeringen af antennen, der angiver placeringen af det begravede objekt. De to røde pile midt på antennens side indikerer antennens nul-punkt og dermed det begravede objekts placering i planen. Dybden af det begravede objekt angives under dataindsamlingen som afstanden under antennen. Antennens nul-punkt vertikalt er antennens bund, der har kontakt med jordoverfladen under dataindsamlingen. Bag antennen ses hjulene, hvori odometret er placeret. Dette registrerer, hvor langt troljen har bevæget sig, og gør det muligt at udpege begravede objekters placering.

Som nævnt processeres data i processeringsenheden, inden det præsenteres og lagres i computeren. Denne processing består i, at de reflekterede signaler omdannes til et billede. Efterhånden som udstyret bevæges suppleres billedet med mere, i forhold til den afstand antennen har bevæget sig. Odometret bestemmer altså, i hvilken hastighed billedet suppleres med nyt data. Undervejs i dataindsamlingen eller efterfølgende er det muligt at bestemme dybden på de begravede objekter. Som nævnt er denne dybde angivet som en afstand fra antennen. Det vil sige, at det er nødvendigt at registrere eller markere denne oplysning under dataindsamlingen. Dette kan enten ske ved at markere den plane position i marken og notere dybden i en målebog eller lignende eller ved at gennemføre en opmåling med traditionelle metoder, så både den plane position og koten til objektet registreres i et referencesystem.

Under dataindsamlingen i marken vises data som nævnt på den bærbare computer i real time. Data vises som et intelligent billede, hvor det er muligt at udpege peaks og få oplyst dybden på disse objekter. Ved udpegning af disse kan operatøren kode ledningen som en af standardtyperne, eksempelvis vand, el eller kloak. Denne kodning foregår oftest ved at betragte forhold i marken som dæksler, stophaner eller skabe. Efterfølgende er det ved hjælp af udstyrets software muligt at gense data med samme muligheder som under dataindsamlingen. Da data oftest lagres til brug som dokumentation, sker det både i det originale format til indlæsning i udstyrets bærbare computer og som pdf til brug som illustration.

Følgende tabel Figur 12.2 viser specifikationerne for udstyret, som de er angivet i producentens data-sheet. [IDS]

Specifikationer	
Betjeningstid	Op til 10 timer
Antenne størrelse	61 cm x 37 x cm
Vægt	15 kg
Antenne	Integreret 250 & 700 MHz frekvens, afskærmet
Kalibrering	Automatisk

Figur 12.2 - Specifikationer for Detector Duo. [IDS]

Som det ses, er det angivet, at antennen kalibreres automatisk. Dette betyder, at set-up'et foretager en on-site kalibrering, der sørger for, at parametre omhandlende udbredelseshastighed og jordens dielektriske karakterer bestemmes. Disse skal altså ikke oplyses af operatøren, inden dataindsamlingen påbegyndes. [IDS] Desuden ses det i specifikationerne, at antennen er dobbeltfrekvent, hvilket vil sige, at der udsendes signaler i to frekvenser. Som omtalt tidligere er der en tæt sammenhæng mellem dybderækkevidde og frekvens, idet en antenne med lav frekvens har større dybderækkevidde end en antenne med en højere frekvens. Den dobbeltfrekvente antenne gør det

derfor muligt at levere et datasæt fra begge antennefrekvenser i et enkelt scan. Den høje frekvens detekterer mindre objekter i de øvre jordlag, hvorimod den lave frekvens detekterer større objekter i dybereliggende jordlag.

Disse specifikationer nævner dog ikke noget om dybderækkevidde eller præcision. Derfor kontaktede den studerende producenten i Italien med følgende spørgsmål:

1. Hvad er præcisionen for kortlægning af ledninger med Detector Duo?
2. Hvad er set-up'ets dybderækkevidde?
3. Er det muligt at bestemme dimensionen af lokaliserede rør? Hvis ja, hvordan og med hvilken præcision?
4. Er det muligt at bestemme den lokaliserede lednings materiale?

Spørgsmålene blev besvaret af en geolog hos IDS:

1. Præcisionen er +/- 10 cm både vertikalt og horisontalt.
2. Dybderækkevidden er 128 nsec.
3. Det er ikke muligt direkte at bestemme dimensionen af røret. Men hvis man åbner et dæksel og måler rørets dimension, kan man bruge hyperblen i radarens data som reference.
4. Da eksempelvis plastik og metal har forskellige dielektriske konstanter vil det være muligt at skelne mellem forskellige materialer. Metalliske materialer vil ofte skabe en klar og tydelig hyperbel i radar data, mens plastik ikke reflekterer så meget af det udsendte signal, og derfor vises denne som en mere uklar hyperbel. Skelnen mellem materialer kræver dog en erfaren operatør og omhyggelig dataindsamling.

Af svar nr. 2 kan bemærkes, at dybderækkevidden er afhængig af parametre som jordtype og vandindhold, og det er derfor ikke muligt for geologen at komme med et generelt afstandsmål. Under de mest almindelige forhold har udstyret en rækkevidde op til 6 m.

Af svar nr. 3 kan bemærkes, at producentens agent forud for indkøbet af udstyret samt ved efterfølgende oplæring flere gange har hævdet, at hyperblens bredde var lig med rørets dimension. Dette har flere gange undret de involverede, idet røret jo ikke vises som en halvcirkel, men deformet som en hyperbel.

Dokumentation for denne korrespondance kan findes i bilag A.

12.2 GPS

GPS udstyr lånes ligeledes af COWI Qatar, som er i besiddelse af et Leica GPS1200+ set-up. Da der i Qatar endnu ikke er etableret et landsdækkende referencenet, består set-up'et af både base og rover. Ved at placere basen i et kendt fikspunkt og etablere radiokontakt mellem de to modtager er det muligt at måle RTK GPS. Figur 12.3 viser GPS set-up'et med base og rover.



Figur 12.3 - Billedet viser rover og base til Leica GPS 1200+. [www.geosoft.ch]

GPS modtagerne, der benyttes, er af følgende typer:

	Rover	Base
Controller	RX1250XC	RX1210T
Antenne	ATX1230 GG	AX1202 GG
Radio	GHT 56	GX1230 GG

Følgende detaljer er angivet i udstyrets specifikationer:

- Tre frekvenser
- Mulighed for signal fra GPS, GLONASS og Galileo.
- 120 kanaler
- 4 SBAS
- Begge antenner kan anvendes som enten rover eller base.

[Leica]

Under dataindsamling er roverens antenne, controller og radio monteret på en 2 m høj glasfiber antennestok. Al kommunikation mellem antenne og controller foregår ved hjælp af bluetooth. Basen derimod er placeret på et stativ og ved hjælp af et fodstykke centreret over et kendt fikspunkt. De enkelte dele er forbundet med kabler og hele set-up'et er forsynet med strøm fra et større eksternt batteri, der gør det muligt for basen at indsamle data uforstyrret i længere tid ad gangen.

12.3 Opsamling

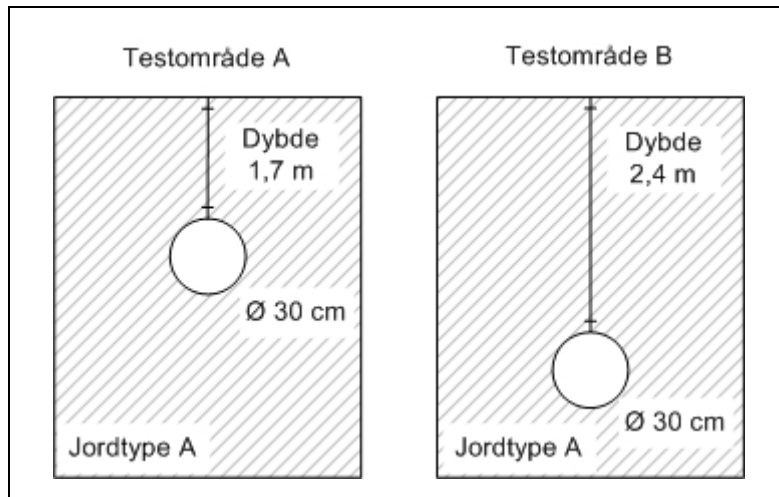
Dette kapitel præsenterer det udstyr, der ønskes anvendt til den empiriske undersøgelse. Både GPR og GPS er udlånt af COWI Qatar, der har stor interesse i at få GPR'en testet. Radaren er en IDS Detector Duo fremstillet af det italienske Ingegneria dei Sistemi. GPS'en er et Leica 1200+ set-up bestående af base og rover, idet det ikke er muligt at benytte en kommerciel referenceservice til RTK GPS måling.

13 Valg af testområde

Dette kapitel vil beskrive hvilke overvejelser, der er gjort med hensyn til valg af testområde. Det beskrives hvilke forhold, der skal være til stede og vurderes for at udvælge et ideelt testområde i forhold til de tidligere præsenterede ønsker til testen. Endeligt præsenteres de valgte testområder, og der redegøres for hvilke tests, der er mulighed for at udføre i området.

13.1 Ideelt testområde

I kapitel 11 *Testelementer* opsummeres de ønsker, den studerende har til en tilbundsgående test af en ground penetrating radar. Som nævnt i denne gennemgang kunne det være yderst interessant at betragte, i hvilken grad kvaliteten af opmålingen er afhængig af de konkrete forhold i området. Man kunne blandt andet forestille sig, at det ville have en indflydelse, hvorvidt ledningen er placeret 50 cm eller 5 m under jordoverfladen. Ligeledes kunne det måske have en betydning, hvilken dimension den begravede ledning har, eller hvilken jordtype der omgiver ledningen. At undersøge disse afhængigheder stiller en række specifikke krav til testområderne. For at kunne give en kvalificeret udtalelse om sammenhængen er det nødvendigt at være i stand til at bestemme netop hvilken faktor, der påvirker testen. Man kunne for eksempel forestille sig, at to forskellige testområder inddrages i testen. Der opnås ved den samme test udført i de to områder forskellige resultater. Dette kunne eksempelvis være forskellige resultater for den plane positions nøjagtighed. Denne forskel kræver naturligvis en forklaring. Hvis det forudsættes, at dataindsamlingen er foretaget under sammenlignelige forhold og med den nødvendige omhyggelighed, må forskellen nødvendigvis stamme fra forskelle mellem testområdernes konkrete fysiske forhold. Ofte vil der være tale om en kombination af flere faktorer. Man kan forestille sig, at ledningen befinder sig dybere under jordoverfladen i det ene område end i det andet, at den omgivende jord er anderledes sammensat i det ene område end i det andet osv. Adskiller flere af disse faktorer sig fra hinanden, vil det være svært eller direkte umuligt at afgøre, hvilken faktor der har haft betydning, eller om flere af forholdene har indvirkning på resultaterne. For at gøre det muligt at udtale sig om en sådan afhængighed er det derfor nødvendigt at undersøge dem én af gangen, og dette stiller store krav til testområderne. For at teste en specifik afhængighed er det nemlig afgørende at vælge to testområder, der er identiske i alle forhold med undtagelse af den faktor, hvis betydning testes. Figur 13.1 viser to testområder, der udelukkende adskiller sig ved rørets dybde under overfladen.

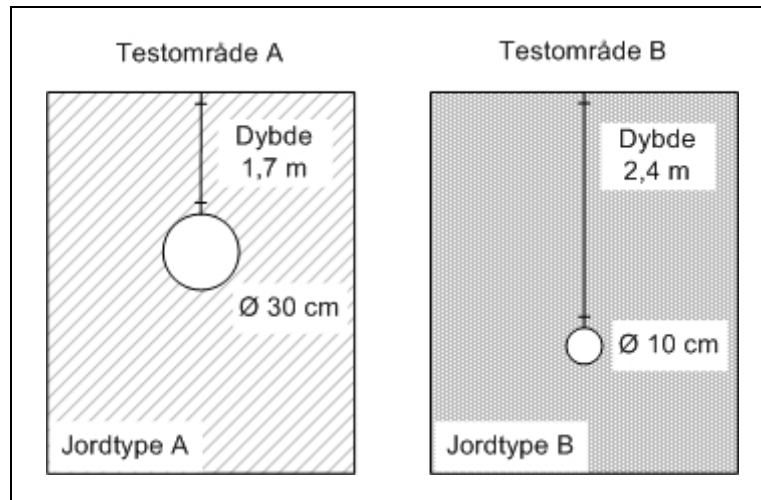


Figur 13.1 - Figuren viser et sæt testområder, der egner sig godt til at test dybdens indflydelse på kortlægningen.

Disse områder egner sig godt til en test af dybdens indflydelse på kvaliteten af kortlægningen, da det eneste forhold, der adskiller de to områder, er rørets dybde under jorden. Som det ses, er både rørets dimension samt den omgivende jordtype ens i de to tilfælde. Betragtes resultaterne af en sådan test, vil det derfor være muligt at bestemme, om dybden som eneste forskel mellem områderne har indflydelse på kvaliteten af målingen.

I praksis er der dog en del problemer forbundet med en undersøgelse af disse afhængigheder. Undersøgelsen i dette projekt er tiltænkt gennemført uden brug af midler til etablering af et testanlæg. Det vil sige, at testen skal foregå i områder, der huser ledninger, der anvendes i praksis. Det vurderes derfor, at det er så godt som umuligt at finde en række områder, der udelukkende adskiller sig fra hinanden på ét konkret forhold.

Figur 13.2 viser, hvorledes to testområder kan adskille sig fra hinanden i praksis.



Figur 13.2 - Figuren viser et eksempel på to testområder som de optræder i praksis.

I dette tilfælde er i alt tre forhold; Dybden under overfladen, ledningens dimension samt den omgivende jordtype, forskellig fra det ene område til det andet. Det vil derfor være meget svært eller direkte umuligt at afgøre præcist hvilket af disse forhold, der har indflydelse på kortlægningen. Ydermere udarbejdes dette projekt over en kortere tidsperiode, og det vurderes ikke at være muligt for den studerende at gennemføre den mængde tests, der er nødvendige for at kunne udtale sig om de omtalte afhængigheder.

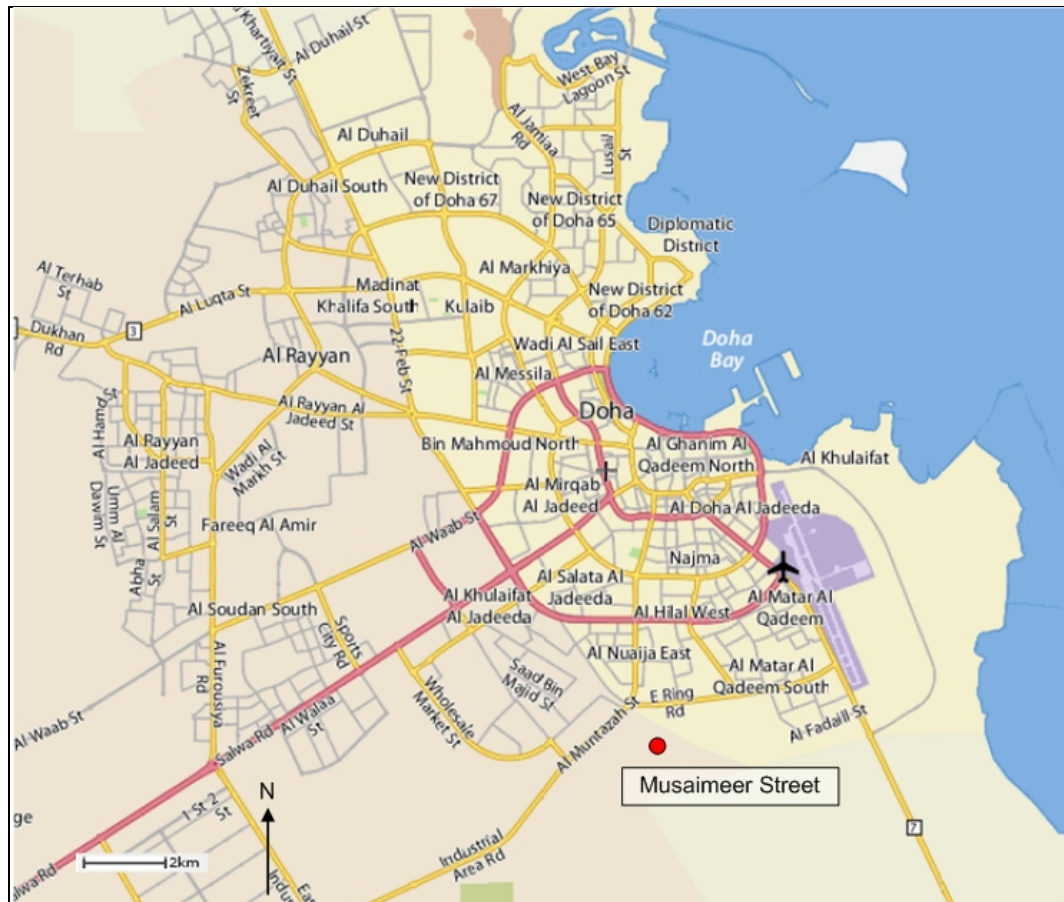
13.2 Testområder

I stedet er to områder valgt, hvor det er muligt at gennemføre undersøgelser, der gør det muligt at udtale sig om udstyrets formåen under de konkrete forhold.

