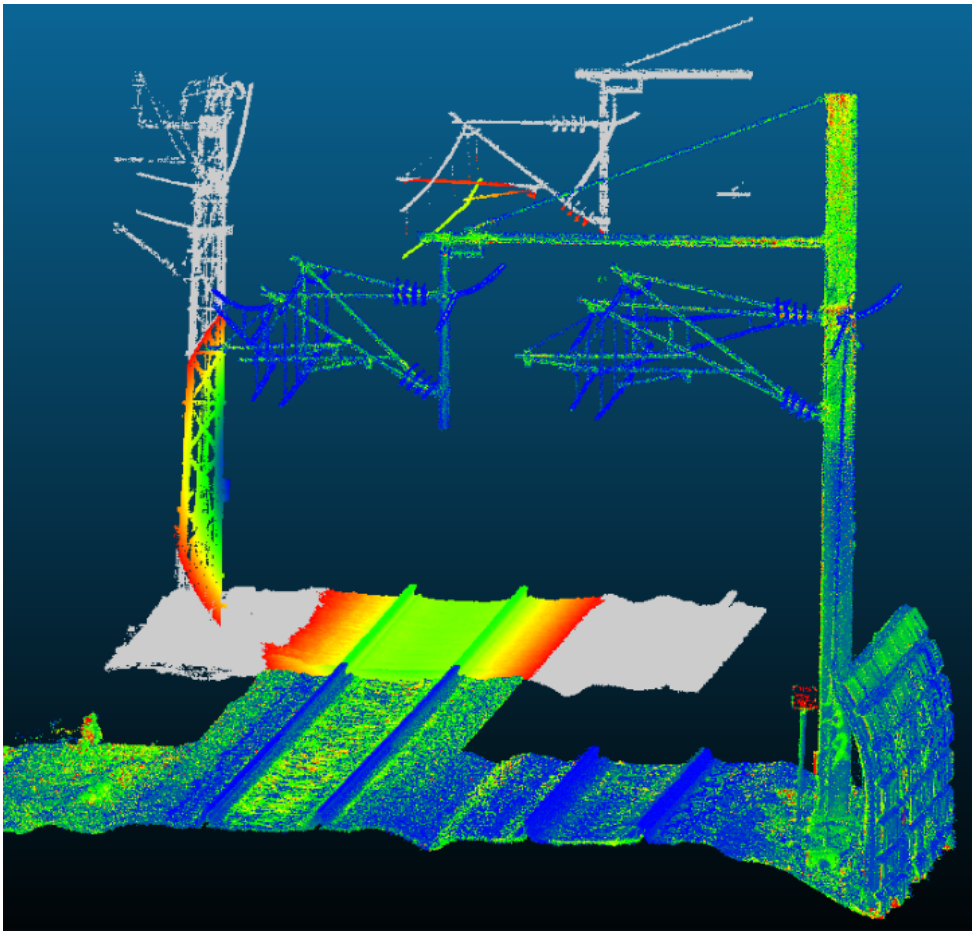
AALBORG UNIVERSITET

KANDIDATSPECIALE

Udpegning af genstande langs jernbane i en punktsky



JEAN NICOLAI NIELSEN
KIRSTEN DETLEFSEN

6. JUNI 2019

AALBORG UNIVERSITET

Titel:

Udpegning af genstande langs jernbane i en punktsky

Studie:

Landinspektør, cand.geom. med specialisering i opmåling og kortlægning

Semester:

4. semester

Tema:

Kandidatspeciale

Projektperiode:

1. februar 2019 - 7. juni 2019

Gruppemedlemmer:

Kirsten Detlefsen
Jean Nicolai Nielsen

Vejleder:

Karsten Jensen

Sideantal (med bilag): 77 (112)
Antal bilag: 6

Afleveringsdato: 6. juni 2019

Det tekniske fakultet for IT og design
Institut for planlægning
Rendsburggade 14
9000 Aalborg

Sekretær: Lene Sømod Flou
Tel.: 9940 9880
Email: lenesf@plan.aau.dk

Synopsis:
Nærværende kandidatspeciale undersøger muligheden for at anvende laserskanning langs jernbanesporet, til udpegning af genstande beliggende inden for en bestemt afstand heraf ved hjælp af en UT-profil. I foranalysen ses der først på kravene som stilles fra Banedanmark, i forbindelse med opmåling af deres infrastruktur, samt hvordan denne måling udføres på nuværende tidspunkt med totalstation. Der er stillet data til rådighed i form af en punktsky, fra en laserskanning foretaget på strækningen mellem Høje-Taastrup og København H. Her udtrækkes en mindre sektion af punktskyen mellem Danshøj station og Valby station, hvor i forvejen målte genstande med totalstation vil blive identificeret, for derved senere at blive anvendt som kontrolpunkter. I hovedanalyesn vil UT-profilen forsøges at blive implementeret på dele af den førnævnte strækning. Her sker der først en forberedelse af data, hvor parametrene for dataene fastsættes. Dernæst identificeres skinnerne i punktskyen, efterfulgt af en udregning for målene på UT-profilen som anvendes. Afslutningsvis implementeres UT-profilen i punktskyen med henblik på at detektere genstande beliggende inden for denne.

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

Summary

This Master Thesis seeks to uncover the possibilities regarding the use of a laser scanner on the railway, to see if it is possible to detect objects in the point cloud that is produced. The distance from the railways, within objects need to be detected, is based on an UT-profile, which is an enhanced profile of the train where everything inside this UT-profile must be registered. An UT-profile is used to see if unusually wide or large cargo can be transported on a specific route on the railway or if it is necessary to reroute the train. To identify what is required when objects near the railway are being measured and registered the pre-analysis examines the rules and requirements demanded by Banedanmark who is in charge of the railway section on which the laser scanning takes place. First the rules regarding measurement of objects are explained alongside with how accurate benchmarks in connection to the railway are expected to be. Then the determination of the UT-profile measurements will be established and how it should be applied on the rails. To get an understanding of how the measurement is performed now a day with a total station, data with objects measured this way is received from a Danish surveyor company called LIFA. These already known objects will later on be used as checkpoints to test if they are also detected in the point cloud when applying the UT-profile. The point cloud data is supplied by Ramboll who was in charge of the laser scanning. Since the original data covers a large section of railways it was necessary to narrow it down which also happens in the pre analysis. After this all the objects measured with the total station on the chosen section will be located. The acquired knowledge from above mentioned examinations will result in requirements that need to be fulfilled when applying the UT-profile on the rails in the point cloud. Based on the pre analysis this gives the following problem statement:

How can objects in a point cloud be detected within an UT-profile?

In the main analysis the point cloud data received will be prepared for use where different parameters for this data will be chosen. After this the rails in the point cloud will be defined with use from different types of scripts from the site PCL (PointCloudLibrary), which will be adjusted to suit the goals of this specific project. When the rails are well defined the UT-profile can be applied on those. In this case it was not possible to create an exact replica of the UT-profile from Banedanmark, so to detect objects in the point cloud a circle is used instead however with a diameter that fits around the UT-profile. Last the UT-profile/circle will be applied where objects within this area will be highlighted with different colors and objects outside of the UT-profile will remain as grey.

Forord

Dette kandidatspeciale er udarbejdet af Jean Nicolai Nielsen og Kirsten Detlefsen i forbindelse med landinspektørstudiets 4. semester på kandidatretningen opmåling og kortlægning på Aalborg Universitet.

Emnet til dette projekt udspringer af at Banedanmark vil overgå fra opmåling af genstande langs jernbane med totalstation til opmåling af genstande langs jernbane med laserskanning, hvilket giver en del efterarbejde. Ideen til dette projekt er blevet præsenteret til os af landinspektørfirmaet LIFA i løbet af et praktikforløb i efteråret og for dette vil vi gerne sige tak.

Der vil gerne rettes tak til Gunnar Nielsen fra LIFA for at stille op til interview og for at formidle data til os fra Banedanmark. Derudover rettes der tak til Martin Laursen fra Rambøll for at besvare opklarende spørgsmål om hvordan laserskanningen er foregået og for bidragelse af supplerende data til projektet.

Der rettes stor tak til vejleder ved universitetet Karsten Jensen for at bistå med god vejledning igennem projektet.

Læsevejledning

Projektet er opbygget i to dele, hvor den første del er bygget op om besvarelsen af den initierende problemformulering og leder frem til en problemformulering (som kan ses i kapitel 4). Resten af projektet er bygget op om besvarelsen af denne problemformulering. Det anbefales i den sammenhæng at læse projektet kronologisk, da projektet er opbygget til dette.

Kapitlerne i dette projekt er kronologisk nummereret og figurer, tabeller, afsnit osv. i kapitlerne er nummeret med delnumre, som angives først med kapitelnummer og derefter deres delnummer. Dette vil f.eks. betyde at figur 9.4 er fjerde figur i kapitel 9.

Kilder anvendes løbende igennem projektet og er angivet med [efternavn, årstal, evt. sidetal]. Bagest i projektet findes en litteraturliste, hvor kilderne er listet alfabetisk efter efternavnet. Hvis en kilde ikke har et kendt årstal er den angivet med u.d. for uden datoangivelse. I projektet bliver kilder anvendt på forskellige måder, nemlig før og efter punktum. Står kilden før et punktum knytter kilden sig til sætningen alene. Står kilden derimod angivet efter punktum knytter den sig til indholdet siden sidste linjebrud. Derudover kan kilder i løbet af projektet blive anvendt som base for større tekststykker og i disse situationer vil det blive beskrevet i startet af afsnittet.

I denne rapport er der undervejs blanke sider. Disse skal ignoreres i den elektroniske version, men gør at hvis den printes dobbeltsidet, vil alle kapitler starte på højre side.

Der er i forbindelse med denne rapport også et digitalt bilag som er afleveret som en zip-fil. Indholdet i det digitale bilag kan ses i bilag A.