13.2.1 Testområde 1

Navn: Musaimeer Street

Området ligger placeret i den sydlige del af Doha. Denne del af byen er endnu ikke fuldt udbygget, og byggeaktiviteten er derfor meget stor. I umiddelbar nærhed af testområdet bygges et større idrætsanlæg, og det formodes, at den ledning, der er placeret i området, skal forsyne anlægget med brugsvand.



Figur 13.3 - Kortet viser placeringen af testområde 1 i den sydlige del af Doha. [www.maps.yahoo.com]

En fordel ved dette område er, at den studerende allerede lokaliserede og udvalgte området, da ledningen blev lagt i jorden. Det er derfor muligt at gennemføre en traditionel kortlægning af ledningen i åben grav. På denne måde opnås der et pålideligt kontrolmateriale over ledningens placering, inden dataindsamlingen med GPR'en gennemføres. Figur 13.4 viser et billede af ledningen i testområde 1.



Figur 13.4 - Billedet viser ledningen i testområde 1.

I den åbne grav ses det, at gravearbejdet er foregået i limsten, der er meget almindeligt i Qatar. Som det kan anes på billedet, er der i bunden af graven et lag finere sand. Også omkring og over røret fyldes der op med fint sand. Det formodes, at dette gør det nemmere at placere røret korrekt samt beskytter røret mod større stykker limsten i det materiale, der benyttes til det endelige opfyld.

13.2.2 Testområde 2

Navn: Lusail

Lusail er et større byudviklingsprojekt placeret nord for Doha. Området er i alt 36 km² og skal rumme boliger til ca. 200.000 mennesker samt ca. 80.000 arbejdspladser. Projektet har været i gang de seneste tre år, hvilket betyder, at området nu har gennemgået en større terrænregulering. Figur 13.5 viser placeringen af området.



Figur 13.5 - Kortet viser Lusails placering i forhold til Doha. [www.map.primorye.ru]

På nuværende tidspunkt udvikles infrastrukturen i området, hvilket blandt andet betyder, at de nødvendige ledninger placeres i jorden. Billedet på Figur 13.6 viser testområde 2.



Figur 13.6 - Billedet viser en del af testområdet i Lusail.

I dette område er det ikke muligt at gennemføre en kortlægning af røret i åben grav. Derfor er der mulighed for at behandle dette område som et realistisk eksempel på en GPR kortlægning. Som kontrolmateriale anvendes bygherrens as-built tegninger. På denne måde vil det altså alligevel være muligt at kontrollere GPR kortlægningen.

13.3 Opsamling

Testområde 1 Musameer Street er som nævnt udvalgt af praktiske årsager, idet det som nævnt er muligt for den studerende at producere kontrolmateriale ved brug af traditionelle opmålingsmetoder. Her vil GPR kortlægningen kunne kontrolleres ved brug af et pålideligt kontrolmateriale.

Testområde 2 Lusail repræsenterer en realistisk målesituation. Der har i modsætning til testområde 1 ikke været adgang til røret i forbindelse med nedgravningen. Derfor anvendes bygherrens as-built materiale som kontrol af denne kortlægning.

14 Afgrænsning

Efter at der er udvalgt testområder og udstyr, er det nødvendigt at udføre en afgrænsning af de elementer, det kunne være interessant at inddrage i den empiriske undersøgelse. Denne afgrænsning tager derfor udgangspunkt i kapitel 11 *Testelementer*, der beskriver alle de elementer, der burde inddrages i undersøgelsen, såfremt der ikke tages hensyn til tidsaspekter eller praktiske begrænsninger. Da det er en kortere begrænset tidsperiode, der er til rådighed for projektet, og da det ikke er praktisk muligt at finde testområder egnede til at teste alle de nævnte elementer, er det nødvendigt at foretage en afgrænsning heraf.

14.1 Muligheder

De to valgte testområder rummer begge muligheder såvel som begrænsninger. For at kunne fravælge testelementer der ikke er mulighed for, samt udvælge elementer der er mulighed for at inddrage i testen, er det nødvendigt at gøre rede for disse forhold. Følgende vil søge at præcisere disse specifikke forhold for hvert af disse områder.

14.1.1 Testområde 1 - Musaimeer Street

Den største fordel ved dette testområde er, at den studerende havde adgang til området, mens rørledningen blev lagt. Det betyder, at det var muligt at udarbejde pålideligt kontrolmateriale over området. Dette kontrolmateriale gør det muligt at undersøge nøjagtigheden af flere af de interessante testelementer. Nøjagtigheden på den plane position såvel som på dybden kan bestemmes ved at samle data ind i testområde 1 for derefter at sammenligne det med kontrolmaterialet. Forholdene omkring røret er ydermere meget konsistente på hele strækningen. Det betyder, at det vil være muligt at behandle data indsamlet i hele området på samme vilkår. Desuden har rørledningen samme dimension på hele strækningen, og det vil derfor være muligt at inddrage en undersøgelse af dimensionen i testen.

14.1.2 Testområde 2 - Lusail

Dette område har den studerende som nævnt ikke haft adgang til under etablering af ledningen. Det er derfor mere oplagt at behandle dette område som et eksempel på en typisk målesituation. Det vil sige, at den studerende indsamler data, som det ville blive gjort, hvis der var tale om en almindelig kortlægning af områdets ledninger. Desuden ser den studerende mulighed for at gennemføre en undersøgelse af udstyrets præcision. I forbindelse med dette område er det vigtigt at bemærke, at den studerende ikke har præcist kendskab til forholdene omkring etablering af led-

ningen. Som nævnt består kontrolmaterialet af as-built tegninger udleveret af bygherren, og den studerende har ikke kendskab til, hvilken kvalitet disse tegninger har.

14.2 Fravalgte testelementer

Der er flere af de i kapitel 11 *Testelementer* nævnte forhold, der fravælges af forskellige grunde. Følgende redegør for hvilke overvejelser, der er gjort i forbindelse med fravælgelse af de enkelte dele:

- **Anvendelse.** Denne oplysning ønskedes det muligt at bestemme og registrere for at lette processen med at klassificere den enkelte ledning og skelne forskellige ledninger fra hinanden. Det vurderes dog, at det ikke er muligt at undersøge, hvorvidt dette kan lade sig gøre. For at kunne undersøge dette forhold er det nødvendigt at have adgang til to identiske testområder, hvor ledningen anvendes til forskellige formål. Det har desværre ikke været muligt at finde to sådanne områder, og derfor arbejdes der ikke videre med denne undersøgelse.
- **Placering af enkeltkomponenter.** Man kunne forestille sig, at denne type oplysninger var brugbare i en situation, hvor man har brug for at lukke dele af et ledningsnet for at begrænse skader forvoldt af en beskadiget ledning. I de to testområder findes der dog ikke enkeltkomponenter af denne type. Det vurderes derfor, at det ikke er muligt at inddrage dette i undersøgelsen.
- **Materiale.** Også denne oplysning kunne lette processen med at klassificere den enkelte ledning og skelne mellem flere ledningsnet. For at undersøge dette forhold er det dog ligeledes nødvendigt at have adgang til to identiske testområder, hvor ledningerne er fremstillet af forskellige materialer, men ellers anvendes til det samme og har tilsvarende omgivende forhold. Det har dog ikke været muligt at finde to sådanne områder, og derfor fravælges en undersøgelse af dette forhold.
- **Omgivende forhold.** Dette dækker over en række forskellige konkrete forhold i testområdet. For at lave en uddybende undersøgelse af afhængigheden mellem disse er det nødvendigt at gennemføre en række tests i nogle testområder med meget specielle forhold. Det er nemlig nødvendigt at isolere hvert enkelt forhold for at kunne udtale sig om en eventuel afhængighed. Denne undersøgelse er meget krævende i forhold til antallet af testområder, og det vil desuden være meget tidskrævende at gennemføre de mange dataindsamlinger. Derfor vurderes det ikke at være muligt at inddrage en sådan undersøgelse i dette projekt, og der arbejdes ikke videre med disse forhold.

14.3 Opsamling

I dette kapitel er der gjort rede for, hvilke muligheder de to testområder tilbyder, herunder hvilke undersøgelser det kunne være interessant at gennemføre i områderne. Herudover er et antal test-

elementer valgt fra, idet det ikke har været praktisk muligt at gennemføre alle de påkrævede tests:

- Anvendelse. Da det ikke har været muligt at finde egnede testområder, fravælges denne undersøgelse.
- Placering af enkeltkomponenter. Da der ikke optræder enkeltkomponenter som eksempelvis stophaner o. lign. i testområderne, fravælges denne undersøgelse.
- Materiale. Det har ikke været muligt at finde testområder, der egner sig til denne undersøgelse, hvorfor den fravælges.
- Omgivende forhold. En uddybende undersøgelse af disse forholds betydning kræver meget specifikke testområder og et væsentligt tidsforbrug. Det kunne eventuelt overvejes, om denne undersøgelse egner sig bedre til tests i specialfremstillede testanlæg. Af praktiske årsager og pga. manglende tid fravælges denne undersøgelse.

Efter denne afgrænsning er det muligt at specificere hvilke undersøgelser, der skal gennemføres, og hvorledes resultaterne skal præsenteres.

15 Praktiske forsøg

Efter at have klarlagt hvilke muligheder, der er for undersøgelser i de valgte testområder, og redegjort for hvilke testelementer, der fravælges, er det muligt at præcisere netop hvilke undersøgelser, der ønskes gennemført. Følgende beskriver disse undersøgelser. Dette inkluderer, hvordan oplysningerne registreres, og hvad de skal anvendes til i den senere databehandling. Ydermere redegøres der for, hvilket datasæt det er nødvendigt at indsamle for at danne grundlag for at udtale sig om det pågældende forhold.

15.1 Nøjagtighed, plan- og højde-

Det ønskes at bestemme udstyrets nøjagtighed både i planen og i dybden. Disse nøjagtigheder skal udtrykkes ved spredninger beregnet på baggrund af afvigelser mellem positioner bestemt med GPR'en og kontrolmaterialet. Derudover beregnes bedste rette linie ved mindste kvadraters princip for hhv. kontrolmaterialet og positionerne bestemt med GPR'en. Forskellen mellem disse linier betragtes som beregnede afstande mellem de to linier indenfor testområdet eller som afstanden mellem knæk eller brønde mellem ledningsstrækningerne.

For at gøre det muligt at gennemføre ovennævnte beregninger er det nødvendigt at indsamle et antal positioner med GPR'en. Disse positioner skal registreres som enten en relativ position i forhold til et lokalt koordinatsystem eller som en absolut position i et overordnet referencesystem. Ledningens højde vil blive registreret som en kote i forhold til samme referencesystem. Dette gør det muligt at sammenligne GPR positionerne med kontrolmaterialet. Denne undersøgelse ønskes gennemført i begge testområder 1 og 2.

15.2 Dimension

Det ønskes at undersøge, hvorvidt producentens metode med anvendelse af et referenceudslag til bestemmelse af ledningens dimension er anvendelig i praksis. Derfor undersøges det, om udslaget i data har samme størrelse i hvert tværsnit, når der indsamles data fra samme rør. I et antal tværsnit betragtes udslaget, og et middel beregnes. Herefter kan der beregnes en spredning for udslagernes størrelse ved brug af afvigelserne mellem det enkelte udslag og middelværdien. Endeligt sammenlignes middelværdien med den aktuelle værdi.

Det er nødvendigt at indsamle data ved tværsnit af den samme ledning et antal gange. Herefter kan udslagets størrelse i data bestemmes, og beregningerne foretages. Denne undersøgelse gennemføres ved at anvende data indsamlet til brug ved de resterende undersøgelser. Det vigtigste

krav til data er dog, at det stammer fra en ledning med konstant dimension. Denne undersøgelse ønskes gennemført i begge testområder 1 og 2.

15.3 Præcision, plan- og højde-

Det ønskes at bestemme udstyrets præcision i både plan og højde. Dette beregnes som spredninger af et antal positionsbestemmelser. Gennemføres en lokalisering af ledningen flere gange det samme sted, er det muligt at beregne en middelværdi og dermed afvigelserne mellem den enkelte position og dette middel. Ydermere ønskes det at bestemme afvigelsen mellem middelpositionen og kontrolmaterialet.

For at gennemføre denne undersøgelse er det som nævnt nødvendigt at gennemføre dataindsamling det samme sted et antal gange. Det er vigtigt, at der er tale om samme sted på ledningsstrækningen, idet det dermed kan antages, at de fysiske forhold ikke ændres mellem hver lokalisering af ledningen. Disse lokaliseringer positioneres i et fælles referencesystem, hvorefter det er muligt at gennemføre de beskrevne beregninger. Denne undersøgelse gennemføres udelukkende i testområde 2.

15.4 Fuldstændighed

Fuldstændigheden angiver, hvorvidt det var muligt at bestemme udslag i data og dermed ledningens placering, hver gang et tværsnit gennemsgtes. Da de konkrete forhold, som eksempelvis jordtype og jordens vandindhold, kan have en betydning for, hvorvidt det er muligt at bestemme ledningens placering, ønskes det at undersøge i hvor stor en del af testens tværsnit, det var muligt at lokalisere ledningen.

Til denne undersøgelse anvendes samtlige tværsnit, der er lavet til brug for de resterende undersøgelser. Det beregnes altså, i hvor stor en del af de gennemførte tværsnit, det var muligt at bestemme ledningens placering. Dette forhold undersøges for begge testområder og angives som procenter.

15.5 Anvendelighed

Denne del af undersøgelsen dækker over flere forhold. Da den studerende ikke har overvældende meget erfaring med brug af udstyret, vil det være oplagt at give en vurdering af anvendeligheden og brugervenligheden. Denne vurdering er altså en subjektiv beskrivelse af, hvorledes dataindsamlingen er forløbet, og hvilke problemer der har været med udstyret. Ydermere foretages en dataindsamling med udstyret langs med en af de begravede ledninger, idet det søges bestemt, om det er muligt at kortlægge ledninger på denne måde i stedet for ved at lave tværsnit.

Denne undersøgelse kræver ikke yderligere særskilt dataindsamling, men tager afsæt i det samlede brug af udstyret samt den efterfølgende databehandling. Vurderingen kan derfor både omhandle konkrete problemer, der opstod under dataindsamlingen, samt forslag til forbedringer af eksempelvis data output.

15.6 Opsamling

Efter denne afgrænsning er der nu klarhed over, hvilke undersøgelser den endelige test kommer til at indeholde. Følgende oversigt opsummerer disse:

- Nøjagtighed, plan- og højde-. Der beregnes en spredning for hhv. den plane position og for højden.
- Dimension. Der beregnes en spredning for udslaget i data, der er afhængigt af ledningens aktuelle dimension.
- Præcision, plan- og højde-. Der gennemføres et antal dataindsamlinger på det samme tværsnit, og herefter beregnes en spredning for hhv. den plane position og højden.
- Fuldstændighed. Ud fra samtlige tværsnit beregnes det, i hvor stor en del af disse det var muligt at lokalisere ledningen.
- Anvendelighed. Der gives en vurdering af udstyrets anvendelighed og brugervenlighed ud fra erfaringerne fra dataindsamlingen.

Ikke alle undersøgelser gennemføres i begge testområder. Følgende Figur 15.1 giver derfor en oversigt over disse forhold.

	Testområde 1	Testområde 2
Nøjagtighed	X	X
Dimension	X	X
Præcision		X
Fuldstændighed	X	X
Anvendelighed	Vurderingen gives på baggrund af dataindsamling i begge områder.	

Figur 15.1 - Tabellen viser, hvilke undersøgelser der gennemføres i de enkelte testområder.

Efter at have afsluttet planlægningsfasen er det muligt at påbegynde dataindsamlingen. Denne indledes med indsamling af kontrolmateriale.

16 Indsamling af kontrolmateriale

I dette kapitel vil der redegøres for, hvilket kontrolmateriale der anvendes til undersøgelsen. Dette inkluderer en beskrivelse af området og det konkrete materiale, der er til rådighed. Ydermere redegøres der for, hvorledes kontrolmaterialet er tilvejebragt. Det vil sige, hvorvidt den studerende har indsamlet data i testområdet, eller om tegningsmateriale er modtaget fra eksterne kilder.