Indhold

1 Indledning **1**
1.1 Initierende Problemformulering 1

2 Metode til foranalysen **3**

3 Foranalyse **7**
3.1 Banenorm BN1-18-1: Opmåling af genstande 8
3.2 Fritrumsprofiler 9
3.3 Måling af Banedanmarks infrastruktur med totalstation 11
3.4 Måling af Banedanmarks infrastruktur med laserskanner 15
3.5 Stedfæstelse af genstande i punktskyen 19
3.6 Krav og udfordringer 27

4 Problemformulering **29**

5 Metode **31**

6 Klargøring af data **33**
6.1 Klargøring af punktsky 33
6.2 Klargøring af centerlinje fra GeoDanmark 35

7 Definere skinner **37**
7.1 Anvendelse af jernbanens centerlinje til at begrænse punktskyen . 37
7.2 Finde skinnerne i punktskyen 38
7.3 Udfordringer 41

8 Implementering af UT-profil **47**
8.1 Cirklens størrelse 48
8.2 Beregning af cirklens centrum 50
8.3 Implementering af cirkel 50

9 Udpegning af genstande **51**
9.1 Genstande inden for UT-profilen 51
9.2 Sammenligning af genstande 62
9.3 Genkendelse af genstande 64

10 Konklusion **73**

11 Perspektivering **75**

Litteratur **77**

Bilag

A Digital bilag **81**

B Interview med LIFA **83**
C Scripts **85**
D Kvalitetskontrol **99**
E Beregning af cirkelstørrelse **101**
F Billeder fra skanningen **103**

KAPITEL 1

Indledning

Det er vigtigt at have gode transportmuligheder, både til transport af gods og personer for at samfundet både kan fungere og udvikle sig. En meget anvendt transportmiddel er toget. I Danmark er der 2508 km jernbane[1], som jævnligt skal vedligeholdes. For at vedligeholde jernbanen er det vigtigt at opmåle den for at vide hvor der er behov for vedligehold. Denne vedligehold er både i forhold til sporenes kvalitet, herunder deres indbyrdes hældning og i forhold til genstande i nærheden af sporet. Jævnlig opmåling af jernbanen i Danmark er dyrt og derfor er der et ønske om at effektivisere.

I dag foregår opmålingen af jernbanerne i Danmark med totalstation, hvilket er metoden der har været anvendt i mange år. Laserskanning tilbyder et alternativ til dette, da det er hurtigere og måler alle genstande i nærheden af jernbanen.

At udarbejde en 3D model af området omkring jernbanen kan anvendes til flere forskellige opgaver omkring jernbanen. Det kan blandt andet både anvendes i beregningen af højdeforskellen mellem de to spor og afstanden til genstande ved siden af sporet.

Udfordringen med laserskanning af jernbanen er hvis beregningerne i punktskyen skal foregå manuelt. Det er et meget tidsslugende og ensartet arbejde at udpege genstande og opgaven er ikke mere effektivt udført, hvis tiden bliver taget fra markarbejdet og lagt på kontoret i stedet for.

Ideen til dette projekt er blevet præcenteret til os af landinspektørfirmaet LIFA i løbet af et praktikforløb i efteråret. Målet er at finde frem til en metode til automatisk at kortlægge genstande i nærheden af jernbanen.

1.1 Initierende Problemformulering

For at få belyst hvilke udfordringer der er, undersøges følgende indledende problemformulering:

Hvilke krav stilles der til opmåling af Banedanmarks infrastruktur?

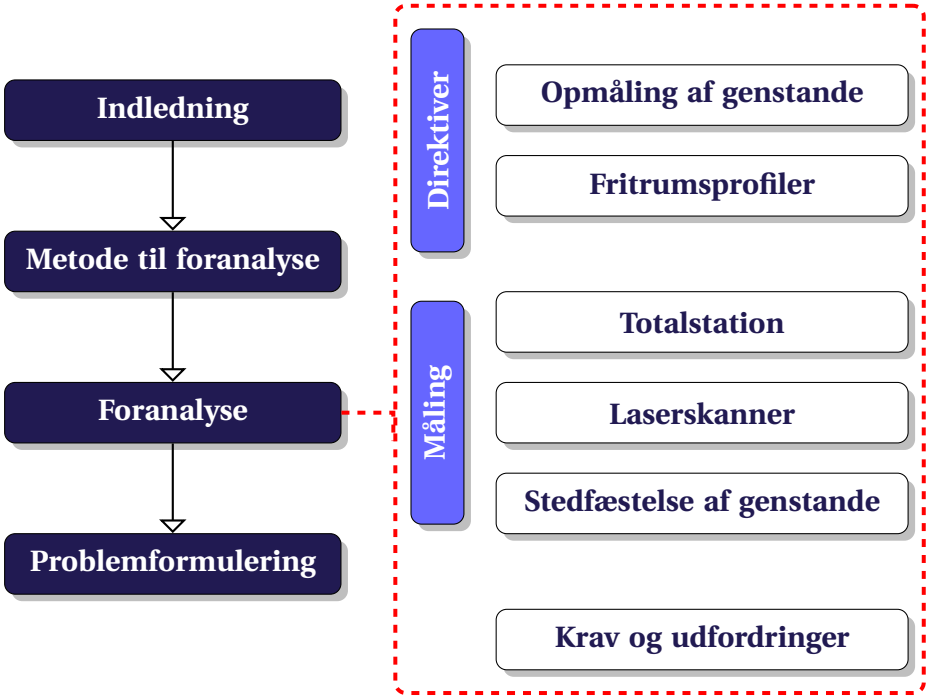
Ud fra den indledende problemformulering vil der blive undersøgt, hvilke genstande der skal kortlægges, når der sker en opmåling af infrastrukturen. Derefter undersøges det hvordan målingen med totalstation er foretaget, og til sidst undersøges det hvordan laserskanningen er udført og resultatet heraf.

[1] Kilde: Danmarks Statistik - www.statistikbanken.dk/BANE41

KAPITEL 2

Metode til foranalysen

I dette kapitel vil metoden til besvarelse af den indledende problemformulering blive præsenteret. Kapitlet er opbygget med samme struktur som foranalysen og denne struktur kan ses i figur 2.1.



Figur 2.1: *Struktur i foranalysen og frem til problemformuleringen*

Foranalysen kan læses i kapitel 3 og indeholder de 6 elementer som ses til højre i figur 2.1. I figur 2.1 er de 6 elementer delt op i to kategorier, direktiver og måling, og et element udenfor kategori. De 2 elementer under direktiver er baseret på dokumenter fra Banedanmark og de 3 elementer under måling er henholdsvis måling som det fungerer i dag med totalstation, hvordan det kan foregå med laserskanning og hvordan genstande bliver stedfæstet. Efter den indledende problemformulering er besvaret i foranalysen er det muligt at opstille en problemformulering for resten af projektet som kan ses i kapitel 4.

I de efterfølgende afsnit kan metoden til foranalysen læses og den er opdelt i afsnit, så afsnittene svarer til strukturen i foranalysen i kapitel 3.

Banenorm BN1-18-1: Opmåling af genstande (afsnit 3.1)

I afsnit 3.1 undersøges det hvilke krav der skal opfyldes, når der foretages måling af Banedanmarks infrastruktur mm. Dette er nødvendigt at vide, da projektet omhandler måling/registrering af genstande langs jernbanen, og derved skal leve op til de krav, som står beskrevet i banenormen BN1-18-1. Det søges belyst hvad kravene angående måling og registrering af genstande er, og hvordan disse data skal afleveres.

Fritrumsprofiler (afsnit 3.2)

Da der skal holdes fri for genstande inden for en bestemt afstand af togets profil, hvor afstanden i denne situation defineres ud fra en begrænsningslinje i form af en UT-profil (Usædvanlig Transport), fastslås målene for denne i afsnit 3.2. Hertil beskrives også hvordan UT-profilen skal placeres og anvendes på skinnerne, samt hvordan afstanden mellem UT-profilen og genstanden beregnes. Denne viden er nødvendig for at kunne anvende UT-profilen korrekt, når der skal findes genstande i punktskyen.

Måling af Banedanmarks infrastruktur med totalstation (afsnit 3.3)

I afsnittet omhandlende måling af Banedanmarks infrastruktur med totalstation, ses der på hvordan målingen udføres i dag samt hvordan dataene behandles. Hertil er der anskaffet måledata vedrørende strækningen mellem København og Høje-taastrup. Dette gøres for at finde ud af hvilke genstande som er blevet observeret, og hvordan de er blevet registreret, samt om disse data videre hen kan bruges som kontrolpunkter, da de allerede er kendte.

Måling af Banedanmarks infrastruktur med laserskanner (afsnit 3.4)

I afsnit 3.4 undersøges det hvordan punktskyen fremkommet ved en laserskanning ser ud og hvem der har stået for denne skanning. Herudover fastslås det hvor i Danmark laserskanningen af jernbanen har fundet sted, og hvilken del af strækningen som den anskaffede punktsky strækker sig over. Det undersøges endvidere hvilken nøjagtighed punktskyen kan forventes at have.

Stedfæstelse af genstande i punktskyen (afsnit 3.5)

Ved stedfæstelse af genstande, undersøges det hvilke af genstandene der er observeret med totalstation, som ligger indenfor den punktsky der arbejdes med. Dette gøres for at vide præcis hvilke genstande som allerede er målt på strækningen, og dermed også burde være at finde i punktskyen, med det formål at bruge dem som kontrolpunkter, i forbindelse med at kunne registrere genstande automatisk i punktskyen.

Krav og udfordringer (afsnit 3.6)

I krav og udfordringer summeres der op på de foregående afsnit, i forhold til hvilke krav der stilles fra Banedanmarks side i form af Banenormer, hvordan opmålingen af genstande finder sted nu med totalstation, og hvordan skanning af punktskyen udføres. Det er nødvendigt at kende dette, for at en udpegning af genstande i punktskyen kan opfylde kravene.

KAPITEL 3

Foranalyse

Hvert femte år foretages en terrestrisk opmåling med totalstation af Banedanmarks infrastruktur. Udførelsen af denne måling sker til fods, og har til formål at kortlægge jernbanesporet samt elementer og strukturer nær sporet. Dette består blandt andet af diverse skilte og signaler som har tilknytning til jernbanenetværket. Foruden en obligatorisk opmåling hvert femte år, skal der også foretages en opmåling af infrastrukturen ved sporarbejde og inden 8 dage efter endt sporarbejde skal data indsendes. [Banedanmark, 2004] Da jernbanenetværket strækker sig over flere tusinde kilometer spor, og opmålingen udføres til fods med totalstation, betyder det også at det er en langsommelig proces med meget markarbejde. I takt med den teknologiske udvikling af målemetoder, er der opstået et ønske fra Banedanmark om at kunne få data vedrørende deres infrastruktur hvert år, i stedet for kun hvert femte år. Til at imødekomme dette behov skal opmålingen derfor foretages med en laserskanner fremfor en totalstation, som er monteret på et tog, og derved skanne sporets tracé og tilhørende infrastruktur. Til forskel fra totalstationen hvor antallet af observationer og dermed også datamængden er begrænset til kun det, som der vælges at indmåle, er datamængden i den punktsky som laserskanneren frembringer meget større. Dette skyldes at laserskanneren registrerer alt den kan se, hvilket også medfører en masse unødvendigt information som skal bearbejdes på kontoret. For at det kan betale sig at anvende en laserskanner i stedet for en totalstation, skal der være noget at vinde, i forhold til de arbejdstimer som lægges i opgaven. Det hjælper ikke at reducere tiden i marken, hvis den sparede tid i stedet for tillægges bearbejdningen af dataene på kontoret. Fordelene ved anvendelse af en laserskanner skal altså opveje ulemperne i forhold til opmåling med totalstationen. Det undersøges derfor hvordan måling af Banedanmarks infrastruktur udføres og dokumenteres, hvordan opmålingen foregår i dag og hvordan dataene frembagt ved en laserskanning ser ud.

3.1 Banenorm BN1-18-1: Opmåling af genstande

For at sikre at opmålingen af jernbanen og anlægselementer langs denne udføres korrekt, har Banedanmark udarbejdet en banenorm BN1-18-1 [Banedanmark, 2004]. Denne har til formål at sikre, at der i forbindelse med infrastrukturarbejde sker en opmåling af alle genstande, der ligger inden for den tilladte fritrumsprofil, således at der altid foreligger dokumentation af Banedanmarks infrastruktur.

For at fastslå forskellige begrebers betydning som anvendes i banenorm BN1-18-1 og i dette projekt, er disse definitioner listet nedenfor, og er taget fra Banedanmark [2004].

3.1.1 Definitioner

Fritrumsprofiler er en form for begrænsningslinje, der fortæller hvor genstande må befinde sig eller ikke befinde sig, i forhold til fritrumsprofilen.

Genstande der skal opmåles:

- Broer og tunneller
- Signaler og mærker
- Perroner
- Perrontage
- Master, støttemure, rækværk og lign.
- Køreledninger
- Sporafstand

Kontrolmåling skal foretages hvert 5. år, og er en opmåling af alle genstande inden for fritrumsprofilens begrænsningslinjer.

SO-plan står for skinneoverkant-plan, som er den linje der dannes, mellem overkanten af sporets to skinner.

Profilkoordinater angiver beliggenheden af et punkt på en genstand i et retvinklet koordinatsystem, hvor X-aksen ligger i SO-planet, og hvor Y-aksen står vinkelret på X-aksen i spormidten. Profilet ses i stigende km-retning. X er positiv til højre for spormidten, og Y er positiv over SO-planet.

UT står for usædvanlig transport.

UT-begrænsningslinje er linjen som markerer området, hvor genstande skal være målt indenfor.

Kørekanten er defineret som 14 mm under SO-planet på den indvendige side af skinnerne.

Overhøjden er den forskel der er i højdebeliggenhed af sporets 2 skinner og skal angives i mm.

Spormidten defineres som beliggende i SO-planet, og midt mellem skinnernes kørekanter.

3.1.2 Krav til opmåling

Hvert femte år skal der foretages en opmåling af genstande langs jernbanen, som ligger inden for UT-begrænsningslinjen. Ved situationer som infrastrukturarbejde skal der også foretages en opmåling af genstande, før togdriften kan starte igen. Opmålingsdataene skal herefter afleveres til forskellige registre indenfor 8 dage, efter målingen har fundet sted. [Banedanmark, 2004]

3.1.3 Krav til aflevering af data

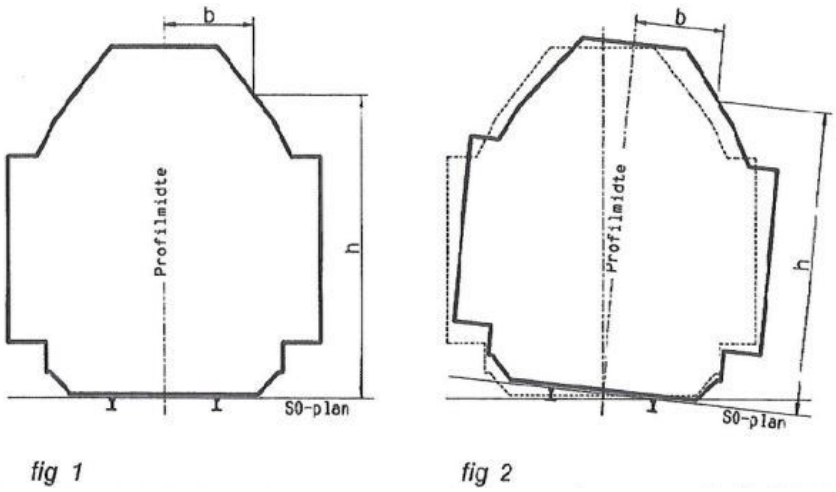
Aflevering af data skal ske til forskellige registre; UTRUM, Kurveregister, Perrondatabase og SPORLEV [Banedanmark, 2004]. Når det er udpegelse af genstande inden for en UT-profil, i forbindelse med kontrolmåling eller infrastrukturarbejde, er det registret UTRUM der skal anvendes.

Aflevering af data til UTRUM

Alt data vedrørende infrastrukturarbejde afleveres til registret UTRUM, som indeholder genstande inden for UT-begrænsningslinjen. Kravene der stilles til det aflevere opmålingsdata, gælder at genstandene som er målt, skal være observeret med tilstrækkeligt nok punkter, så det er muligt at danne et omrids af genstanden. Datafilen som udarbejdes skal være en ASCII-fil og opbygges som beskrevet i Banenorm BN1-18-1 [Banedanmark, 2004, s. 6 - 12].

3.2 Fritrumsprofiler

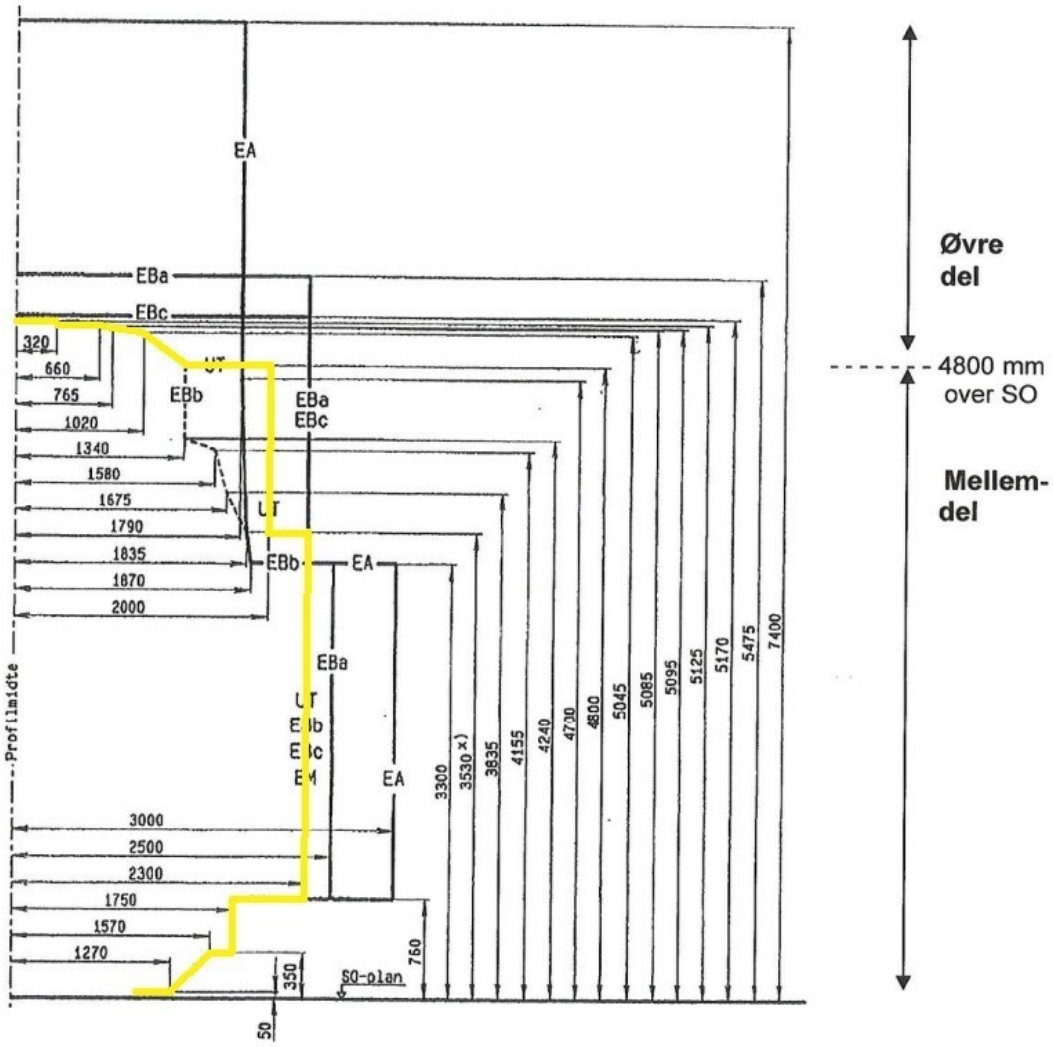
Regler og krav for fritrumsprofiler findes i Banedanmark [2014]. Her oplyses det hvilke typer af fritrumsprofiler der findes, hvor hvilke profiler skal anvendes, og hvordan de skal anvendes. Fritrumsprofilerne gælder for alt infrastruktur som Banedanmark er infrastrukturforvalter af, og er opstillet for at sikre en farefri kørsel for både gods og tog. Fritrumsprofilerne er med til at bestemme og angive, hvor tæt faste genstande langs og omkring jernbanesporet må befinde sig. Når profilen skal anvendes sker det ved at placere profilen vinkelret på SO-planet, hvorved alle højder vil blive målt vinkelret på SO-planet, og bredderne parallelt med SO-planet fra profilmidten. [Banedanmark, 2014]



Figur 3.1: *Fritrmsprofil uden og med overhøjde [Banedanmark, 2014]*

Figur 3.1 viser til venstre et fritrumsprofil placeret på skinnerne uden overhøjde, og til højre ses hvordan fritrumsprofilen placeres med en overhøjde.