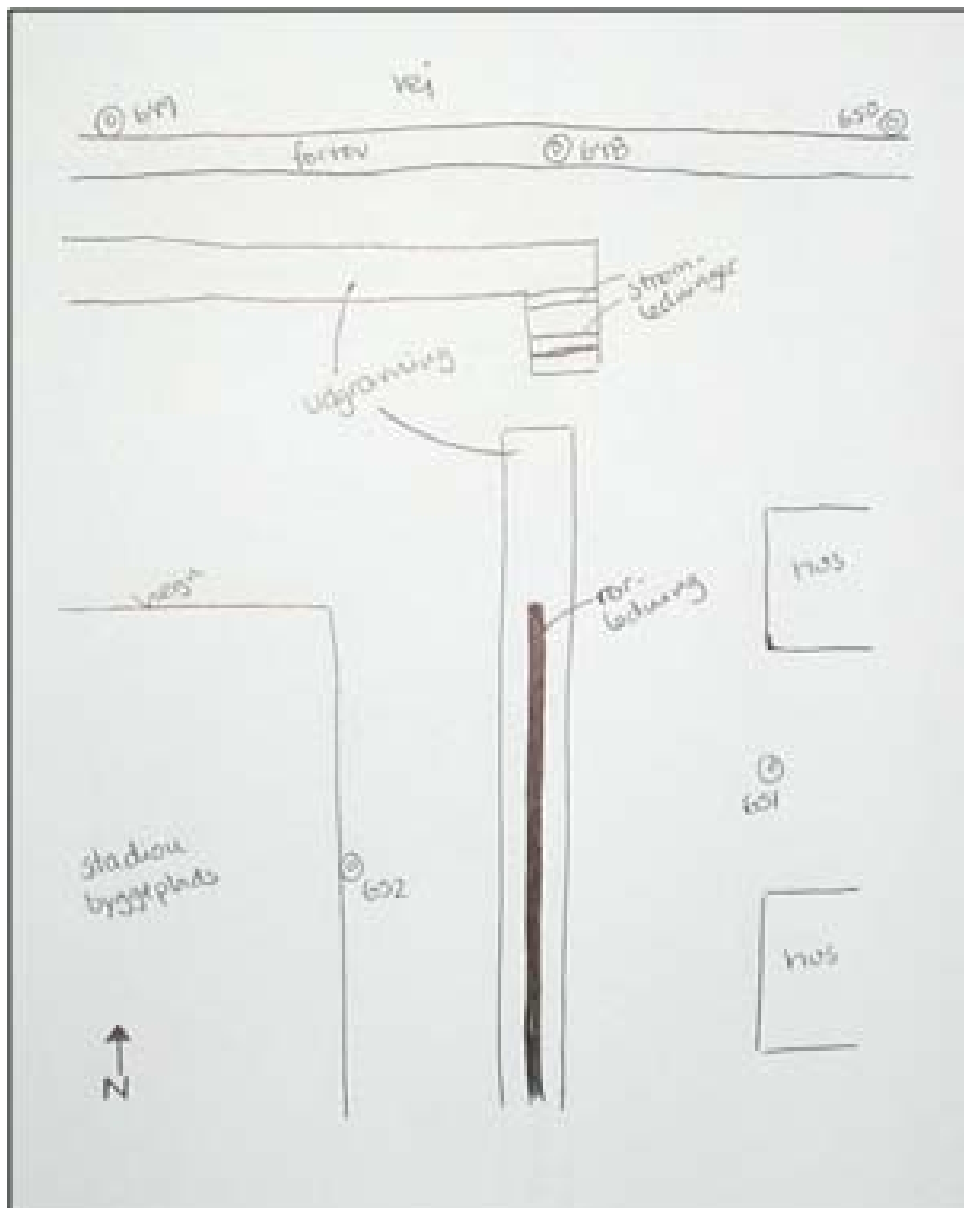
16.1 Testområde 1 – Musaimeer Street

Som nævnt i forbindelse med valg af dette område, havde den studerende adgang til ledningen, inden den endelige opfyldning gennemførtes. Det vil sige, at det var muligt for den studerende at kortlægge ledningens placering ved brug af traditionelle landmålingsmetoder. Denne kortlægning gennemførtes fredag d. 10. april.

Som kortlægningsmetode valgte den studerende at opmåle området med GPS. I Qatar er det endnu ikke muligt at benytte en kommerciel RTK-tjeneste til brug ved RTK GPS måling. Derfor vælger den studerende at gennemføre opmålingen med RTK GPS ved brug af egen base. Denne løsning kræver, at der er adgang til et antal fikspunkter koordineret absolut i et større referencesystem eller relativt i et lokalt koordinatsystem. Fordelen ved at kortlægge ledningen i et større referencesystem er, at det til enhver tid vil være muligt at genskabe tabte fikspunkter i området ved brug af fikspunkter af en højere orden. Da den studerende forventer, at dataindsamling til GPR undersøgelsen gennemføres indenfor en overskuelig periode, er det dog tilstrækkeligt at kortlægge ledningen i et lokalt koordinatsystem. Fordelen ved dette er, at der ikke skal bruges ressourcer på at lokalisere officielle fikspunkter indenfor basens rækkevidde. Ydermere sikres det på denne måde, at undersøgelsen ikke påvirkes af netspændinger mellem fikspunkterne i referencesystemet. Det vælges derfor at anvende en lokal variant af det nationale referencesystem Qatar National Grid. Erfaringer viser, at denne fremgangsmåde resulterer i en relativ nøjagtighed for kortlægningen på 1-2 cm.

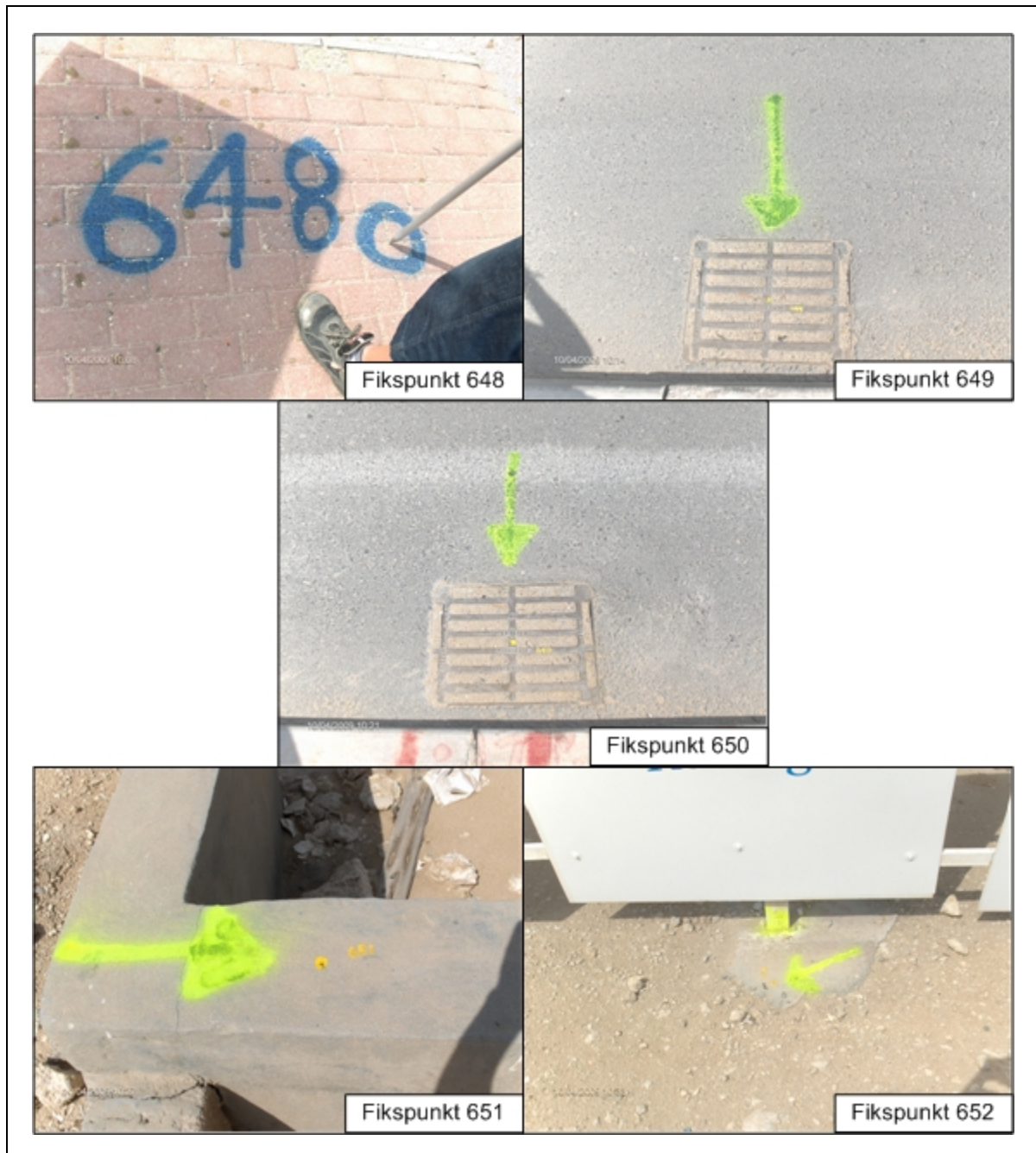
Da dataindsamlingen som beskrevet ovenfor, vælges gennemført med RTK GPS i et lokalt koordinatsystem, drejer første del af markarbejdet sig om at definere dette koordinatsystem. Det sker ved etablering af et antal fikspunkter omkring testområdet. Data fra den senere GPR undersøgelse skal refereres til samme koordinatsystem for at gøre det muligt at sammenligne datasæt. Derfor skal det sikres, at der er tilstrækkelige fikspunkter til at gennemføre en 3D-transformation. For at bestemme alle transformationsparametre i denne transformation er det nødvendigt med 3 fikspunkter. Men for at sikre, at transformationen er overbestemt og som sikring imod, at et af punkterne skulle gå tabt, etableres der i alt 5 fikspunkter. På denne måde er det muligt at bestemme,

om en af målingerne er behæftet med en grov fejl. For at kunne genfinde fikspunkterne udarbejdes der en skitse af området. Følgende Figur 16.1 viser denne skitse.



Figur 16.1 - Billedet viser en skitse over testområde 1.

Fikspunkt 648 er placeret i fortovet ud til den nærliggende vej. Punktet er markeret med et søm imellem fliserne og spraymaling. Fikspunkterne 649 og 650 er placeret i vejkanthen ved samme vej. Punkterne er begge markeret med en kørnerprik i en afløbsrist samt spraymaling. Fikspunkterne 651 og 652 er ligeledes markeret med kørnerprikker og spraymaling, men denne gang i nogle betonfundamenter. Punkterne er affotograferet i tilfælde af, at spraymalingen mod forventning er forsvundet inden GPR dataindsamlingen. Følgende Figur 16.2 viser fikspunkterne.



Figur 16.2 - Billederne viser de fem fikspunkter.

Efter disse forberedelser er gennemført, kan den egentlige opmåling indledes. Dette sker ved, at GPS basen opstilles. Da der arbejdes i et lokalt koordinatsystem, opstilles basen i en fri opstilling. Det vil sige, at basens placering ikke markeres som et fikspunkt. Da basens position dermed ikke er kendt, anvendes funktionen 'here' i GPS'en, hvilket betyder, at basen tildeles en absolut position ved brug af observationer til de satellitter, den er i kontakt med. Erfaringer viser, at denne position typisk har en nøjagtighed, der er bedre end få meter. Denne position er endvidere afgørende for det lokale koordinatsystem, idet det er i forhold til denne, at fikspunkterne koordineres. Det første

der indmåles, er derfor fikspunkterne, der indmåles med 30 epoker for at opnå en bedre nøjagtighed. Herefter indledes detailopmålingen, der omfatter følgende:

- Ledningen. Denne indmåles som punkter på toppen af røret.
- Den åbne grav. Den øverste kant af den åbne grav indmåles.
- Terræn. Terrænet omkring den åbne grav indmåles.

Yderligere betragtes selve røret, der er fremstillet af hårdt plastik. Dimensionen af røret indmåles med tommestok og bestemmes til 42 cm.

Efter detailmålingen er afsluttet, indmåles fikspunkterne igen med 30 epoker. Dette sker for at sikre, at opstillingen af basen ikke har ændret sig i løbet af opmålingen. En tabel over afvigelserne mellem de to indmålinger af fikspunkterne kan findes i bilag B. Da alle afvigelser er mindre end den forventede nøjagtighed for GPS målingerne, konkluderes det, at opmålingen er forløbet som planlagt. Til brug for transformationen, når GPR dataindsamlingen er gennemført, anvendes et middel mellem de to målinger. En tabel over disse middelværdier kan findes i bilag B.

Efter dataindsamlingen er gennemført, konverteres data til en AutoCad-tegning. GPS filerne er vedlagt som bilag D, og tegningen danner baggrund for tegning 001 og 002 i bilag C.

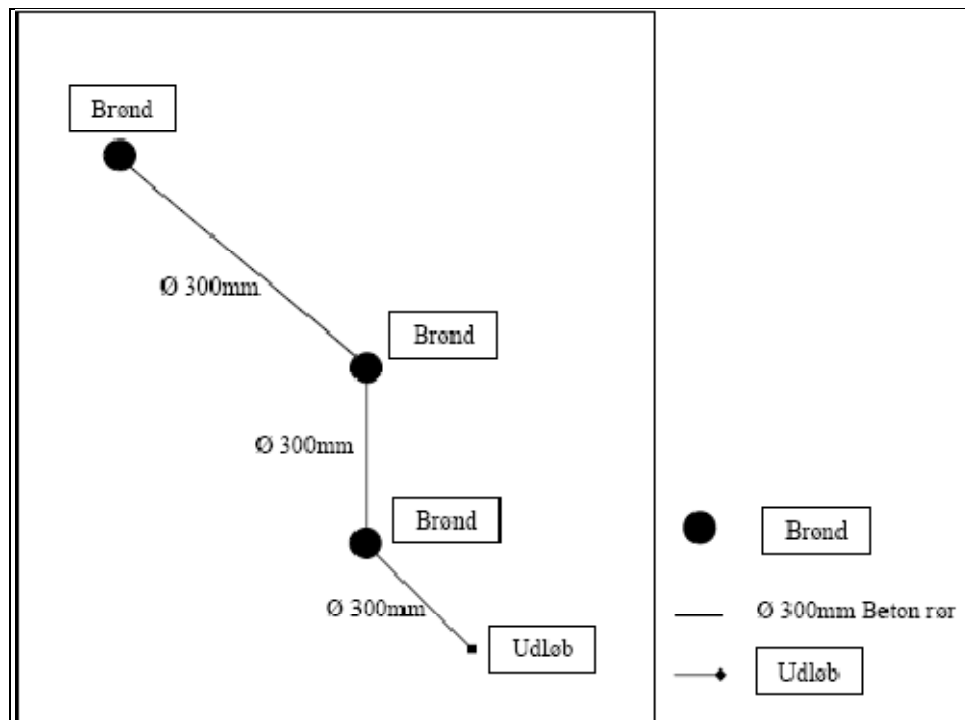
16.2 Testområde 2 – Lusail

Som nævnt tidligere havde den studerende ikke adgang til dette område, mens ledningen lå i åben grav. Derfor anvendes bygherrens as-built dokumentation som kontrolmateriale til GPR undersøgelsen. As-built dokumentationen er ligeledes tilvejebragt ved opmåling med RTK GPS med radio-kontakt til faste basestationer rundt på det 36 km² store område. Det oplyses og forventes derfor, at opmålingen er udført med en nøjagtighed på 1-2 cm, sammenligneligt med det foregående område.

Følgende materiale er modtaget over området:

- Digital AutoCad tegning over ledningsnettet
- Pdf-fil med samme tegning
- Oplysninger fra kontrol af ledningen

Det modtagne materiale er vedlagt som bilag E. Det oplyses desuden, at der er tale om et beton-rør med dimensionen 30 cm. Det skal bemærkes, at den studerende ikke har kendskab til det ud-leverede materiales kvalitet. Følgende Figur 16.3 viser en skitse af området, hvor GPR dataindsamlingen gennemføres.



Figur 16.3 - Billedet viser en skitse over testområde 2.

Ydermere modtog den studerende oplysninger om fikspunkterne i området. Koordinaterne er opgivet i Qatar National Grid, der anvendes på byggepladsen. En tabel over koordinaterne til disse fikspunkter kan finde i bilag B. Disse oplysninger skal anvendes til GPR dataindsamlingen. Da der ikke er angivet en højde til fikspunkt TBH-21, anvendes dette punkt udelukkende som et planfikspunkt til kontrol.