Af fritrumsprofiler er der flere forskellige typer, som skal anvendes afhængig af hvor der køres. I dette projekt anvendes UT-profil som gælder for fjernbaner og hovedspor med hastighed $80 < V < 200 km/h$, som ses optegnet med gul på figur 3.2.



Figur 3.2: *UT-profil [Banedanmark, 2014]*

3.3 Måling af Banedanmarks infrastruktur med totalstation

Selve opmålingen af sporets trace og genstande som den udføres i dag, tager udgangspunkt i de forhold og bestemmelser, som er fastsat i banenormen beskrevet i afsnit 3.1 [Banedanmark, 2004].

Heri fastslås hvad der skal måles, hvordan det skal måles og hvordan dataene skal håndteres. Det betyder at der til hver genstand som måles er tilknyttet information, ved hvilket strækningsnummer genstanden er målt samt hvilket afsnit, og om det er et almindeligt spor eller et hovedspor og hvilket spor genstanden er tilknyttet. Ligeledes informeres der omkring hvilket kilometermærke genstanden er målt ved. Genstanden angives med en objektkode, som gør det muligt at skelne mellem om genstanden er et skilt, bro, perron osv. Foruden dette angives også dato for opmålingen. I forbindelse med data fra opmåling med totalstation af Banedanmarks infrastruktur har landinspektørfirmaet LIFA været så behjælpelig, at dele måledata som de har modtaget fra Banedanmark. Disse data dækker strækningen mellem Høje-Taastrup og Københavns Hovedbanegård. Dataene består af to filer, en pdf-fil TIB01 som indeholder 278 observerede genstande, samt en tilhørende txt-fil med information om genstandene. I figur 3.3 ses et udsnit af tekstfilen med data fra opmåling med totalstation.

```
(22493) [55,65258704;12,30405920] BUJ   02/07/2015 003 $$DA PU-signal G3 $$DE signal   pu g3 $$EN signal   pu g3
  2217    243
  2218    918
  2283    954
  2287   2391
  2177   2449
  2179   2571
  2287   2624
  2288   4100
  2084   4204
  2013   4387
  2036   4709
  2113   4886
(22492) [55,65309512;12,30928598] BUJ   02/07/2015 006 $$DA mast $$DE mast   pu g3 $$EN mast   pu g3
  2385     78
  2373    674
  2361    727
  2356   1126
  2362   1208
  2344   2348
  2293   2398
  2341   2475
  2317   3891
  2261   3922
  2314   3975
(55948) [55,65317256;12,31000207] EBG   27/06/2017 006 $$DA mast $$DE mast m  15160 $$EN mast m  15160
  2263    -14
  2258    372
  2367    387
  2326   6245
(22490) [55,65320466;12,31033073] BUJ   02/07/2015 003 $$DA AM-signal 2169 $$DE signal   am 2169 $$EN signal   am 2169
  2246    -62
  2245    547
  2312    592
```

Figur 3.3: *Udsnit af tekstfil med data hvor hele tekstfilen kan ses i bilag A.1.2*

Tekstfilen indeholder en objektkode (22493) for genstanden samt GPS-koordinater angivet i ETRS89. Hertil følger en række lokale koordinater som angiver de punkter der er observeret til på genstanden. Antallet af observationer afhænger af genstandens udformning, og kan i nogle tilfælde være kun to punkter, og i andre over 40 punkter. Det er dog et krav at punkterne på genstanden observeres så tæt, at det er muligt at danne et omrids af genstanden [Banedanmark, 2004, s. 6]. Tekst-filen fortæller også hvilken type genstand der er målt, f.eks. mast, skilt, signal osv. Der observeres kun punkter på den side af genstanden, som vender ind mod sporet, da det er afstanden mellem tog-profilen og genstanden, som er

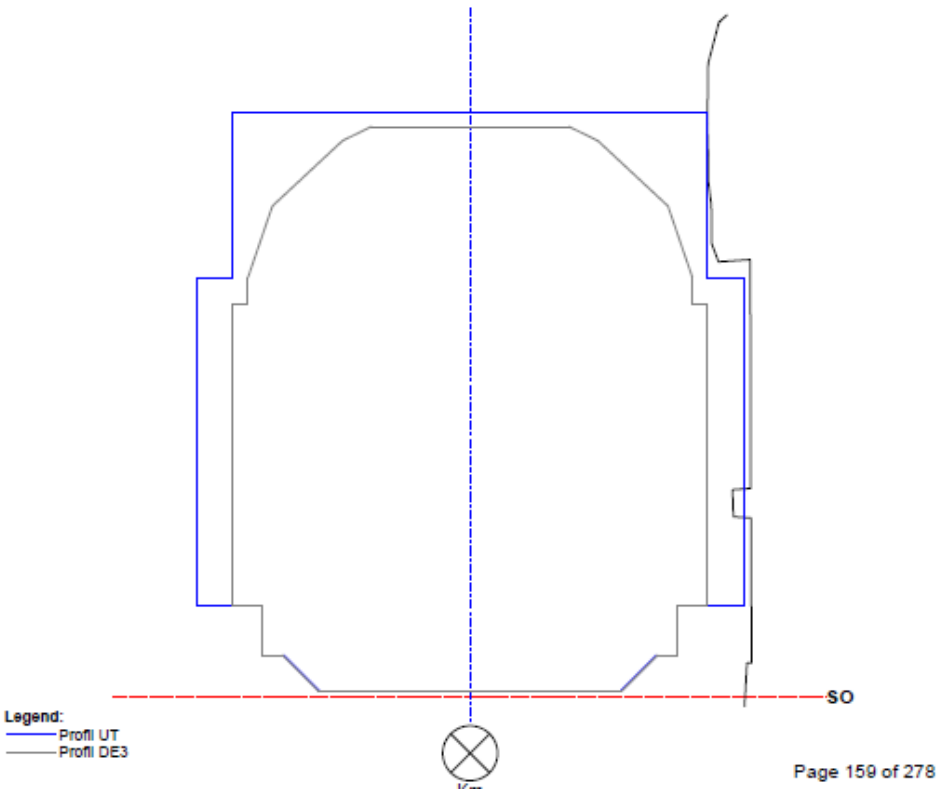
vigtig. Til hver genstand som observeres og registreres er der tilknyttet en visualisering af genstanden, og dens placering i forhold til togets profil, hvilket fremgår i pdf-filen, som ses i figur 3.4.

BANEDANMARK

BANE\jha
Dato: 20-03-2019 13:24

banedanmark

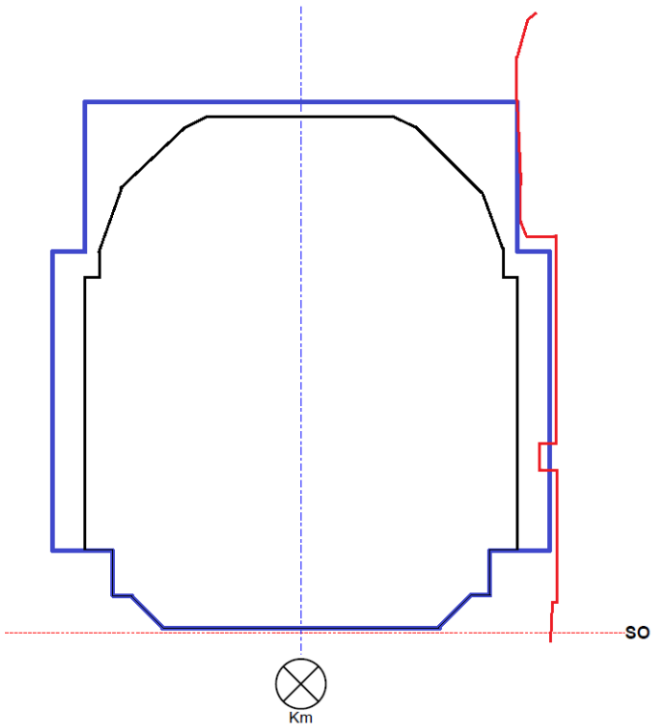
Line - Section:	12 - 2	**Track:**	V	**Coordinates**	
Km:	5,233			**X [mm]**	**Y [mm]**
BTR:	København H - Hvidovre Fjern			2309	-85
GPS coordinates:				2330	286
Latitude:	55,66408392			2369	282
Longitude:	12,49364990			2364	1505
Measurement date:	27-06-2017	by EBG		2216	1514
Revision date:	29-11-2017	by BANE\llh		2208	1742
Object code:	55944			2363	1753
Type:	3 - Signal			2358	3679
Group name:				2090	3661
Transport text:				2032	3817
Danish:	signal			2030	4137
German:	signal m 2052			2006	4330
				2004	4565
Notes:				1996	4824
2052				2003	5330
				2094	5678
				2164	5741



Figur 3.4: *Visualisering og data vedrørende observeret genstand og togprofil hvor hele pdf-filen kan ses i A.1.1.*

Her ses det at der for målingen er registret et sæt GPS-koordinater, som angiver genstandens placering. Punkterne som er målt på selve genstanden, er angivet med x- og y-koordinater i et lokalt koordinatsystem, hvor centerlinjen repræsenterer y-aksen og SO-planet repræsentere x-aksen.

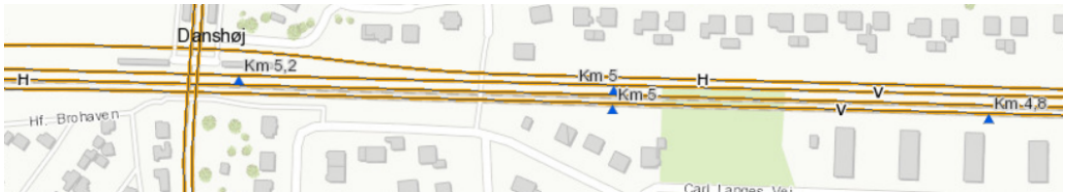
På figur 3.5 ses en tog-profil/DE3-profil, et eksempel på en fritrumsprofil, og den målte genstand, for bedre at kunne se hvad der foregår. Det blå omrids yderst er grænsen for fritrumsprofilen. Det sorte omrids er tog-profilen og den røde streg i højre side, er genstanden som er observeret i marken.



Figur 3.5: *Tog-profil, UT-profil og observeret genstand*

De koordinater som ses i pdf'en på figur 3.4 er til trods for at der står GPS-koordinater, ***ikke*** målt med en GPS. De er fremkommet ved en beregning. Man har haft et luftfotoplan som stammer fra tidligere flyvninger over Danmark, hvor man ved brug af fotogrammetri, har udpeget spormidten for alle strækninger i landet, og udarbejdet strækningsplaner med en kilometer af gangen, hvor alt spor er med. Alle de målinger af sporet er så sat sammen til linjer og cirkler, hvorefter man har defineret hvor kilometer nul er for forskellige strækninger. (Interview med LIFA, bilag B.1)

På Fredericia station ligger kilometer nul midt i stationen. Der er således en kilometer nul mod Padborg og en kilometer nul mod Aarhus. Så har man fulgt de linjer, der er målt i den retning og stationeret dem. F.eks. ligger Danshøj station som indgår i projektet ved kilometer 5,2 (se figur 3.6) og genstanden som er vist på figur 3.4 er målt i kilometer 5,233, hvortil der så beregnes et koordinatsæt til den stationering i det spor, som er beregnet ud fra kilometer nul ved Københavns hovedbanegård. (Interview med LIFA, bilag B.1) Kilometreringen kan findes på BaneGISX hjemmeside [Banedanmark, ud], hvor sporets navn også er angivet.



Figur 3.6: *BaneGISX hjemmeside*

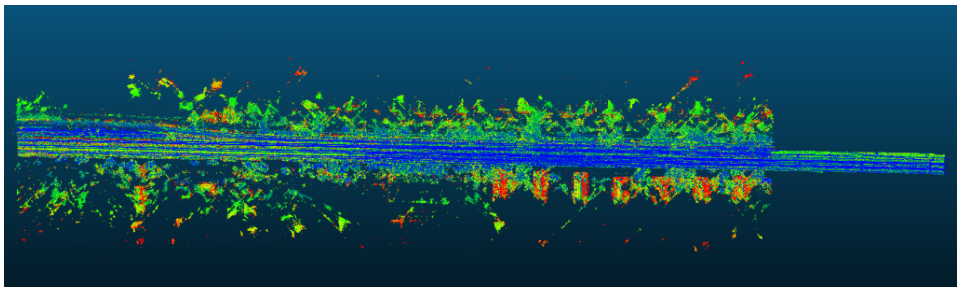
Det er altså ud fra denne linje, koordinaterne bliver beregnet og tildelt, og ikke ved en GPS-måling. Det betyder også at genstanden som er målt, i princippet godt kan ligge 10-15 meter ved siden af de angivne koordinater. Så selvom koordinatsættet er angivet med mange decimalers nøjagtighed, så er det altså uden betydning her. GPS-koordinaten i pdf'en bør i stedet opfattes som en 'lokalitetskoordinat', som giver en et overblik over hvor på kortet der er foretaget en måling. Genstanden ligger dog ikke længere væk, end man bør kunne se den i marken, hvis man befinder sig på koordinatet som er angivet. Beregningen af koordinaten kan enten ske ved at der stationeres til kilometertavlen bagtil, hvortil der foretages en afstandsmåling, hvor afstanden så lægges til kilomatertavlen eller ved at tælle jernbanesveller med en svelletæller som beregner afstanden. (Interview med LIFA, bilag B.1)

Da målingen som udføres er en kontrolmåling, medbringes en liste over tidligere målte punkter, som bør måles igen. Der kan dog godt være kommet nye genstande til, eller være overset nogle fra tidligere målinger, hvilket betyder listen ikke er fyldestgørende, og der bør ikke udelukkende tages udgangspunkt i denne. For at finde ud af om punkter langs jernbanen skal måles eller ej, medbringes et målebånd i marken, hvor alle genstande inden for 2.5 meter af sporet bliver målt. Når en genstand skal måles laves en fri opstilling, hvor der måles til et punkt på begge skinner og der måles en afstand til den seneste kilometertavle, så kilometreringen kendes. De to punkter der måles til på skinnerne er ud for den genstand der ønskes indmålt og er enten placeret på skinnes inderside eller yderside, alt efter hvad der kan ses fra opstillingen. Punkterne der måles til er 22 mm under toppen af skinnen og dette opnås ved at anvende en byggevinkel på skinnen. Ud fra disse to punkter og opmålingen af genstanden, kan genstanden placeres i forhold til SO-planet og da det vides at punkterne er målt 22 mm under skinnernes overkant, lægges denne værdi til når SO-planet illustreres. (Interview med LIFA, bilag B.2)

3.4 Måling af Banedanmarks infrastruktur med laserskanner

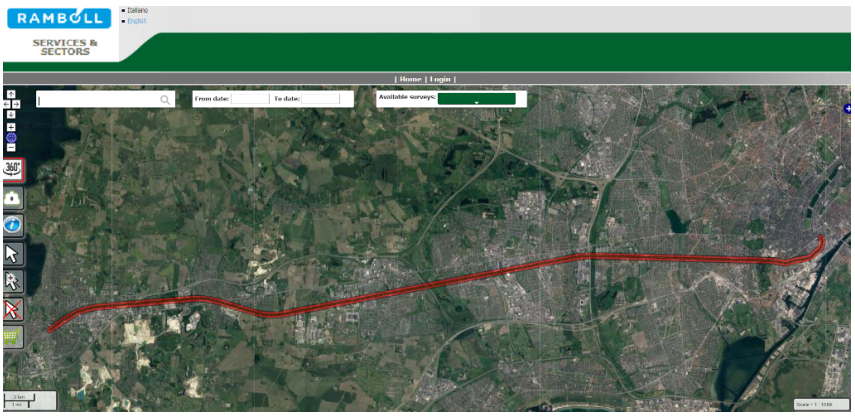
I forbindelse med et ønske om at foretage en kontrolmåling af jernbanenetværket og dets infrastruktur, har Banedanmark rekvireret firmaet Rambøll, til at stå for en laserskanning af strækningen mellem København H. og Høje-Taastrup som teststrækning. Selve skanningen af jernbanen og infrastrukturen er udført af et italiensk firma, hvor Rambølls opmålingsgruppe har stået for kontakten derimellem. Efterbehandlingen af dataene i punktskyen er foretaget af et firma i Indien.

Dataene som anvendes i dette projekt stammer fra denne laserskanning. Her er det valgt at arbejde med et udsnit på 800 meter af strækningen mellem Valby station og Danshøj station. Grunden til at der kun er valgt et lille udsnit af strækningen at arbejde med, er til dels det tidsmæssige aspekt, men også at det man vil nå frem til ved disse data, formegentlig vil gælde for de resterende strækninger. Punktskyen der er fremkommet over den valgte strækning består af 247.894.362 punkter, hvoraf størstedelen af punkterne vil være overflødige. Punktskyen er i KP2000, da det er dette koordinatsystem Banedanmark arbejder i [Banedanmark, 2008]. Punktskyen kan ses på figur 3.7.



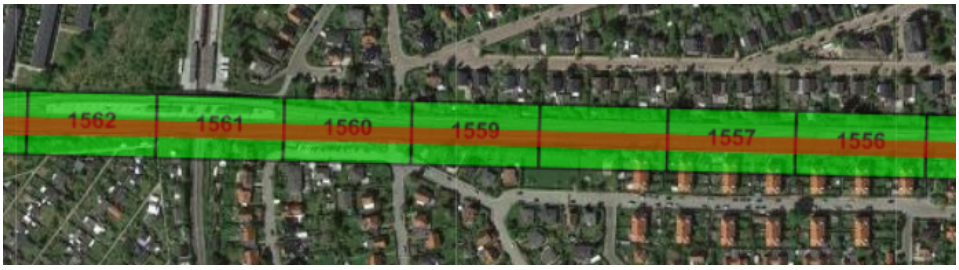
Figur 3.7: *Punktsky*

Sammen med laserskanningen er der også taget billeder af strækningen, som knytter sig til punktskyen. Billederne er 360 graders billeder, hvilket gør det muligt at panorere i dem for at se omgivelserne. Rambøll har gjort det muligt at se hele strækningen med tilhørende punktsky og billeder via en hjemmeside. Eksempel på dette kan ses i figur 3.8.



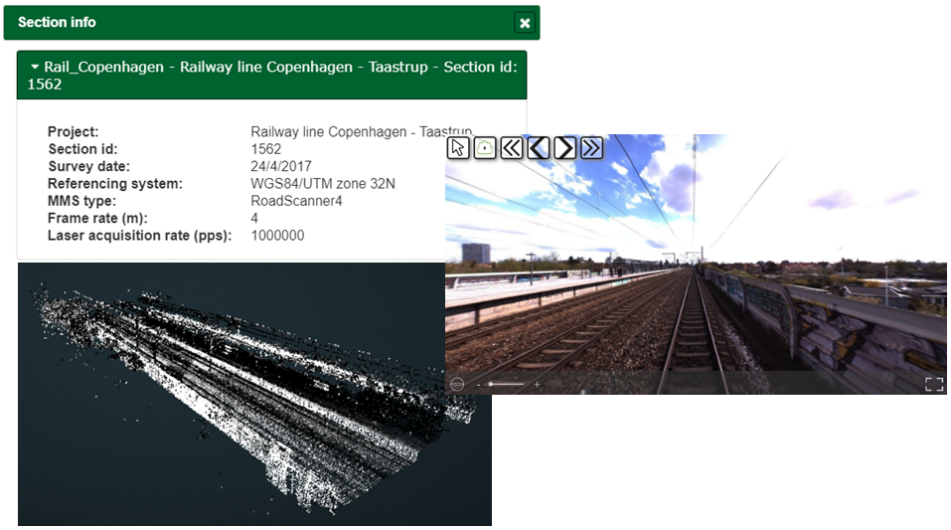
Figur 3.8: *Hjemmeside fra Rambøll. http://213.209.218.219/ramboll/*

Den røde streg repræsentere den målte strækning mellem København og Høje Taastrup, som er opdelt i flere små sektioner, startende med sektion 1511 og slutter med sektion 1816. Punktskyen der arbejdes med strækker sig fra sektion 1562 til 1556 og kan ses på figur 3.9.