16.3 Opsamling

I dette kapitel redegøres der for, hvorledes indsamling af kontrolmaterialet er foregået. Dette omfatter beskrivelser af opmålingen i testområde 1 og det udleverede datamateriale fra testområde 2. I testområde 1 gennemførtes en RTK GPS opmåling ved brug af et GPS set-up med base og rover. Denne opmåling forløb som planlagt og gjorde det muligt at udarbejde tegningsmateriale over ledningen i området. Fra testområde 2 har den studerende fra bygherren modtaget digitalt tegningsmateriale og oplysninger om fikspunkter i området. Herefter er det muligt at indlede GPR dataindsamlingen.

17 GPR dataindsamling

Dette kapitel vil beskrive, hvorledes GPR dataindsamlingen er udført. Testplanlægningen endte ud i en beskrivelse af, hvilke dele undersøgelsen skal indeholde i kapitel *15 Praktiske forsøg*. Der er derfor taget udgangspunkt i denne formulering for at skabe et fornuftigt grundlag for disse undersøgelser. Dette kapitel vil inkludere beskrivelser af de overvejelser, der er gjort omkring den praktiske del af undersøgelsen. Kapitlet vil være opdelt i flere mindre sektioner. Indledningsvist beskrives, hvorledes udstyret er anvendt, og hvordan positioneringen sker, efter at ledningen er lokaliseret. Herefter følger en sektion om hvert af de to testområder. Disse vil forklare, hvilket data der skal indsamles i området, og hvordan det rent praktisk er gennemført. Ydermere præsenteres en tegning af hvert over de to områder, der viser det indsamlede data.

17.1 Positionering af udstyret

Som nævnt tidligere er det nødvendigt at bruge en traditionel landmålingsmetode til at positionere GPR'en, når ledningen er lokaliseret. I forbindelse med dataindsamlingen til dette projekt vælges det, at positionere GPR'en ved brug af RTK GPS. Der anvendes som beskrevet i kapitel *16 Indsamling af kontrolmateriale* en GPS løsning med rover og egen base. Selve positioneringen kan ske ved, at GPR'ens placering markeres med eksempelvis spraymaling, hvorefter denne position indmåles på almindelig vis med GPS'en. I dette projekt er det dog valgt at montere GPS antennen på GPR'en for at undgå grove fejl i forbindelse med markering og indmåling. Følgende Figur 17.1 viser et billede af GPR'en med GPS antennen monteret over antennens nulpunkt.



Figur 17.1 - Billedet viser GPS antennen monteret over antennen.

Ved brug af dette set-up er det muligt at registrere antennens position, så snart ledningen er lokaliseret. Der er dog intet dataflow mellem GPR og GPS, da GPS registreringen foregår manuelt. Dette set-up anvendes til dataindsamlingen i begge områder dog med en lille forskel i forbindelse med opstilling af basen. Den enkelte situation og den følgende måleprocedure forklares senere i dette kapitel.

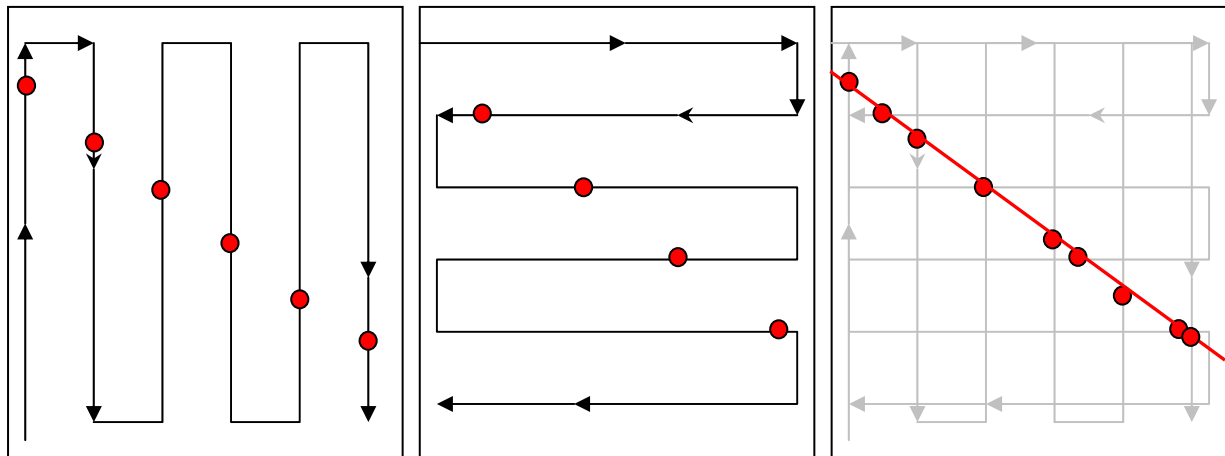
17.2 Dataindsamlingsmetoder

Afhængig af området og opgavens art kan der være forskel på, hvilken dataindsamlingsmetode der anvendes. Er der ikke kendskab til hvilke ledninger, der eksisterer i området, er det en god idé at anvende en metode, der sikrer, at hele interesseområdet bliver gennem søgt i et forudbestemt grid. Derimod kan andre metoder anvendes, hvis det er kendt, hvilke ledninger der findes i området. I det følgende vil to dataindsamlingsmetoder blive beskrevet og diskuteret.

17.2.1 Generel metode til dataindsamling

Er der ikke kendskab til områdets indhold af ledninger, er det vigtigt, at der vælges en dataindsamlingsmetode, der sikrer, at hele området afsøges i et systematisk grid. Dataindsamling med udstyret foregår ved, at radaren bevæges henover interesseområdet i et mere eller mindre fastlagt grid afhængigt af områdets karakter. Indledningsvist kan man vælge at afsøge områdets grænser for at opnå kendskab til, hvilke ledninger der kan findes i området. Når den begravede ledning

passeres og lokaliseres, markeres positionen, og det samlede forløb kan efterfølgende bestemmes. Følgende Figur 17.2 viser, hvorledes dataindsamlingen gennemføres.

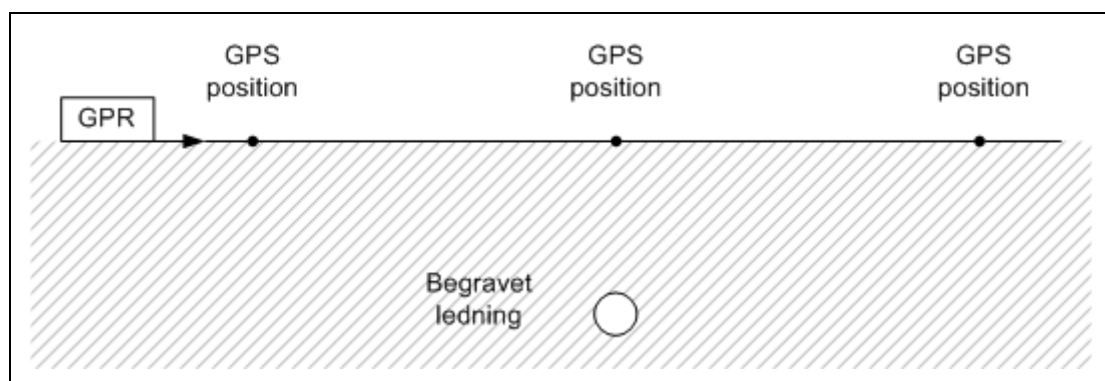


Figur 17.2 - Figuren viser arbejdsgangen ved dataindsamlingen.

Afstanden mellem målelinierne bestemmes på forhånd ved at betragte forholdene i marken. Det vil sige, at griddet er tættere, når der indsamles data i bymæssig bebyggelse end i mere åbne områder. Dette skyldes, at der ofte i bebyggede områder findes flere forskellige ledninger, hvis placering og forløb skal bestemmes.

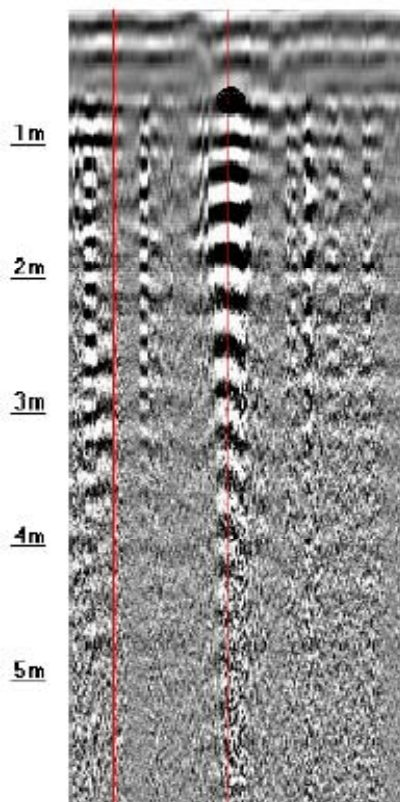
17.2.2 Dataindsamlingsmetode i projektet

Da der i dette projekt på forhånd er kendskab til ledningernes placering, vælges en mere tilpasset dataindsamlingsmetode. Den enkelte lokalisering af ledningen foregår ved et tværsnit, hvor der positioneres et start- og slutpunkt samt det punkt, hvor ledningen lokaliseres. Følgende Figur 17.3 viser en illustration af dataindsamlingen.



Figur 17.3 - Skitsen viser et eksempel på et tværsnit i dataindsamlingen.

Som det ses, registreres der altså i alt tre GPS positioner for hvert tværsnit. Disse steder markeres ligeledes i GPR data'et. Denne markering vises på billedet som en rød linie. Følgende Figur 17.4 viser radar data til et tværsnit.



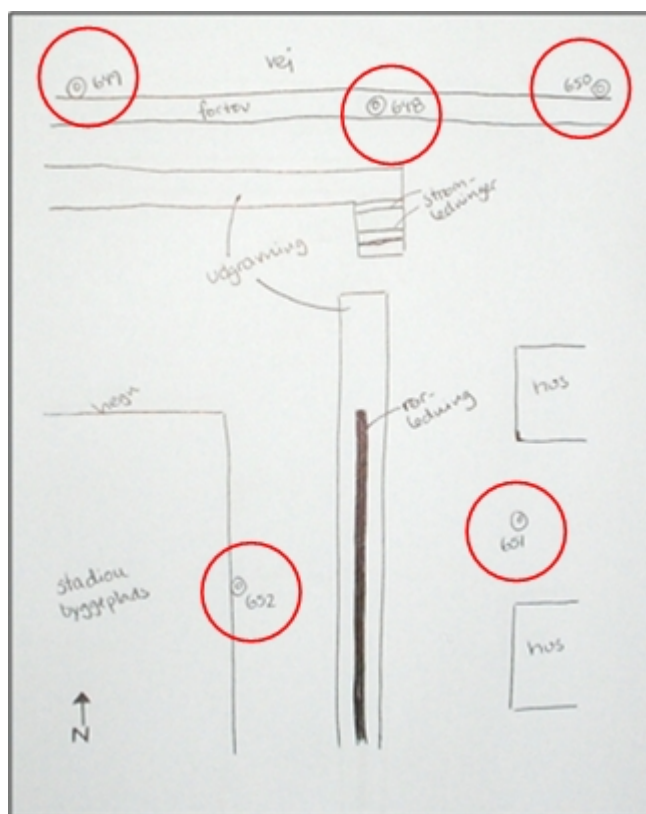
Figur 17.4 - Billedet viser et eksempel på radar data til et tværsnit.

Som nævnt er de tre GPS registreringer i GPR data'et markeret med en rød linie, som det også ses på billedet. Den midterste er dermed den, der markerer ledningens placering, hvor det også er muligt at ane en sort plet, der markerer ledningens placering i en dybde af ca. 70 cm.

17.3 Testområde 1 – Musameer Street

I dette område har den studerende selv udarbejdet kontrolmaterialet. Denne fordel tænkes anvendt i forbindelse med undersøgelsen af positionsbestemmelsen. Det betyder, at et antal lokaliseringer af ledningen gennemføres, hvorefter det vil være muligt at beregne, hvor nøjagtigt ledningens plane position og højde er bestemt. I Appendix 1 betragtes sammenhængen mellem overbestemmelser og spredningens konfidensstal, hvorefter den studerede vælger, at der skal indsamles 50 observationer, for at det er muligt at bestemme positionens nøjagtighed med et passende snævert konfidensstal. Derfor skal der gennemføres minimum 50 tværsnit i område 1.

Med disse overvejelser gjort, er det muligt at påbegynde markarbejdet. Dette omfatter som det første at placere basen og måle fikspunkterne ind. Basen placeres i området, og samme fremgangsmåde som ved indsamling af kontrolmateriale anvendes. Basen tildeles en absolut position med en nøjagtighed bedre end få meter. Herefter indmåles fikspunkterne 648-652, så det er muligt at transformere GPS målingerne over i samme lokale koordinatsystem, som blev anvendt ved indsamling af kontrolmateriale. Figur 17.5 viser fikspunkternes placering i området.



Figur 17.5 - Skitsen viser fikspunkternes placering i området.

Herefter gennemføres dataindsamlingen af de i alt 53 tværsnit med fremgangsmåden beskrevet ovenfor. Under dataindsamlingen noteres det i en målebog, hvorvidt der var problemer med at lokalisere ledningen eller andre bemærkninger om dataindsamlingen. GPS filer samt pdf'er af radar-data er vedlagt som bilag D og F.

Inden dataindsamlingen afsluttes, indmåles fikspunkterne 648-652 endnu en gang. Dette sker for at sikre, at der ikke er sket ændringer i basens opstilling under dataindsamlingen. En tabel over disse afvigelser er vedlagt i bilag B. Da alle afvigelser er mindre end GPS'ens forventede nøjagtighed, vurderes det, at dataindsamlingen er forløbet som planlagt. Disse fikspunkter skal anvendes til den efterfølgende transformation, og der beregnes derfor et sæt middelkoordinater. En tabel over disse er vedlagt i bilag B.

Inden det indsamlede data kan anvendes i analysen, er det som nævnt nødvendigt at transformere det over i det lokale koordinatsystem, der blev anvendt til indsamling af kontrolmateriale i området. Der anvendes til dette en 3D transformation uden målestoksændring. Det er valgt at anvende en transformation uden målestoksændring, da der er anvendt det samme udstyr til begge opmålinger, og derfor ikke er grundlag for at forvente en målestoksændring. Den studerende har på forhånd ved brug af en 3D translation undersøgt, at der ikke er grove fejl på fikspunkterne.

Følgende Figur 17.6 viser resultatet af transformationen. Dokumentation for transformationen er endvidere vedlagt som bilag G.

Fikspunkt	Residualer		
	E	N	H
648	0,004	-0,008	-0,003
649	-0,004	0,004	0,005
650	0,000	0,002	-0,002
651	-0,001	-0,001	0,002
652	0,002	0,003	-0,002

Figur 17.6 - Tabellen viser resultatet af transformationen. Alle værdier er angivet i meter.

På baggrund af disse residualer beregnes en spredning på vægtenheden for planen og for højden ved brug af følgende udtryk:

$$\sigma_{0EN} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (r_{Ei}^2 + r_{Ni}^2)}{2n - 4}}$$

$$\sigma_{0H} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n r_{Hi}^2}{n - 3}}$$

Hvor r_i er det i 'te residual
 n er antallet af fællespunkter

[Jensen, 2003]

Herved opnås følgende resultat:

$$\sigma_{0EN} = 0,005 \text{ m}$$

$$\sigma_{0H} = 0,005 \text{ m}$$

Efter transformationen konverteres data til en AutoCad-tegning. Denne tegning er vedlagt som tegning 001 og 002 i bilag C.

17.4 Testområde 2 – Lusail

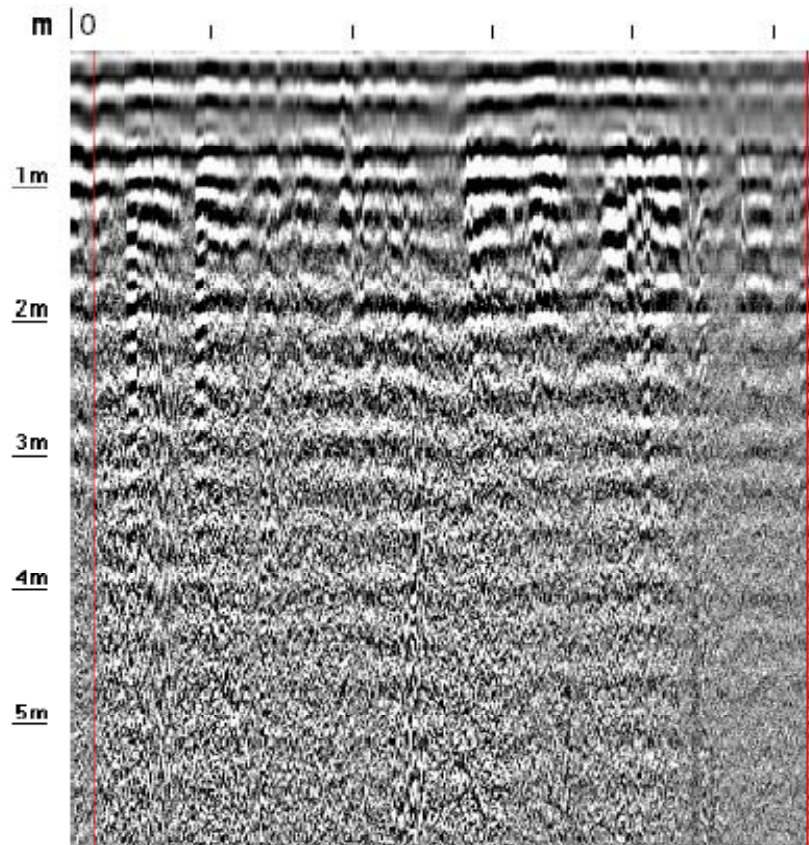
I dette område er der som nævnt modtaget as-built tegninger fra bygherren. Det vil sige, at den studerende ikke har haft adgang til området under etablering af ledningsnettet. Derfor behandles dette testområde som et eksempel på, hvordan en kortlægning ville foregå i praksis. Det primære er altså at indsamle tilstrækkeligt data til at bestemme ledningens position og dermed skæringspunkter mellem de enkelte ledningsstykker. Disse optræder i marken som brønde, og det vil derfor være muligt at sammenligne resultatet af kortlægningen med det udleverede materiale.

Ydermere ønskes det at indsamle data til yderligere to dele af undersøgelsen. Det drejer sig om undersøgelse af GPR'ens pålidelighed, altså hvorvidt ledningen lokaliseres det samme sted, hver gang et enkelt tværsnit gennemses. Ydermere ønsker den studerende at kunne give en vurdering af udstyrets anvendelighed og brugervenlighed i marken. Derfor ønskes det afprøvet, om det er muligt at følge ledningen med GPR'en. Det vil sige, at der i denne del af undersøgelsen ikke er tale om snit på tværs af ledningen, men om en dataindsamling langs med ledningen. I de øvrige dele af dataindsamlingen anvendes samme set-up og fremgangsmåde som beskrevet tidligere.

Inden dataindsamlingen kan påbegyndes, er det nødvendigt at opstille basen. Da det udleverede materiale ligger i et større koordinatsystem med tilhørende fikspunkter på byggepladsen, anvendes et af disse fikspunkter til at placere basen i. Dette sker ved at basen centrerer over punktet, og højden til antennen noteres. Herefter indtastes fikspunktets koordinater og antennens højde over punktet, hvorefter RTK måling med roveren kan påbegyndes. For at kontrollere at der registreres koordinater i det rigtige koordinatsystem, indmåles nogle fikspunkter i området. En tabel over afvigelserne mellem disse målinger og de udleverede koordinater kan findes i bilag B. Disse afvigelser er alle mindre end den forventede GPS nøjagtighed, og derfor er det nu muligt at påbegynde GPR dataindsamlingen.

Som nævnt ønskes en sektion af ledningen kortlagt. Her vælges en del af nettet, hvor der er flere knæk på ledningsforløbet og dermed brønde. Herved vil det som nævnt være muligt at kontrollere, hvorvidt det er muligt at bestemme placeringen af disse brønde udfra de mellemliggende ledningers forløb. Da der er tale om en byggeplads, er det ikke muligt at indsamle data alle de ønskede steder, da jordbunker og maskinel enkelte steder forhindrer adgang. Efter endt opmåling konverteres GPS målingerne til en AutoCad-tegning. Denne importeres derefter i den tegning, som den studerende modtog fra bygherren. Tegningen er vedlagt som tegning 004 i bilag C.

Da ledningens placering var bestemt, gennemførtes dataindsamlingen langs med ledningen. Dette skete for at undersøge, om det er muligt at følge ledningen. Følgende Figur 17.7 viser et udsnit af det radar data, der er indsamlet langs ledningen.



Figur 17.7 - Billedet viser et udsnit af radar data fra dataindsamling langs ledningen.

Som det ses på billedet, er der række lagdelinger i den øverste, hvor ledningen befinder sig. Det er dog meget svært at se, hvilket lag der er ledningen, og hvornår man eventuelt bevæger sig væk fra den.

Desuden ønskedes det at undersøge pålideligheden af GPR'en. Derfor blev ét tværsnit gennemført i alt 11 gange. Det ville have været ønskeligt, hvis det havde været muligt at indsamle data flere gange på dette sted, men batterimangel gjorde det desværre nødvendigt at afslutte dataindsamlingen.

17.5 Opsamling

Dette kapitel har forklaret, hvorledes GPR dataindsamlingen i de to testområder er gennemført. Der er i de to testområder indsamlet data, der gør det muligt at undersøge de ønskede forhold. I begge testområder valgte den studerende at positionere GPR'en ved hjælp af en RTK GPS løsning. På denne måde er data blevet koordineret i samme koordinatsystemer som kontrolmaterialet. Dette gør det muligt at foretage de ønskede beregninger. Det er derfor på nuværende tidspunkt muligt at påbegynde bearbejdningen af det indsamlede data.

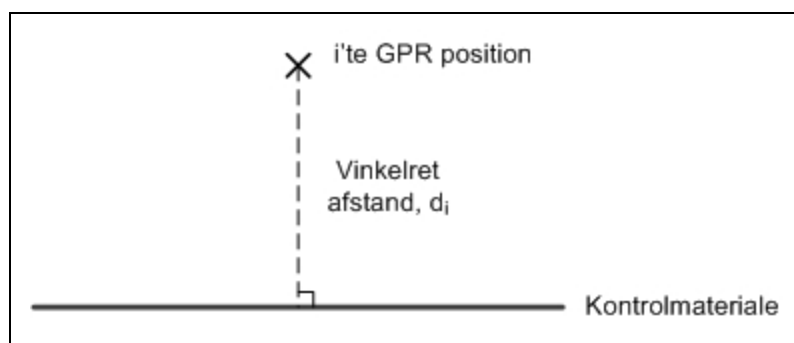
18 Databearbejdning

Efter dataindsamlingen skal data bearbejdes for at gøre det muligt at præsentere testresultaterne på den ønskede måde. Det er derfor nødvendigt at uddrage de informationer, der er nødvendige for at gennemføre de ønskede beregninger. De anvendte udtryk og sammenhænge er præsenteret og forklaret i appendiks 1. Testresultaterne vil dog ikke blive præsenteret i dette kapitel, da der udelukkende er fokus på databearbejdningen frem for de endelige resultater.

Som nævnt i forbindelse med dataindsamlingen er GPS målingerne konverteret til AutoCad-tegninger. Dette er sket ved hjælp af landmålingsprogrammet LLP. GPS målingerne udlæses fra controlleren som en komma separeret CSV-fil. Denne indlæses i LLP og konverteres til en MicroStation DGN-fil. Dette er nødvendigt, for at kodningen i GPS målingerne bliver konverteret til de rigtige celler og signaturer. Fra MicroStation eksporteres endeligt en AutoCad DWG-fil, som der arbejdes videre i. I denne fil bestemmes de afvigelser, der anvendes til beregningerne. Beregningerne foretages i Excel eller MatLab. Disse beregninger er vedlagt i bilag H og I, hvortil der henvises i det følgende.

18.1 Nøjagtighed

Som nævnt i beskrivelsen i afsnit 15.1 *Nøjagtighed, plan- og højde-* ønskes det at præsentere resultaterne af denne undersøgelse som en spredning for hhv. plan og højde beregnet på baggrund af afvigelserne mellem GPR positionerne og kontrolmaterialet. Disse afvigelser bestemmes i AutoCad-tegningen ved at projicere GPR positionen vinkelret ind på ledningen i kontrolmaterialet. Følgende Figur 18.1 viser et eksempel på denne projektion.



Figur 18.1 - Figuren viser, hvorledes afvigelser mellem GPR positionen og kontrolmaterialet er bestemt. Skitsen er ikke målfast.

Som det ses på tegningen, konstrueres altså den vinkelrette afstand fra GPR positionen til kontrolmaterialet. Dette resulterer i to koordinatsæt: GPR positionen og det projekterede punkt på kontrolmaterialet. Da den plane positions nøjagtighed forventes at være forskellig fra nøjagtighe-

den på dybden, ønskes det at beregne en spredning for hver af de to forhold. Derfor beregnes afvigelserne som både den plane afvigelse og højdeforskellen mellem de to koordinatsæt. Disse beregninger er udført i Excel og vedlagt i bilag H. Afvigelserne benyttes herefter til beregning af de to spredninger ved brug af følgende udtryk:

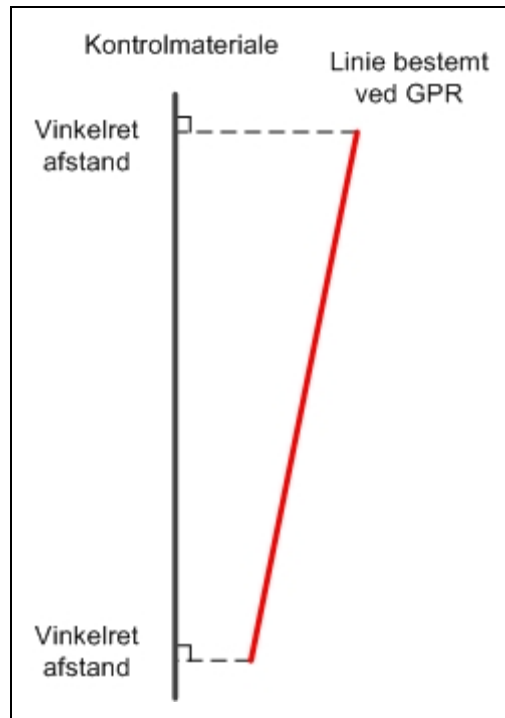
$$\sigma_{EN} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_{EN_i}^2}{n}}$$

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_{H_i}^2}{n}}$$

Hvor d_{EN_i} er den plane afvigelse mellem den i 'te måling og kontrolmaterialet.
 d_{H_i} er højdeafvigelsen mellem den i 'te måling og kontrolmaterialet.
 n er antallet af målinger.

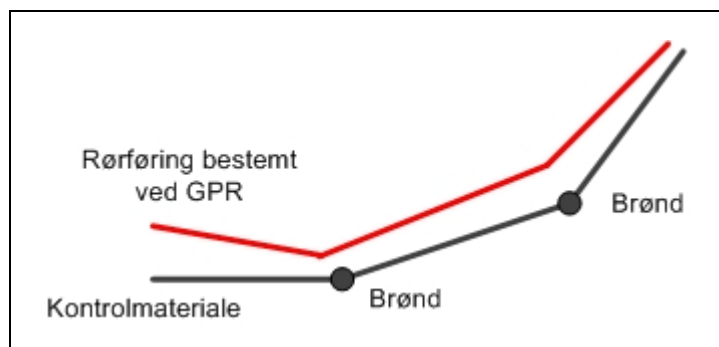
Ydermere anvendes GPR positionerne til at bestemme bedste rette linie ved mindste kvadraters princip, som forklaret i appendiks 1. Beregningerne sker i MatLab, og disse filer er vedlagt som bilag I. Sammenligningen med kontrolmaterialet sker dog forskelligt i de to områder. Da beregningen af bedste rette linie udelukkende er foretaget i 2D, foretages der ikke en sammenligning i højden i denne undersøgelse.

I testområde 1 beregnes på samme måde bedste rette linie i kontrolmaterialet. Denne linie repræsenterer altså ledningens aktuelle placering, som opmålt af den studerende. De to linier plottes herefter i tegningen og sammenlignes ved at betragte afstanden mellem dem. Da de to linier ikke er parallelle, betragtes afstanden mellem dem i begge GPR liniens endepunkter. Afstandene bestemmes i tegningen ved at projekte liniens endepunkter vinkelret på kontrolmaterialet. Følgende Figur 18.2 viser, hvorledes de to afstande bestemmes.



Figur 18.2 - Figuren viser, hvorledes de to linier i testområde 1 sammenlignes. Skitsen er ikke målfast.

Som nævnt sker sammenligningen på en lidt anderledes måde i testområde 2. Da der her er tale om en ledning bestående af tre mindre delstykker er det muligt at betragte de knæk, der opstår mellem de enkelte ledningsstrækninger. I marken fremstår disse knæk som brønde, og disse er koordineret i kontrolmaterialet modtaget fra bygherren. Der kan derfor beregnes koordinatafgivelser mellem knækkene på den beregnede ledning og disse brønde. Følgende Figur 18.3 viser situationen i testområde 2.

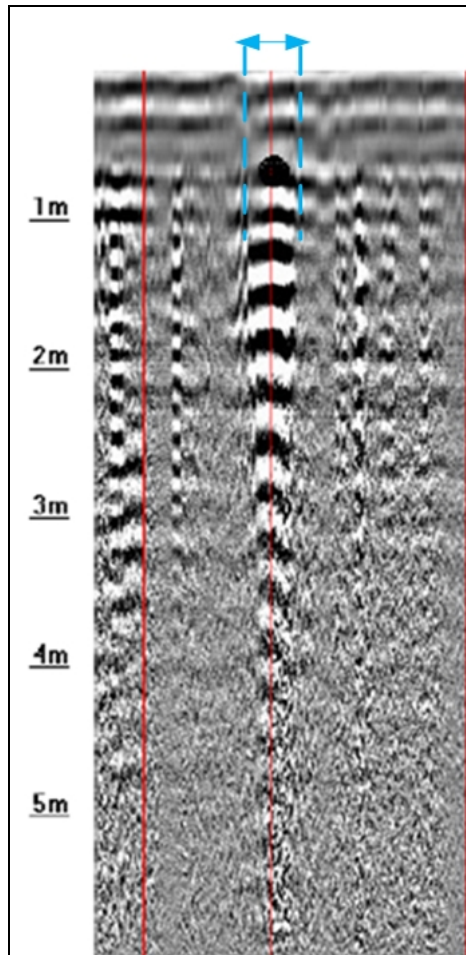


Figur 18.3 - Figuren viser sammenligning af de to linieføringer i testområde 2. Skitsen er ikke målfast.

Efter disse beregninger er det muligt at præsentere plan- og højdespredninger for nøjagtigheden af positionsbestemmelsen i de to testområder. Ydermere er det muligt at betragte GPR opmålingerne som linieføringer og dermed forskellen mellem disse og kontrolmaterialet.

18.2 Dimension

Som nævnt i beskrivelsen i afsnit 15.2 *Dimension* ønskes det at præsentere resultatet af denne undersøgelse som en spredning på udslagets størrelse i data. Udslagets størrelse måles ved brug af GPR'ens software. Følgende Figur 18.4 viser, hvorledes denne størrelse bestemmes i data.



Figur 18.4 - Billedet viser, hvordan udslagets størrelse bestemmes som afstanden mellem de to blå stiplede linier.

Som det ses, bestemmes størrelsen ved afstanden imellem de to blå stiplede linier, der illustrerer grænserne af udslagets bredde. Disse grænser defineres af den studerende, og det kan derfor diskuteres, hvor disse skal placeres i det enkelte billede. Denne undersøgelse gennemføres i begge områder, og da de to ledningers dimension er forskellige, holdes beregningerne adskilt.

Når størrelsen på alle udslag er bestemt, kan et middel beregnes. Dette anvendes som et estimat for den sande størrelse på udslaget. Derfor bestemmes afvigelserne mellem det enkelte udslag og middelværdien. På baggrund af disse afvigelser kan spredningen på udslaget beregnes efter følgende udtryk, præsenteret i appendiks 1:

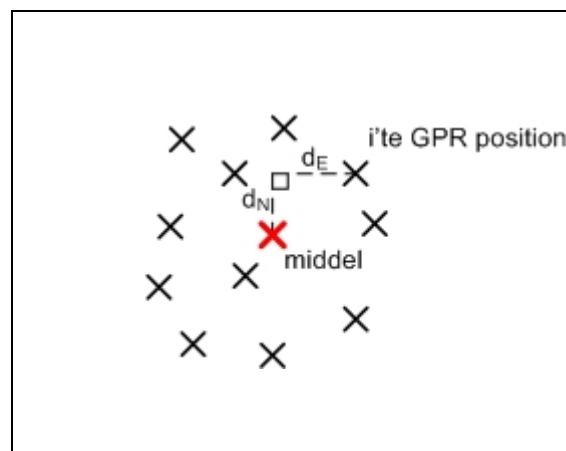
$$\sigma_{udslag} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Hvor x_i er det i 'te udslag.
 $\bar{x}$ er middelværdien for udslagene og derfor estimatet for den sande størrelse på udslaget.
 n er antallet af målingerne.