Figur 3.9: *Sektion 1562 til 1556*

Ved at vælge en sektion kan man enten få sektionsinformation frem, som f.eks. indeholder dato for opmålingen, hvad type skanner der er brugt og hvilket referencesystem som anvendes. Man kan også vælge at få punktskyen frem, eller få vist de billeder som er tilknyttet den valgte sektion, se figur 3.10.



Figur 3.10: *Sektions info, punktsky og billede fra sektion 1562*

På figur 3.10 ses sektionsinformation, hvor det oplyses at målingen har fundet sted i UTM zone 32N, hvor det tidligere blev omtalt at punktskyen er i KP2000. Det skyldes at Banedanmark arbejder i KP2000, hvorfor data som skal afleveres til dem, ligeledes skal være konverteret om til KP2000.

Af udstyr til laserskanningen blev der anvendt en Road-scanner 4 Mobile Mapping System, sammen med et Ladybug 5 kamera, to Z+F Profiler 9012 laserskannere, og en IXBLUE Landis INS (Digital bilag A.3.2). Alt dette er monteret forrest på toget, som kan ses på figur 3.11.

Figur 3.11: *Udstyr monteret på et tog (Digital bilag A.3.2).*

Dette system og sensorer blev kontrolleret og overvåget fra en bærbar computer i lokomotivet under hele skanningen. Der blev udført to opmålingerne. En om natten med en hastighed på 18km/t, som producere en punktsky med en høj densitet og en nøjagtighed på <2 cm. Den anden skanning blev udført om dagen med en standard hastighed på 70/80 km/t, for at opnå en høj sfærisk billedekvalitet. Ifølge opmålingsrapporten i digital bilag A.3.2 opfylder skanningen de krav som er blevet stillet:

- Absolut nøjagtighed under 2 cm
- En høj densitet i punktskyen, med en 2.5 cm afstand mellem to skanninger
- En høj sfærisk billedkvalitet

Langs skinnerne var der anbragt 40 kontrol punkter med målene 20x20 cm, se figur 3.12 , og som skanneren automatisk kalibrere til når der køres. Kontrolpunkterne er alle placeret i Banedanmarks fikspunkter. Derved kan der holdes en høj præcision af punktskyen i dens absolutte lokalitet. (Digital bilag A.3.2)

Det har ud fra erfaringer vist sig, at det er nødvendigt med flere end blot 40 kontrolpunkter, når der køres med en mobil trolje. Når der køres med den mobile skanner, så drifter/skrider positionen lidt, når skanneren befinder sig mellem fikspunkter. Det betyder at med få punkter og lav hastighed, så er der mere tid hvor opmålingen kan drifte væk. Ved en højere hastighed, er der kortere tid mellem kontrolpunkter, hvorved driftet også vil være mindre. Til gengæld bliver densiteten af punktskyen også markant mindre. Da fokus er en punktsky med høj densitet for at kunne efterbehandle dataene, er det også nødvendigt at køre

Figur 3.12: *Kontrolpunkt etableret på Banedanmarks fikspunkt (Digital bilag A.3.2).*

langsomt, hvilket kræver at der skal anvendes flere kontrolpunkter. (Digital bilag A.3.1)

Som en kontrol af præcisionen i punktskyen, er der beregnet en difference for z-værdien på alle kontrolpunkter. Det har her vist sig at z-værdien ligger inden for 20 mm, hvormed det antages at både x og y ligeledes gør dette. Herudover er der foretaget en ekstra kontrol af køretråden, og her bekræftes det at der er en præcision inden for 20 mm. (Digital bilag A.3.1)

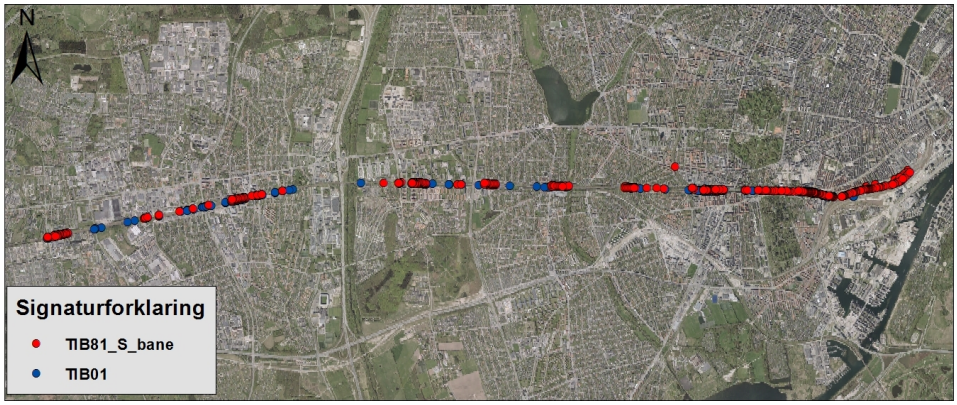
3.5 Stedfæstelse af genstande i punktskyen

Ved hjælp fra dataene vedrørende målingen med totalstationen, hvor alle genstande observeret er registreret med et sæt koordinater, er det muligt at placere genstandene på strækningen i punktskyen. På den måde kan observationer af genstande, som ligger uden for den valgte strækning blive frasorteret, så der kun arbejdes med genstande som befinder sig på selve strækningen i punktskyen. Da måledataene som er modtaget, indeholder langt flere genstande end kun dem som befinder sig på strækningen mellem Danshøj station og Valby station, er det nødvendigt at frasortere disse. Dette gøres ved hjælp af den txt-fil med data vedrørende de målte genstande, hvilket gør det muligt at kortlægge hvor på strækningen genstandene befinder sig, og om de ligger inden for det valgte område af strækningen eller udenfor. Før tekstfilen bruges foretages der en oprydning af information i filen. Det betyder at x- og y-koordinater som er punkter målt på genstanden udelades og at parenteser slettes fra filen. Herefter importeres txt-filen til programmet excel hvor kolonnerne tildeles hver deres overskift, som kan ses på figur 3.13.

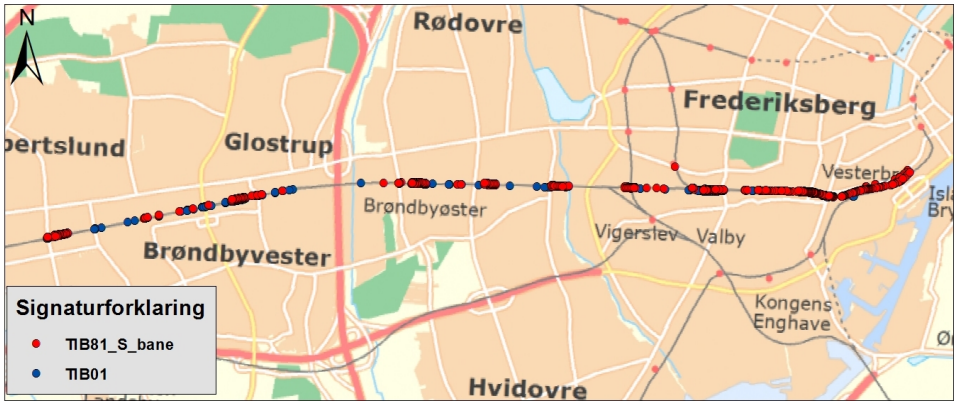
ID	Lat	Lon	Initialer	Dato	Kode	Note
22299	55,66275	12,54801	EBG	27-06-2017	6	$$DA mast $$DE mast $$EN mast
22300	55,66272	12,54775	jha	14-04-2008	6	$$DA køreledningsmast $$DE køreledningsmast $$EN køreledningsmast
22302	55,66271	12,54167	EBG	27-06-2017	2	$$DA bro 11404 $$DE bro 11404 $$EN bro 11404
22303	55,66271	12,54167	EBG	27-06-2017	10	$$DA rækværk $$DE rækværk 11404 $$EN rækværk 11404
22304	55,66269	12,54166	EBG	27-06-2017	9	$$DA køreledningsophæng $$DE køreledningsophæng 11404 $$EN køreledningsophæng 11404
22305	55,66273	12,54154	EBG	27-06-2017	2	$$DA bro $$DE bro 11404 $$EN bro 11404
22306	55,66273	12,54155	EBG	27-06-2017	10	$$DA rækværk $$DE rækværk 11404 $$EN rækværk 11404
22307	55,66271	12,54154	EBG	27-06-2017	9	$$DA køreledningsophæng $$DE køreledningsophæng 11404 $$EN køreledningsophæng 11404
22308	55,66278	12,54118	EBG	27-06-2017	10	$$DA rækværk $$DE rækværk 11404 $$EN rækværk 11404
22309	55,66278	12,54118	EBG	27-06-2017	2	$$DA bro 11404 $$DE bro 11404 $$EN bro 11404
22310	55,66288	12,54053	EBG	27-06-2017	10	$$DA rækværk $$DE rækværk h $$EN rækværk h
22311	55,66292	12,54025	EBG	27-06-2017	10	$$DA rækværk $$DE rækværk h $$EN rækværk h
22312	55,66295	12,5401	EBG	27-06-2017	10	$$DA rækværk $$DE rækværk h $$EN rækværk h
22313	55,66321	12,53802	.	14-04-2008	12	$$DA relæhytte $$DE relæhytte $$EN relæhytte
22314	55,66327	12,53733	EBG	27-06-2017	1	$$DA mærke $$DE mærke s $$EN mærke s
22315	55,66364	12,51569	EBG	27-06-2017	3	$$DA signal $$DE signal m 1038 $$EN signal m 1038
22317	55,66361	12,51436	jenj	17-05-2017	4	$$DA perron $$DE perron $$EN perron
22318	55,66361	12,51423	jenj	17-05-2017	4	$$DA perron $$DE perron $$EN perron
22319	55,6636	12,51423	.	14-04-2008	5	$$DA Perrontag $$DE Perrontag $$EN Perrontag
22320	55,6636	12,51402	jenj	17-05-2017	4	$$DA perron $$DE perron $$EN perron
22321	55,6636	12,51402	.	14-04-2008	5	$$DA perrontag $$DE perrontag $$EN perrontag
22324	55,6636	12,51391	.	14-04-2008	9	$$DA fødeledning til kørestrøm $$DE fødeledning til kørestrøm $$EN fødeledning til kørestrøm
22325	55,6636	12,51359	jenj	17-05-2017	4	$$DA perron $$DE perron $$EN perron
22326	55,6636	12,51359	jenj	17-05-2017	5	$$DA perrontag $$DE perrontag $$EN perrontag
22327	55,6636	12,51359	.	14-04-2008	9	$$DA fødeledning til kørestrøm $$DE fødeledning til kørestrøm $$EN fødeledning til kørestrøm
22328	55,6636	12,51326	jenj	17-05-2017	4	$$DA perron $$DE perron $$EN perron
22329	55,6636	12,51326	jenj	17-05-2017	5	$$DA perrontag $$DE perrontag $$EN perrontag