Disse beregninger er foretaget i Excel og vedlagt som bilag H. Herefter er det dermed muligt at præsentere spredningen på udslaget og estimatet for den sande størrelse af udslaget. Dette estimat kan sammenlignes med den aktuelle dimension på ledningen, og sammenhængen betragtes.

18.3 Præcision

Som beskrevet i afsnit 15.3 *Præcision, plan- og højde-* ønskes det at præsentere resultatet af undersøgelsen af udstyrets præcision som en spredning i plan og højde. Det beskrives, at der til denne undersøgelse indsamles data et antal gange det samme sted. Dette resulterer i et antal positioner, hvoraf middel beregnes. Herefter bestemmes afvigelsen i hhv. E, N og H. Følgende Figur 18.5 viser, hvorledes disse afvigelser bestemmes.



Figur 18.5 - Figuren viser, hvorledes afvigelserne bestemmes. Skitsen er ikke målfast.

På baggrund af disse afvigelser bestemmes spredninger ved brug af følgende udtryk, som beskrevet i appendiks 1:

$$\sigma_E = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{E_i} - \bar{x}_E)^2}{n-1}}$$

Hvor x_{E_i} er E – koordinaten til den i 'te position.
 $\bar{x}_E$ er E – koordinaten til middelpositionen.
 n er antallet af positioner.

På tilsvarende måde bestemmes σ_N og σ_H . Herefter er det muligt at beregne den plane spredning ved brug af følgende udtryk:

$$\sigma_{plan} = \sqrt{\frac{\sigma_E^2 + \sigma_N^2}{2}}$$

Ydermere bestemmes afvigelsen fra middelpositionen til kontrolmaterialet, som beskrevet i afsnit *18.1 Nøjagtighed*, ved at projicere positionen vinkelret på kontrolmaterialet og beregne den plane afvigelse samt forskellen i højden.

Disse beregninger er foretaget i Excel og vedlagt som bilag H.

18.4 Opsamling

Efter dette kapitel er det klarlagt, hvorledes databearbejdningen er udført. Det vil sige, at der er gjort rede for, hvorledes de enkelte resultater er beregnet og på hvilket grundlag. Det er nu muligt at præsentere resultaterne af undersøgelserne uden yderligere forklaringer af de gennemførte beregninger. Ønskes der supplerende oplysninger om den enkelte beregning, kan disse findes som Excel- og MatLab-filer i bilag H og I.

19 Testresultater

Efter at have redegjort for, hvorledes data er bearbejdet, er det muligt at præsentere resultaterne af de udførte tests. Dette kapitel vil derfor udelukkende beskæftige sig med resultaterne og ikke yderligere med beregningerne. Udover de konkrete resultater vil der blive givet en vurdering af disse. Dette vil gøre det muligt at udtale sig om projektets problemstilling ud fra de opnåede resultater.

19.1 Resultater

Første del af dette kapitel er en gennemgang af resultaterne og den studerendes vurdering af hvert enkelt resultat. Disse er delt op i forhold til den enkelte undersøgelse.

19.1.1 Nøjagtighed

Som beskrevet tidligere, er denne nøjagtighed beregnet ud fra et antal tværsnit, der sammenlignes med kontrolmateriale fra området. I testområde 1 er der tale om kontrolmateriale indsamlet af den studerende selv, og i testområde 2 består kontrolmaterialet af as-built dokumentation modtaget fra bygherren.

Følgende resultater opnås for de to områder, se Figur 19.1.

Nøjagtighed	Testområde 1	Testområde 2
σ_{EN}	0,318 m	0,699 m
σ_H	0,187 m	0,163 m

Figur 19.1 - Tabellen viser resultaterne af undersøgelsen af nøjagtigheden.

Disse resultater er overraskende, idet de stemmer meget dårligt overens med de fra producenten oplyste tolerancer. Som tidligere nævnt oplyste IDS i mail-korrespondance med den studerende, at Detector Duo typisk har en nøjagtighed på +/- 10 cm i både planen og dybden. Dokumentation for denne korrespondance kan findes i bilag A. Eftersom producenten vælger at definere nøjagtigheden som en tolerance, forudsætter den studerende, at der er tale om en grovfejlsgrænse. Det ses derfor tydeligt, at den beregnede spredning særligt i planen er væsentlig ringere end det kunne forventes

Den studerende har derfor overvejet mulige årsager til, hvorfor disse resultater ikke lever op til forventningerne:

- Forskydning af GPR antennens nulpunkt

- Systematisk fejl på odometret
- GPS'en påvirkes af GPR antennen

Forskydning af GPR antennens nulpunkt

Man kunne forestille sig, at nulpunktet angivet på GPR antennen er fejlagtigt placeret. Dette betyder, at der registreres et forskudt punkt ved hver lokalisering. Hvis dette er tilfældet, vil forskydningen være den samme ved hver lokalisering og være ens i forhold til udstyrets bevægelsesretning. Da der som nævnt er registreret en GPS position i både start- og slutpunktet af hvert tværsnit, er det muligt at afgøre, hvilken retning afvigelsen har. Ved at betragte punktnummereringen, der er foregået fortløbende, undersøges hvert tværsnit. Følgende resultat opnås ved denne optælling:

- 29 gange blev ledningen registreret efter, at den aktuelle position var passeret.
- 21 gange blev ledningen registreret før, at den aktuelle position blev passeret.

Da denne fordeling ikke viser en overbevisende tendens, vurderes det, at der ikke er tale om en forskydning af GPR antennens nulpunkt.

Systematisk fejl på odometret

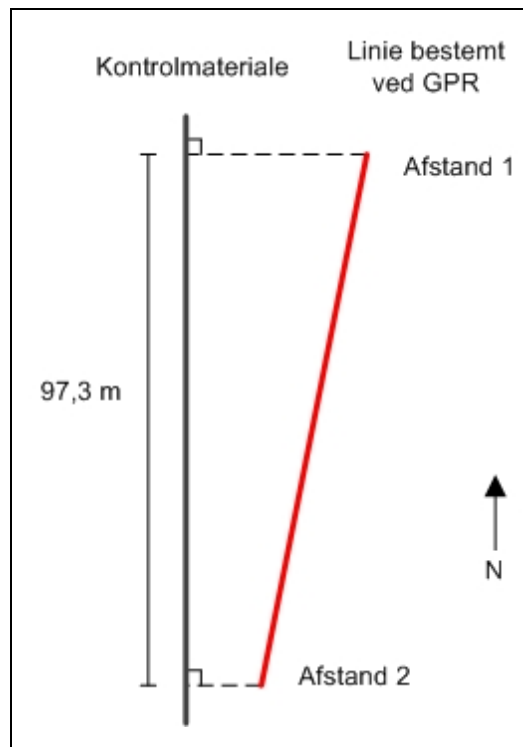
Når GPR'en bevæges henover ledningen, køres der bevidst for langt for at gøre det muligt at se det fulde billede af tværsnittet, inden ledningens placering bestemmes. Herefter bevæges udstyret tilbage, indtil operatøren i billedet ser, at antennen befinder sig over udslaget, hvor positionen registreres. Man kunne derfor forestille sig, at en fejl i forbindelse med odometret forårsager, at udstyret ikke placeres det korrekte sted i forbindelse med registrering af positionen. Dette forhold ville dog sandsynligvis kunne ses ved igen at betragte afvigelsens retning. Da der som nævnt ikke er noget systematisk at se i fordelingen, forkastes også denne forklaring.

GPS'en påvirkes af GPR antennen

Da registreringen af positionen, som beskrevet, ikke foregår automatisk, er det nærliggende at se nærmere på denne del af dataindsamlingen for at forklare de opnåede resultater. Den monterede GPS antenne kunne være påvirket af GPR antennen. Hvis dette er tilfældet, burde det indvirke på alle GPS positioner registreret på tværsnittene. Betragtes de indmålte tværsnit på tegning 002 i bilag C, er det dog tydeligt, at langt de fleste er tilnærmelsesvis parallelle. Hvis der var tale om en påvirkning af GPS målingerne i forbindelse med GPR dataindsamlingen, ville dette sandsynligvis kunne ses på disse linier. Derfor forkastes denne forklaring.

Som beskrevet, er der desuden foretaget en beregning af bedste rette linie for GPR kortlægningen. I testområde 1 sammenlignes denne linie med bedste rette linie i forhold til kontrolmaterialet, hvorimod der i testområde 2 foretages skæringer mellem liniestykkerne, der sammenlignes med brøndenes aktuelle placering.

Følgende Figur 19.2 viser, hvordan sammenligningen er sket i testområde 1.



Figur 19.2 - Figuren viser, hvorledes sammenligningen mellem linierne er foretaget i testområde 1.

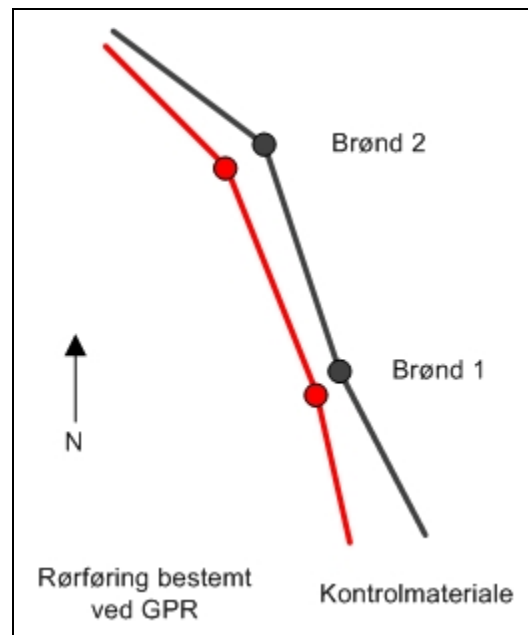
Som det ses, er der 97,3 m mellem de to afstande med følgende resultater:

- Afstand 1: 0,181 m
- Afstand 2: 0,049 m

En tegning af linierne er vedlagt som tegning 003 i bilag C.

Som det ses, er der kun 13,2 cm i forskel mellem de to kontrolafstande. Tages det i betragtning, at der er forholdsvis langt mellem afstandene, kan det konkluderes, at der kun er en ganske lille vinkel og forskydning mellem linierne. Dette resultat er altså væsentligt bedre end den beregnede spredning præsenteret tidligere. Det kan derfor anbefales, at der indsamles data fra flere tværsnit og derefter gennemføres en udjævning for at bestemme ledningens linieføring. Det kunne dog være interessant at undersøge, hvor mange tværsnit der er nødvendige pr. liniestykke for at opnå en acceptabel kortlægning.

Også i testområde 2 er bedste rette linie beregnet for de tre ledningsstykker, hvorfra der er indsamlet data. De tre ledningsstykker resulterer i to skæringer, der optræder som brønde i marken. Da disses placering er kendt i flg. Kontrolmaterialet, kan der ske en direkte sammenligning. Følgende Figur 19.3 viser en skitse af testområdet, og nummereringen af brøndene.



Figur 19.3 - Skitsen viser sammenligningen af linierne i testområde 2. Skitsen er ikke målfast.

Følgende resultat opnås ved sammenligning af skæringspunkterne med brøndenes placering:

- Brønd 1: 3,827 m
- Brønd 2: 0,123 m

En tegning af sammenligningen mellem linieføringerne er vedlagt som tegning 005 i bilag C.

Som det ses, er resultatet på brønd 2 væsentligt bedre end resultatet på brønd 1. En del af dette skyldes sandsynligvis, at ledningsstykket syd for brønd 1 kun er bestemt ved to tværsnit, da det pga. udgravninger og andre obstruktioner ikke var muligt at samle data på en stor del af strækningen. En eventuel grov fejl på en af disse lokaliseringer vil derfor få afgørende betydning for linieføringen. Den studerende har ydermere overvejet kontrolmaterialets kvalitet omkring brønd 1. Dette skyldes, at GPR lokaliseringerne på strækningen mellem brønd 1 og 2 samt på strækningen efter brønd 1 afviger mere og mere fra kontrolmaterialet i vestlig retning.

19.1.2 Dimension

Som tidligere beskrevet, beregnes der i denne undersøgelse en spredning for udslaget i radar data'et. Dette sker ved at betragte størrelsen af et antal udslag fra den samme ledning. Som estimat for størrelsen på det sande udslag beregnes en middelværdi. Ud fra denne værdi beregnes en spredning for udslagets størrelse. Undersøgelsen er gennemført i begge testområder.

Følgende Figur 19.4 viser de opnåede resultater for denne undersøgelse.

Dimension	Testområde 1	Testområde 2
Middel	0,318 m	0,312 m
σ_H	0,051 m	0,034 m
Aktuel dimension	0,420 m	0,300 m

Figur 19.4 - Tabellen viser resultatet af undersøgelsen af dimensionens udslag.

Spredningen på udslaget er i begge testområder af en acceptabel størrelse. Det overraskende er i denne undersøgelse, at middelværdierne for udslagene stort set er ens for de to områder på trods af, at de aktuelle dimensioner er forskellige. I testområde 1 ses det, at udslaget er ca. 24 % mindre end den aktuelle dimension. I testområde 2 derimod er udslaget ca. 4 % større end den aktuelle dimension. Det overrasker meget, at der i det ene tilfælde er tale om en forøgelse og i det andet tilfælde om en formindskning. Det var forventet, at der ikke ville ske den samme skalering af udslaget i forhold til den aktuelle dimension, idet der er tale om rør af forskellige materialer og dimensioner. Det forventedes dog, at skalering ville være i den samme retning.

Disse resultater er beregnet på baggrund af målinger i radar-data foretaget af den studerende. Da der i hvert enkelt tilfælde er foretaget et skøn af udslagets udbredelse, vil denne udmåling i høj grad afhænge af operatøren. Det må derfor forventes, at spredningen på udslagernes størrelse er lavere, såfremt der er tale om en rutineret og omhyggelig operatør.

19.1.3 Præcision

Som tidligere forklaret, beregnes præcisionen af et enkelt tværsnit ved at indsamle data fra dette tværsnit et antal gange. Derefter beregnes en middelposition, hvorfra afvigelser til de enkelte tværsnit bestemmes. Ud fra disse afvigelser beregnes spredningen for præcisionen i planen og højden.

Følgende Figur 19.5 viser de beregnede resultater af denne undersøgelse.

Præcision		Testområde 1
σ_{plan}		0,087 m
σ_H		0,029 m
Afvigelse fra kontrolmateriale	plan	0,124 m
	H	0,055 m

Figur 19.5 - Tabellen viser resultatet af undersøgelsen af udstyrets præcision.

Som det ses, opnås der et overraskende godt resultat. Præcisionen for det pågældende tværsnit er høj især i højden. Det kan dog undre, at præcisionen er bedre i højden end i planen, da man i landmåling normalt vil forvente det omvendte. Den samme tendens sås i undersøgelsen af udstyrets nøjagtighed, der var væsentlig bedre i højden end i planen. Producenten har dog givet den studerende den opfattelse, at udstyrets præcision og nøjagtighed vil være af den samme størrelse i både plan og højde. Dette er tydeligvis ikke tilfældet i denne undersøgelse.

19.1.4 Fuldstændighed

Fuldstændigheden er som beskrevet tidligere beregnet ved at betragte den samlede dataindsamling. Andelen af tværsnit, hvor ledningen kunne lokaliseres, sættes i forhold til det samlede antal tværsnit. Undersøgelsen gennemføres for hvert af de to testområder. Følgende resultater opnås:

	Testområde 1	Testområde 2
Fuldstændighed	94,34 %	95,65 %

Figur 19.6 - Tabellen viser resultatet af undersøgelsen af udstyrets fuldstændighed.

Dette resultat overrasker den studerende positivt. Idet der er tale om en arbejdsproces, hvor operatøren afgør, hvornår udslaget stammer fra en ledning, kan det være meget forskelligt, hvor stor succesraten for den enkelte dataindsamling bliver. Man kan også forestille sig, at fuldstændigheden påvirkes af de fysiske forhold i området. De beregnede fuldstændigheder bør derfor udelukkende betragtes som eksempler, og man bør sandsynligvis forvente en anden fuldstændighed under andre forhold.

19.1.5 Anvendelighed

I forbindelse med dataindsamling til dette projekt har den studerende fået mere erfaring med brug af Detector Duo. På baggrund af denne erfaring er det muligt at give en vurdering af udstyrets brugervenlighed. Denne vurdering vil omfatte beskrivelser af en række praktiske problemer, der opstod i forbindelse med dataindsamlingen samt et antal forhold, der opfattes som begrænsninger for udstyrets anvendelighed.