Figur 3.13: *Data i Excel*

Det er nødvendigt med overskifter for at programmet ArcMap kan læse filen og dens attributtabel. Efter dette er gjort eksporteres excel filen som en komma separeret csv-fil. Filen kan således åbnes i programmet ArcMap, hvor placeringen af genstandene målt med totalstation kan ses på figur 3.14a hvor genstandenes placering er afbilledet på et ortofoto, og figur 3.14b hvor genstandenes placering er vist på et skærmkort.



(a) *Ortofoto*



(b) *Skærmkort*

Figur 3.14: *Alle målte genstande på strækningen Høje-Taastrup - København H.*

Til at frasortere alle genstande som ligger uden for punktskyen, laves punktskyfilen om til et filformat kaldet las, som kan importeres til ArcMap. Selvom det er muligt at se punktskyen i ArcMap, er det her kun afgrænsningen for punktskyen, der er interessant og som bruges. På figur 3.15 er punktskyen åbnet i ArcMap sammen med de målte genstande.

Figur 3.15: *Punktskyens udstrækning og målte genstande*

Den gule firkant i figur 3.15 repræsenterer et omrids af punktskyen, hvorved alle

genstande som ligger inden for denne firkant, kan vælges i ArcMap. For at identificere hvilken type genstand der er målt, kan man enten gå ind i attribut tabellen og læse hvad det er, eller man kan vælge at sætte et label på genstandene, hvorved genstandstype også fremkommer. I figur 3.16 og 3.17 er der sat label på genstandene, hvorved det kan ses, hvilken type genstanden er.

Figur 3.16: *Genstande inden for punktskyen målt med totalstation (16 stk.)*

Figur 3.17: *Genstande inden for punktskyen målt med totalstation (5 stk.)*

Ud af de 278 genstande som var målt på strækningen mellem Høje-Taastrup og København, er antallet af genstande blevet reduceret til 21 genstande, som ligger inden for den strækning punktskyen dækker. Af de 21 genstande er 17 af dem målt for s-banen og de sidste 4 målt i fjernbanen. På figur 3.18 ses en liste over hvilke genstande som er tilbage.

TB81_S

FID	ID	Lat	Lon	Initialer	Dato	Kode	Note	Objetcs
0	22817	55,66405116	12,50167570	EBG	2017-07-18	6	$$DA mast $$DE mast 2042 $$EN mast 2042	MAST
1	23006	55,66407946	12,49983378	EBG	2017-07-18	3	$$DA I-signal Z $$DE signal z $$EN signal z	I-SIGNAL Z
2	40462	55,66424419	12,49478270	EBG	2017-07-19	4	$$DA perron $$DE perron start $$EN perron start	PERRON START
3	40463	55,66426242	12,49446527	EBG	2017-07-19	4	$$DA perron $$DE perron $$EN perron	PERRON
4	40466	55,66429370	12,49347827	EBG	2017-07-19	4	$$DA perron $$DE perron start $$EN perron start	PERRON START
5	40467	55,66429854	12,49315966	EBG	2017-07-19	4	$$DA perron $$DE perron start $$EN perron start	PERRON START
6	40468	55,66430327	12,49284104	EBG	2017-07-19	4	$$DA perron $$DE perron start $$EN perron start	PERRON START
7	40471	55,66415040	12,49477678	EBG	2017-07-19	4	$$DA perron $$DE perron start $$EN perron start	PERRON START
8	56129	55,66415455	12,49744718	EBG	2017-07-19	1	$$DA mærke $$DE mærke $$EN mærke	MÆRKE
9	56130	55,66427737	12,49414678	EBG	2017-07-19	4	$$DA perron $$DE perron start $$EN perron start	PERRON START
10	56131	55,66428686	12,49382796	EBG	2017-07-19	4	$$DA perron $$DE perron start $$EN perron start	PERRON START
11	56134	55,66418086	12,49270908	EBG	2017-07-19	4	$$DA perron $$DE perron slut $$EN perron slut	PERRON SLUT
12	56135	55,66417624	12,49302712	EBG	2017-07-19	4	$$DA perron $$DE perron slut $$EN perron slut	PERRON SLUT
13	56136	55,66417141	12,49334516	EBG	2017-07-19	4	$$DA perron $$DE perron slut $$EN perron slut	PERRON SLUT
14	56137	55,66416677	12,49366321	EBG	2017-07-19	4	$$DA perron $$DE perron slut $$EN perron slut	PERRON SLUT
15	56138	55,66416223	12,49398169	EBG	2017-07-19	4	$$DA perron $$DE perron slut $$EN perron slut	PERRON SLUT
16	56139	55,66415746	12,49429973	EBG	2017-07-19	4	$$DA perron $$DE perron slut $$EN perron slut	PERRON SLUT

TB01

FID	ID	Lat	Lon	Initialer	Dato	Kode	Note	Objects
0	22351	55,66396003	12,50197198	EBG	2017-06-27	3	$$DA signal $$DE signal m 1047 $$EN signal m 1047	SIGNAL
1	22352	55,66405018	12,49600083	EBG	2017-06-27	11	$$DA bygning $$DE bygning m 1047 $$EN bygning m 1047	BYGNING
2	22441	55,66412379	12,49362682		2008-04-14	3	$$DA AM-signal 2052 $$DE AM-signal 2052 $$EN AM-signal	AM-SIGNAL
3	55944	55,66408392	12,49364990	EBG	2017-06-27	3	$$DA signal $$DE signal m 2052 $$EN signal m 2052	SIGNAL

Figur 3.18: *Genstandstype*

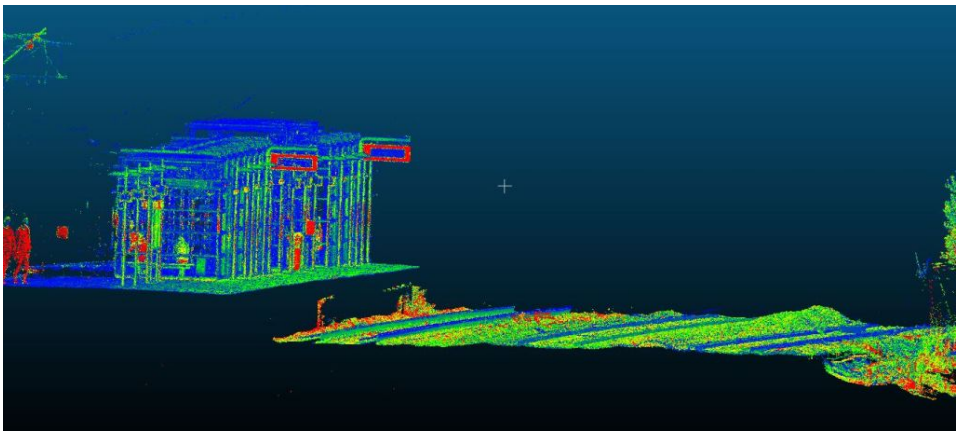
Næste skridt er at kontrollere om genstandene kan ses i punktskyen, for at vide om de kan anvendes som kontrolpunkter, som bør opdages når UT-profilen

anvendes på skinnerne i punktskyen. For lettere at kunne arbejde og bevæge sig rundt i punktskyen, er det valgt at dele den op i 17 mindre sektioner, som har givet 16 sektioner af ca. 50 meter og en lille rest. Det som gør det lettere at arbejde med sektioner fremfor hele punktskyen, er dels at det er nemmere at navigere i en mindre punktsky, men også at det er hurtigere, da der ikke skal bearbejdes over 240 millioner punkter hver gang der foretages en ændring som f.eks. panorering eller zoom. Ved at åbne alle sektionerne i ArcMap er det muligt at se, hvilke sektioner af punktskyen som de målte genstande befinder sig i, og derved kontrollere om de er at finde i punktskyen. Figur 3.19 viser de sektioner med genstande målt.

Figur 3.19: *Sektioner med genstande*

Når genstanden skal findes i punktskyen, kan det godt være svært at vide, hvad man skal lede efter, hvis ikke man er bekendt med udtrykkene som bruges til angivelse af type. F.eks. kan det være svært at vide hvad der menes med mærke, eller hvordan denne type ser ud. Til at overskueligegøre hvordan genstandene er udformet, gøres der brug af pdf-filen som vist på figur 3.5 på side 13, hvor der er et eksempel på en visualisering af en målt genstand. Pdf-siderne brugt til dette kan ses i digital bilag A.1.1.