Dataindsamlingen blev gennemført i begyndelsen af maj måned i Doha, Qatar. I denne periode er der typisk mere end 40° varmt. Det betyder, at temperaturen i solen nemt er over 50°. Disse forhold besværliggjorde dataindsamlingen, da Hammerhead-computeren havde meget svært ved at klare varmen. Omtrent én gang hver ½-1 time var det nødvendigt at anbringe den bærbare computer i den medbragte køletaske for at forhindre, at den blev ophedet så meget, at skærmen slukkede. Ydermere var den studerende nødt til at afslutte dataindsamlingen tidligere end planlagt

pga. strømproblemer. Dette forhold omhandler ligeledes den bærbare Hammerhead-computer. Denne løb tør for strøm efter mindre end 5 timers dataindsamling. Om dette skyldes den høje temperatur eller blot mindre god batterilevetid er ikke klart. Begge forhold betragtes dog som væsentlige ulemper.

Idet dataindsamling foregår ved at bevæge antennen henover jordoverfladen, er det nødvendigt, at området er nogenlunde ryddet for forhindringer. Dette omfatter også større sten, der skal fjernes, inden det er muligt at gennemføre dataindsamlingen. Ydermere er det en fordel, hvis der er tale om jævnt terræn. Dette skyldes, at man opnår mindre støj, hvis antennen har konstant kontakt med en jævn jordoverflade. Det kan altså være nødvendigt at forberede området en smule, inden dataindsamlingen gennemføres for at sikre de bedste forhold for lokaliseringen.

Som nævnt tidligere positioneres de lokaliserede objekter ikke automatisk med det valgte udstyr. I dette projekt har den studerende valgt at løse dette problem ved at montere en GPS antenne over GPR antennen. Da der ikke er tale om en egentlig integration mellem de to instrumenter, er der ikke noget dataflow herimellem. Det er derfor nødvendigt, at operatøren registrerer en GPS position samtidigt med, at objektet markeres i GPR data til brug for senere dokumentation. Denne todelte arbejdsproces er langt fra optimal, idet der kan ske grove fejl i forbindelse med den manuelle overførsel af dybdeinformationer fra GPR'en til GPS'en. På dette område er der altså plads til forbedringer af set-up'et.

Som omtalt tidligere er den normale dataindsamlingsmetode at bevæge sig i et systematisk grid. Den studerende har i forbindelse med dataindsamling afprøvet, hvorvidt det er muligt at følge en ledning ved at bevæge sig over ledningen i dennes retning. Erfaringerne med denne metode var dog ikke udpræget gode. Den studerende fandt det meget svært at afgøre, hvornår udstyret befandt sig over ledningen, og hvornår man bevægede sig i en forkert retning. Ydermere var det meget svært eller direkte umuligt at bestemme, i hvilken dybde ledningen lå ud fra det indsamlede data. Det vurderes derfor, at denne metode ikke egner sig bedre end tværsnittene til lokalisering af ledninger.

Afslutningsvist er det vigtigt at bemærke, at operatørens evner og omhyggelighed er afgørende for kortlægningens succes. Dette skyldes, at selve udpegningen sker ved, at operatøren foretager en vurdering af det viste radar data. Man kunne derfor forestille sig, at en mindre erfaren operatør vil opnå dårligere resultater ved brug af udstyret.

19.2 Vurdering af resultater

Efter at have præsenteret og vurderet de enkelte testresultater er det muligt at give en samlet vurdering af testresultaterne såvel som testen. Flere af resultaterne især undersøgelsen af udsty-

rets nøjagtighed overrasker den studerende. De beregnede spredninger er væsentlig dårligere end ventet, idet producenten har oplyst nøjagtigheder af en anden størrelse. I forbindelse med de overraskende resultater har den studerende evalueret testens sammensætning i håb om at finde forklaringen her. Ydermere har den studerende overvejet, om der kunne være tale om en systematisk fejl på udstyret. Det har dog ikke umiddelbart været muligt at pege på en overbevisende forklaring.

Efter analyse af resultaterne har den studerende kontaktet producenten for at få en forklaring på testens resultater. En geolog har forsøgt at komme med forslag til årsagen. Disse forklaringer lød hovedsageligt på fejlbetjening eller misforståelse af udstyret hos operatøren. Den studerende er dog af den overbevisning, at dette ikke er tilfældet. Ved rapportens færdiggørelse var der endnu ikke kommet bedre forklaringer fra producenten.

Den studerende foreslår derfor, at der udføres yderligere tests af udstyret. Opnås der ikke bedre resultater ved supplerende undersøgelser, må det stærkt anbefales, at udstyret sendes til kontrol ved producenten, idet man kunne forestille sig, at resultaterne skyldes en soft- eller hardwarefejl.

19.3 Opsamling

I dette kapitel har den studerende præsenteret og vurderet testresultaterne. Følgende resultater er bestemt:

- Nøjagtighed: Denne undersøgelse gav i begge testområder et skuffende resultat, når der beregnes en spredning for afvigelse i forhold til kontrolmaterialet. Beregnes bedste rette linie, forbedres resultatet væsentligt, dog er der endnu nogle uoverensstemmelser med kontrolmaterialet i testområde 2. Den studerende mistænker derfor, at kontrolmaterialet er behæftet med fejl.
- Dimension: De beregnede spredninger for udslagets størrelse i data er tilfredsstillende, men den studerende undrer sig over, at der er stor forskel på fortegning i forhold til den aktuelle størrelse imellem de to testområder.
- Præcision: Undersøgelsen af udstyrets præcision gav et tilfredsstillende resultat. Dog er afvigelsen i forhold til kontrolmaterialet stadig anseelig i forhold til antallet af målingens gentagelser.
- Anvendelighed: Den studerende har fået mere erfaring med brug af udstyret og kan herefter påpege et antal uhensigtsmæssigheder. Ydermere er det vigtigt at bemærke, at operatørens rutine og omhyggelighed har stor betydning for kortlægningens resultat.

Da der efter analyse af testens resultater stadig er en række ubesvarede spørgsmål, må det anbefales at der gennemføres yderligere tests af udstyret og alternativt en kontrol af såvel soft- som hardware.

20 Konklusion

Dette projekt har behandlet metoder til kortlægning af underjordiske ledninger. Interessen for at beskæftige sig med dette emne blev vagt i forbindelse med et projektforslag fra landmålingsgruppen i COWI Aalborg. Dette drejede sig specifikt om positionering af en vogn til kamerainspektion, men den studerende valgte at tage en bredere og mere generel vinkel til problematikken omkring kortlægning af underjordiske ledninger. Den studerende gør rede for, at der er en række grunde til, at det er fordelagtigt at kortlægge ledningsnet, bl.a. for at undgå graveskader eller lette reparationen af opståede skader og dermed minimere følgeskaderne. Yderligere gør den studerende sig klart, hvordan man i Danmark takler deling af ledningsoplysninger mellem ledningsejer og graveaktører. Gennem foranalysen gør den studerende rede for tre eksisterende løsninger til kortlægning af ledninger; Radiodetection, PipeTrack og Ground penetrating radar. De tre metoder er vidt forskellige og anvender forskellige lokaliseringsmetoder og teknikker. Da den studerende har mulighed for at låne ground penetrating radar udstyr, vælges det at arbejde videre med denne metode.

For at undersøge hvorvidt metoden er egnet til kortlægning af underjordiske ledninger, vælger den studerende at gennemføre en empirisk undersøgelse. Som forberedelse til denne undersøgelse vælger den studerende at tilegne sig en mængde grundviden om teknologien bag ground penetrating radar herunder hvilke forhold, der kan påvirke dataindsamlingen. Desuden betragtes en tidligere gennemført test af teknikken fra Danmarks Tekniske Universitet for at samle inspiration til undersøgelsens opbygning. Herefter er det muligt at påbegynde planlægningsfasen, der indledes med at udvælge udstyr samt egnede testområder. Da det er muligt at låne en Detector Duo af landmålingsgruppen i COWI Qatar, anvendes denne til dataindsamlingen. Som testfelter vælges to områder i Doha, Qatar. I det ene område udarbejdes kontrolmaterialet af den studerende, hvorimod der i det andet område anvendes as-built tegninger udleveret af bygherren til kontrol af kortlægningen. I de to testområder gennemføres undersøgelser af udstyrets nøjagtighed, præcision, dimensionsbestemmelse og brugervenlighed.

Resultatet af undersøgelserne er for flere forhold overraskende for den studerende. Der opnås et væsentligt dårligere resultat for udstyrets nøjagtighed end forventet, når der beregnes spredninger på baggrund af afvigelser i forhold til kontrolmaterialet. Beregnes bedste rette linie er der derimod god overensstemmelse mellem de to datasæt. På baggrund af dette samt andre betragtninger af datamaterialet vurderes det, at det skuffende resultat skyldes tilfældige fejl i GPR dataindsamlingen. Undersøgelsen af dimensionsbestemmelse giver et tilfredsstillende resultat, dog undres den studerende over den store forskel mellem udslagets fortegning i data fra de to områder. Undersøgelsen af udstyrets præcision overrasker positivt især i betragtning af det ringere resultat for nøjagtigheden. Afvigelsen i forhold til kontrolmaterialet er dog stadig betydelig i forhold til antallet af

gentagne målinger i denne undersøgelse. På baggrund af den erfaring med udstyret der er opnået gennem dataindsamlingen, giver den studerende en vurdering af brugervenligheden. Denne vurdering fokuserer på uhensigtsmæssigheder i forbindelse med den praktiske håndtering af udstyret, og der gives forslag til forbedringer.

Efter beregning og vurdering af undersøgelsens resultater er der stadig en række ubesvarede spørgsmål. Den studerende har søgt svar på disse ved producenten uden held. Det foreslås derfor, at der gennemføres yderligere undersøgelser af de nævnte forhold. Alternativt anbefales det at få udstyret kontrolleret for soft- og hardwarefejl ved producenten.

21 Perspektivering

Arbejdet med dette emne har taget afsæt i et projektforslag fra landmålingsgruppen i COWI Aalborg. Efter forespørgsler fra klienterne har man erfaret, at der er et reelt behov for en effektiv og pålidelig metode til kortlægning af ledningsnet. Den studerende vurderer, at dette behov er tæt knyttet til det forhold, at man i høj grad er afhængig af de forsyninger, man modtager gennem disse ledningsnet. Som eksempel kan nævnes store industrivirksomheder, der tvinges til at stoppe produktionen midlertidigt, såfremt de afskæres forsyning af eksempelvis strøm eller vand. På samme måde er vidensvirksomheder dybt afhængige af deres forbindelse til omverdenen, idet programlicenser i dag oftest håndteres i netværksløsninger, der kræver internetforbindelse til en central server. Er det ikke muligt at etablere denne forbindelse, hindres de ansatte i at udføre deres arbejde. Desuden ser man i høj grad, at der arbejdes i større grupper på tværs af geografiske placeringer. En konstellation der kræver, at den enkelte har forbindelse til de fælles datasamlinger, servere mv. Det er grundet disse afhængigheder meget vigtigt at beskydelse af ledningsnettene og dermed følgeskader og produktionstab undgås. En måde at forhindre dette på, er at fremstille bedre kortmateriale over områder, hvor der er risiko for sådanne skader.

I Danmark er vi af den opfattelse, at der generelt er godt styr på, hvilke ledninger der gemmer sig i undergrunden. Dog er det ikke sjældent, at rør såvel som kabler beskadiges, og forårsager betragtelige gener. Det vurderes derfor, at der stadig er mange ledningsnet, der ikke er kortlagt overhovedet eller med en tilfredsstillende kvalitet. I mange andre lande i både Europa og resten af verden ser forholdene omkring registrering af ledningsnet meget mere kaotisk ud. Enten har man endnu ikke prioriteret denne problemstilling højt nok, eller også har man opgivet at bringe orden i registreringen af eksisterende ledningsnet og koncentrerer sig udelukkende om de fremtidige etableringer. Den studerende vurderer derfor, at en effektiv og pålidelig kortlægningsmetode af de eksisterende ledningsnet kan finde anvendelse mange steder.

Ground penetrating radar vurderes umiddelbart som et glimrende forslag til at gennemføre kortlægning af underjordiske ledningsnet. Dog er der plads til væsentlige forbedringer i forhold til de resultater, den studerende opnåede i sin empiriske undersøgelse. Yderligere kunne det være fordelagtigt, hvis output-mulighederne forbedres, så det blev muligt at anvende dokumentationen i andre programmer.

22 Litteraturliste

I dette afsnit kan oplysninger om de gennem projektet anvendte kilder findes. Ved brug af disse oplysninger vil det være muligt at genfinde den pågældende kilde og kontrollere de anvendte informationer.

22.1 Artikler

Disse kilder angives således

[Henvisning i rapporten]

Forfatter(e); *Titel*; Udgiver; Årstal

[Goodman]

Goodman N., Leuschen C., Plumb R., Allen C.; *Subsurface Imaging using Ground-Penetrating Radar Measurements*; University of Kansas, Radar Systems and Remote Sensing Laboratory; Ukendt udgivelsesår

[Hansen, 2005]

Hansen F. O.; *Systematisk programudvikling med UML*; Ingeniørhøjskolen i Århus; 2005

[Karlsen]

Karlsen B., Sørensen H., Larsen J. & Jakobsen K.; *Statistisk Signalbehandling i Humanitære Mine-rydningssystemer*, Danmarks Tekniske Universitet; Ukendt udgivelsesår

[Lenler-Eriksen]

Lenler-Eriksen H.-R., Meincke P., Sarri A., Chatelée V., Nair B., Craddock I. J., Alli G., Dauvignac J.-Y., Huang Y., Lymperopoulos D., Nilavalan R.; *Joint ACE Ground Penetrating Radar Antenna Test Facility at The Technical University of Denmark*, Ørsted•DTU; Ukendt udgivelsesår

[Mauring, 1995]

Mauring E., Koziel J., Lauritsen T., Rønning J., Tønnesen J.; *Målinger med georadar. Teori, anvendelse, teknikker og eksempler på opptak*; Norges Geologiske Undersøkelse; 1995

[Olsen, 2002]

Olsen, H.; *Slæbesiesmik – en rystende oplevelse*; Geologisk Nyt; 2002

[Simi]

Simi A.; *The Detector Duo*; Ukendt udgivelsesår

[Vahlstrup, 2004]

Vahlstrup P., Mønsted S., Sørensen F.; *Et værktøj til historiestuderende – refleksioner*, Aarhus Universitet; 2004

[van der Kruk, 2001]

van der Kruk J.; *Three-dimensional imaging og multi-component ground penetrating radar data*; Technische Universiteit Delft; 2001

22.2 Bøger

Disse kilder angives således

[Henvisning i rapporten]

Forfatter(e); *Titel*; Udgiver; Årstal

[Aunsborg, 1997]

Aunsborg, C.; *Projektarbejdets teori og metode – Kompendium til landinspektøruddannelsen, 7. semester*, Aalborg Universitet, 1997

[Biering-Sørensen, 1988]

Biering-Sørensen S., Hansen F. O., Klim S., Madsen P. T.; *Håndbog i struktureret programudvikling*; Teknisk Forlag; 1988

[Borre, 1993]

Borre K., *Landmåling*, Aalborg, 1993

[Daniels, 2004]

Redigeret af David J. Daniels; *Ground Penetrating Radar - 2nd edition*; The Institute of Electrical Engineers, London, United Kingdom; 2004

[Eriksen, 2004]

Eriksen P. S., Lauritzen S. L.; *Teknisk Måling – Statistik*; Institut for Matematiske Fag, Aalborg Universitet; 2004

[Jensen, 2003]

Jensen K., *Landmåling i teori og praksis*, Institut for samfundsudvikling og planlægning, Aalborg Universitet, 2003

22.3 Vejledninger og informationsmateriale

Disse kilder angives således

[Henvisning i rapporten]

Udgiver; *Titel*; Ophav; Sidst kontrolleret dato

[cscope]

C.Scope International Ltd; *Instruction Manual - C.Scope Cable Avoidance Tools*; http://www.cslocators.com/assets/pdf/cscope_manual.pdf; 6. juni 2009

[Infotec]

Infotec; *PipeTracks Ongoing Innovation*; Datasheet fra www.pipetrack.co.uk; 6. juni 2009

[IDS]

IDS Ingegneria Dei Sistemi; Detector Duo; *Detector Duo – 2 see better than 1, 2 locate faster than 1*; http://www.idscopy.com/it/upload4/File/schedaDuo_def2.pdf; 6. juni 2009

[leica]

Leica Geosystems AG; *Leica GPS1200+ Series – High performance GNSS system*; http://www.leica-geosystems.com/corporate/en/support/lgs_4521.htm; 6. juni 2009

[LER brochure]

Erhvervs- og Byggestyrelsen; *Ledningsejerregistret, LER*; Brochure om LER fra www.ler.dk; 6. juni 2009

[MALÅ]

MALÅ GeoScience AB; *Mapping Utilities*; www.malags.com; 6. juni 2009

[Radiodetection]

Radiodetection Ltd; *Cable and cable fault locating – Part 1*; http://www.radiodetection.com/doclib/SPX_1_Cable_and_cable_fault_locating_part_1_en.pdf; 6. juni 2009

[Schonstedt]

Schonstedt Instrument Company; *A quick course on magnetic, cable and pipe locating*; <http://www.mytoolstore.com/schon/locating.pdf>; 6. juni 2009

[Stratascan]

Stratascan Ltd; *Underground Utility Mapping*,

<http://www.stratascan.co.uk/pdf/eng-utilmap4.pdf>; 6. juni 2009

22.4 Internetsider

Disse kilder angives således

[Henvisning i rapporten]

Komplet URL; *Titel*; Sidst kontrolleret dato

[www.denstoredanske.dk1]

http://www.denstoredanske.dk/I_teknik_og_naturvidenskab/Fysik/Elektromagnetisme_elektron-_og_ionoptik/dielektricitetskonstant; *Dielektricitetskonstant – Den Store Danske*; 6. juni 2009

[www.denstoredanske.dk2]

http://www.denstoredanske.dk/I_teknik_og_naturvidenskab/Fysik/Elektromagnetisme_elektron-_og_ionoptik/permittivitet; *Permittivitet – Den Store Danske*; 6. juni 2009

[www.diwww.epfl.ch]

<http://diwww.epfl.ch/lami/detec/gprhard.html>; *GPR – Ground Penetrating Radar*; 6. juni 2009

[www.geopoint.dk]

<http://www.geopoint.dk/vand.php>; *Landmåling for vandværker*; 6. juni 2009

[www.ler.dk]

<http://www.ler.dk/forside/>; *Ler.dk: Forside*; 6. juni 2009

[www.map.primorye.ru]

http://map.primorye.ru/raster/maps/atlas_middle_east/qatar_map.asp?l=eng; *Interactive Maps, cities, regions and countries*; 6. juni 2009

[www.maps.yahoo.com]

<http://maps.yahoo.com/#mvt=m&lat=25.300269&lon=51.487426&zoom=13>; *Yahoo! Maps, Driving Directions, and Traffic*; 6. juni 2009

[www.pipetrack.co.uk]

<http://www.pipetrack.co.uk/>; *PipeTrack Limited*; 6. juni 2009

[www.pmprestij.com]

<http://www.pmprestij.com/Makaleler/GPR.pdf>; *Ground Penetrating Radar*, 6. juni 2009

[www.wgeosoft.ch]

<http://www.wgeosoft.ch/Acquisition/Vibroseismic/Vibroseismic.html>; *Page d'accueil*, 6. juni 2009

23 Bilag

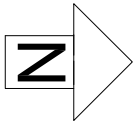
Alle bilag kan findes på den vedlagte DVD. DVD'en er delt op i 9 bilag. I hver bilagsmappe på DVD'en er en readme.txt, der forklarer, hvilke filer mappen indeholder. Desuden er bilag C vedlagt rapporten i papirudgave.

Bilag A	-	Mailkorrespondancer
Bilag B	-	Tabeller
Bilag C	-	Tegninger
Bilag D	-	GPS filer
Bilag E	-	Kontrolmateriale fra testområde 2 - Lusail
Bilag F	-	Radar data
Bilag G	-	Transformation
Bilag H	-	Excel
Bilag I	-	MatLab

23.1 Bilag C

Vedlagt i papirudgave findes bilag C:

- Tegning 001, Musaimeer Street oversigtstegning
- Tegning 002, Musaimeer Street detailtegning
- Tegning 003, Musaimeer Street Bedste rette linie
- Tegning 004, Lusail oversigtstegning
- Tegning 005, Lusail detailtegning



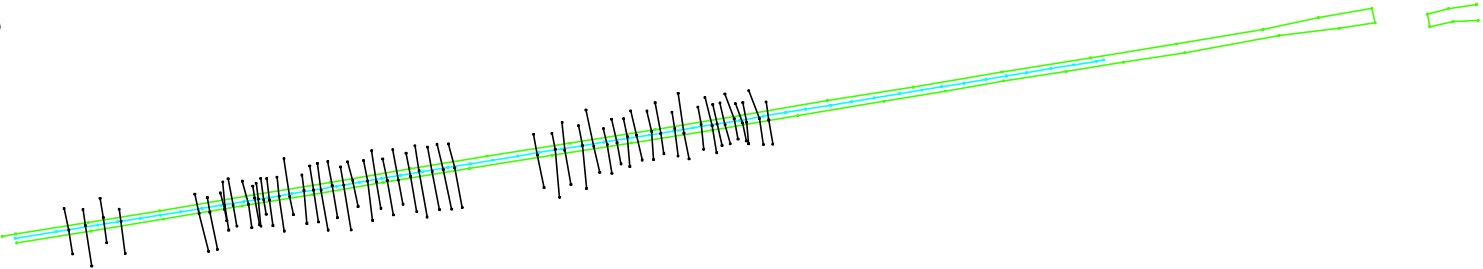
°
649

°
648

°
650

°
651

°
652



Område:

Testområde 1 - Musaimmer Street

Signaturforklaring

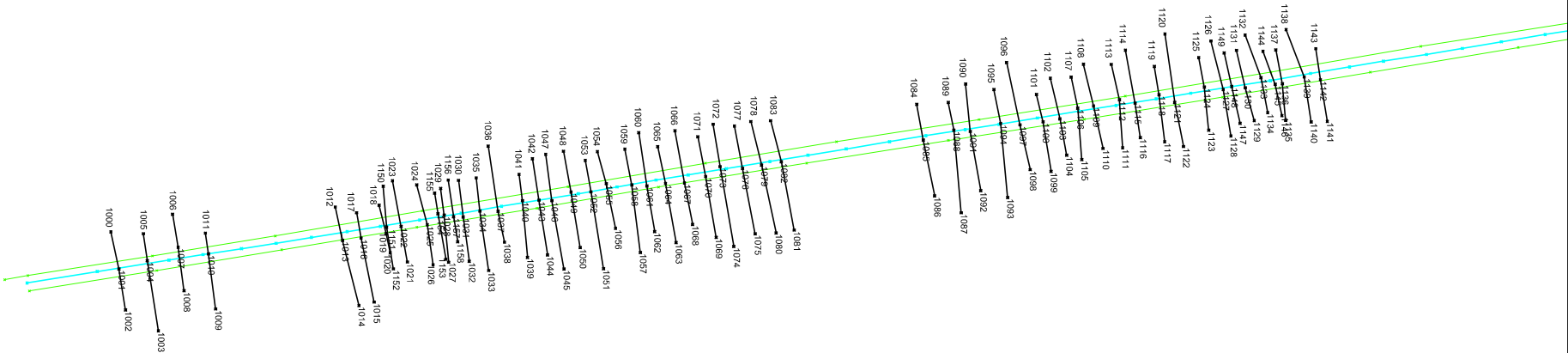
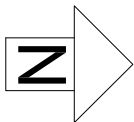
- ⊙ Fikspunkter
- * Udgravning Top
- * GPR Målelinier
- * Rørledning

Projekt:

Positionering af underjordiske objekter

Dato for opmåling: 08.05.2009
Opmålingsmetode: GPS og GPR
E, N og H-koordinater: Lokalt system
Målt af: Kathrine Pinholt

Tegningsnummer:		Revision:
Tegning 001		01
Tegningskala:	1:1000	Papirstørrelse: A3



652 ©

© 651

Område:

Testområde 1 - Musaimer Street

Signaturforklaring

- ⊙ Fikspunkter
- *— Udgravning Top
- *— GPR Målelinier
- *— Rørledning

Projekt:

Positionering af underjordiske objekter

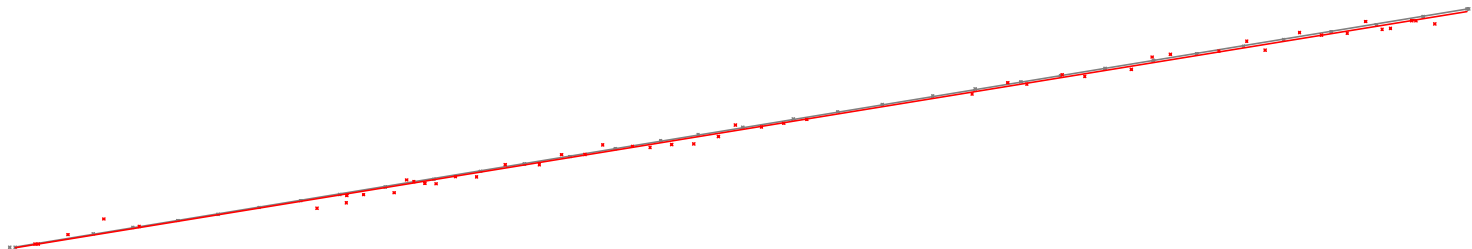
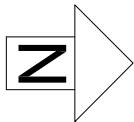
Tegningsnummer:		Revision:
Tegning 002		01
Tegningsskala:	1:300	Papirstørrelse: A3

Målt af : Kathrine Pinholt

E. N og H-koordinater: Lokalt system

Opmålingsmetode: GPS og GPR

Dato for opmåling: 08.05.2009



Område:

Testområde 1 - Musaimær Street

Signaturforklaring

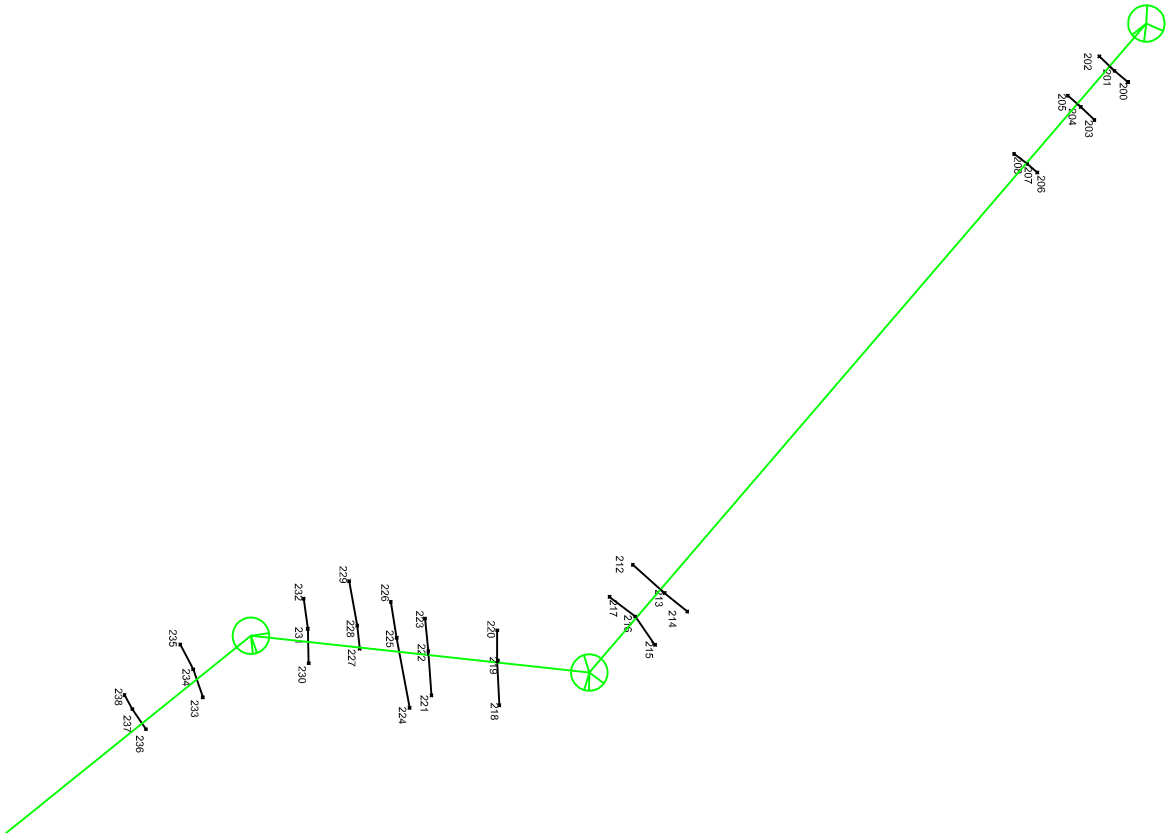
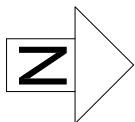
GPS Linie
GPR Linie

Projekt:

Positionering af underjordiske objekter

Dato for optåling: 08.05.2009
Optålingsmetode: GPS og GPR
E, N og H-koordinater: Lokalt system
Målt af : Kathrine Pinholt

Tegningsnummer:		Revision:
Tegning 003		01
Tegningskala:	1:500	Papirstørrelse: A3



Område:

Testområde 2 - Lusail

Signaturforklaring

-  Eksisterende brønd
-  Eksisterende ledning
-  214 GPR Målelinier

Projekt:

Positionering af underjordiske objekter

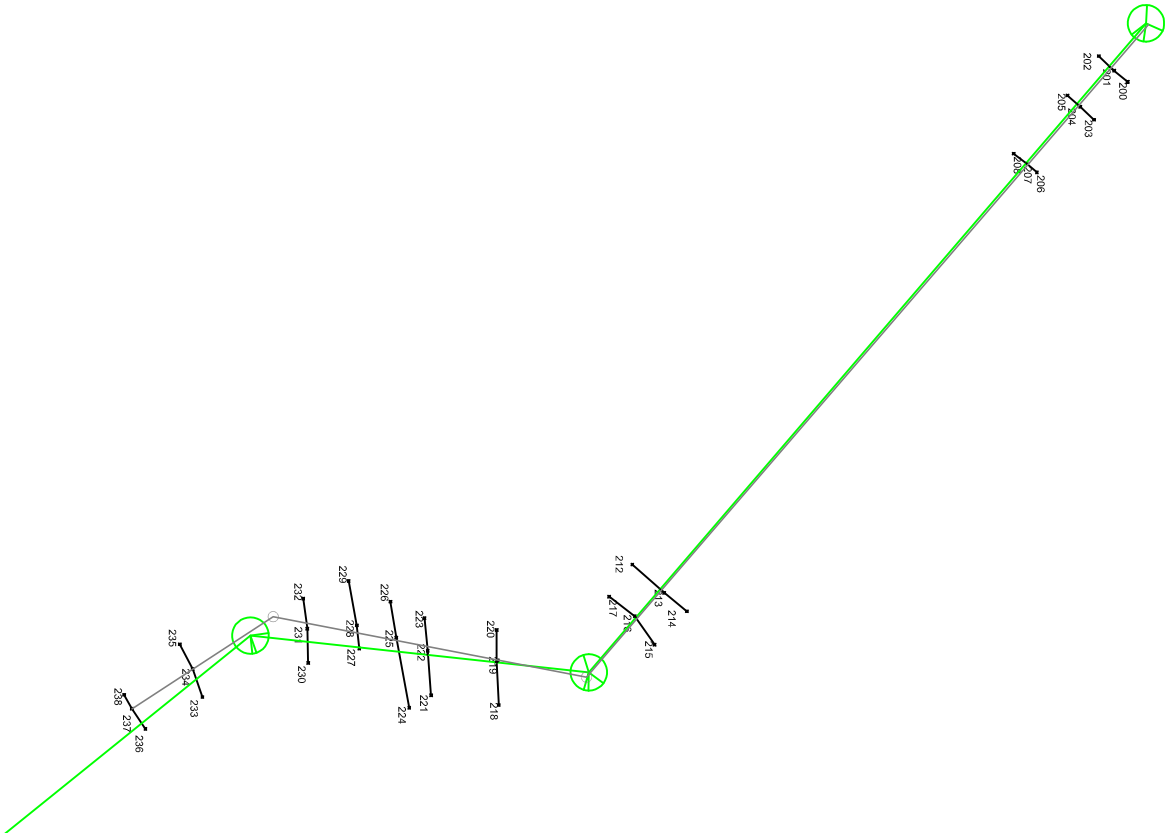
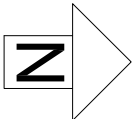
Dato for opmåling: 08.05.2009

Opmålingsmetode: GPS og GPR

E, N og H-koordinater: Lokalt system

Målt af: Kathrine Pinnolt

Tegningsnummer:		Revision:
Tegning 004		01
Tegningskala:	1:500	Papirstørrelse: A3



Område:

Testområde 2 - Lusail

Signaturforklaring

-  Eksisterende brønd
-  Eksisterende ledning
-  GPR Målelinier
-  GPR bedste rettelinie

Projekt:

Positionering af underjordiske objekter

Dato for optagning: 08.05.2009

Optagingsmetode: GPS og GPR

E, N og H-koordinater: Lokalt system

Målt af : Kathrine Pinholt

Tegningsnummer:		Revision:
Tegning 005		01
Tegningskala: 1:500	Papirstørrelse: A3	