Ses der på de to første sektioner, så skal det ifølge de genstande som er målt, være muligt at se en perron, et AM-signal og et signal i denne del af punktskyen. Det er dog ikke tilfældet, som det kan ses i figur 3.20



Figur 3.20: *De to sektioner til venstre i figur 3.19.*

Da det er muligt at tilgå den oprindelige måling af punktskyen online via et link fra Rambøll, som har stået for målingen af punktskyen, er der også ledt efter gen-

standene i denne. Her har der været større held med at identificere genstandene. I figur 3.21 ses et udsnit fra Rambølls punktsky online som svarer til det udsnit af punktskyen, der ses i figur 3.20.

Figur 3.21: *To første sektioner*

Her kan man både se kanten/siden af perronen samt signalet mellem sporene. Derudover kan der også ses master og køreledninger, som heller ikke er til stede i projektets punktsky. Da punktskyen som projektet anvender også er foretaget af Rambøll, som har givet punktskyen til Banedanmark, fra hvem projektgruppen har fået punktskyen, virker det underligt at de to punktskyer ikke er ens. Specielt når det som Banedanmark ønsker at bruge punktskyen til, netop er at detektere genstande inden for UT-profilen. Hvad der er skyld i de to punktskyer ikke er ens, eller hvorfor det virker som om der mangler noget i den som anvendes i projektet vides dog ikke. Det er derfor foretaget en sammenligning af genstande som kan findes i projektets punktsky, Rambølls punktsky online samt billeder fra skanningen, som også kan ses online hos Rambøll. Tabel 3.1 viser hvilke genstande som er blevet identificeret og hvor.

Tabel 3.1: *Genstande identificeret*

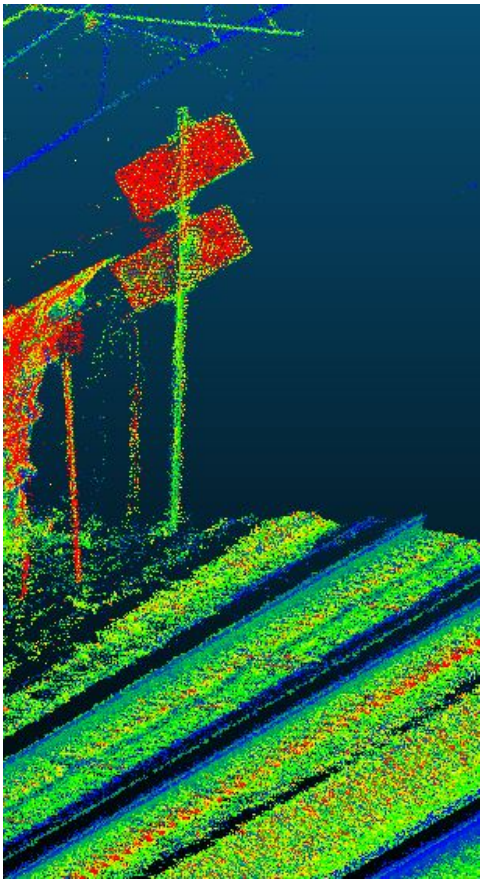
Genstande målt med totalstation	Projektets punktsky	Rambølls punktsky	Billeder fra Rambøll
Perron	-	+	+
Perron	-	+	+
Perron	-	+	+
Perron	-	+	+
Perron	-	+	+
Perron	-	+	+
Perron	-	+	+
Perron	-	+	+
Perron	-	+	+
Perron	-	+	+
Perron	-	+	+
Perron	-	+	+
Perron	-	+	+
Perron	-	+	+
Mærke	+	+	+
I-Signal Z	+	+	+
Mast	-	+	+
Signal	-	-	-
AM-signal	-	+	+
Bygning	-	+	+
Signal	+	+	+

Ud fra tabel 3.1 kan det ses, at kun 3 genstande er blevet identificeret i projektets punktsky, hvor imod alle genstande på nær et enkelt, er blevet identificeret i Rambølls punktsky og billeder. Genstanden som ikke er tilstede i nogle af skyerne eller på billederne, må formodes at være fjernet siden opmålingen med totalstation har fundet sted.

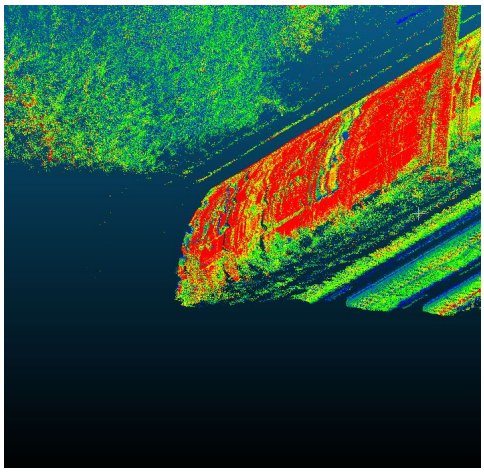
Figur 3.22: *Placering af mærke ifølge GPS-koordinatet.*

I takt med identifikationen af genstande i punktskyen, blev det bekræftet at koordinatet som angiver genstandens placering, kun skal anses som et 'lokalitetskoordinat', der fortæller hvor genstanden omtrent befinder sig i marken. Dette blev omtalt i afsnit 3.3. Eksempel herpå fremgår af figur 3.22.

Her viser koordinatet for genstanden at den befinder sig i sektion 300 i punktskyen. Men ledes der efter genstanden i denne sektion, er den ikke synlig. Genstanden er dog til stede i punktskyen, bare ikke i den sektion koordinaten angiver at den er. Figur 3.23 viser både sektion 250 og sektion 300 i punktskyen.



(a) *Sektion 250*



(b) *Sektion 300*

Figur 3.23: *Her ses to sektioner, hvor genstandens koordinater viser at den befinder sig i sektion 300, men genstanden er synlig i sektion 250.*

Her ses det at genstanden som er et mærke, ikke er synlig i sektion 300 men at den er det i sektion 250, hvilket i denne situation viser at koordinaterne for genstandene ikke er mere nøjagtige, end at man burde kunne se genstanden i marken, når man befinder sig på koordinatet.

Eftersom det kun har været muligt at identificere 3 genstande i projektets punktsky, er det valgt at tage kontakt til Rambøll, for at høre om det er muligt, at få den oprindelige punktsky-skanning fra dem, hvilket det var. Der arbejdes således videre med den nye punktsky fra Rambøll.

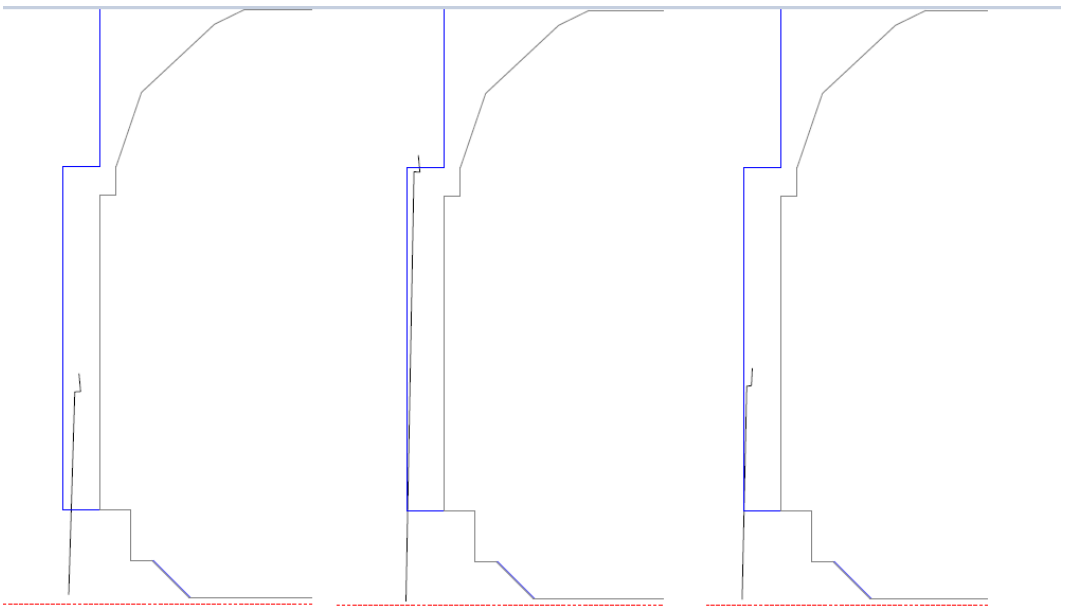
3.5.1 Punktsky fra Rambøll

Med det oprindelige datasæt fra Rambøll, dækker punktskyen også en større strækning end tidligere. Det er derfor valgt at fokusere på kun enkelte dele af punktskyen, hvor der med sikkerhed kan findes punkter som er målt med totalstation. For at finde en eller flere dele af punktskyen hvor disse er beliggende, er der som tidligere foretaget en analyse af genstandene i ArcMap, for at se hvilke der ligger inden for punktskyen, samt hvad type genstanden er. Hertil er der ligeledes foretaget en kontrol, om det er muligt at identificere nogle af genstandene i punktskyen eller på tilsvarende billeder. Den nye punktsky indeholder i alt 83 genstande målt med totalstation, hvoraf 48 af genstandene er perron, hvortil alle var synlige i både skyen og ud fra billeder. De resterende 35 genstande består af mærke, bro, signal, køreledning, fødeledning, bygning og telefon, hvor både køreledning og fødeledning er tilstede på billeder og i punktskyen, men hvor det har været vanskeligere at identificere, hvad af det der er målt med totalstation. Tilbage er en tabel over de resterende genstande, som kan ses i tabel

Genstande målt med totalstation	**Punktsky**	**Billede**
Mærke	-	-
Mærke	-	-
Mærke	-	-
Mærke	-	-
Bro	-	-
Bro	-	-
Bro	-	-
Bro	+	+
Bro	+	+
Bro	+	+
Bro	+	+
Bro	+	+
Signal	+	+
Signal	-	-
Signal	+	+
Signal	+	+
Signal	+	+
Bygning	-	-
Telefon	-	-

Grunden til nogle af genstandene ikke blevet identificeret, skyldes at det ikke har været muligt at genkende genstandenes udformning. Det betyder dog ikke at genstandene ikke er tilstede i punktskyen, men blot en manglende viden om, hvad der skal ledes efter, selvom der er gjort brug af pdf'en, med illustration af den målte genstand. F.eks. viser figur 3.24 målingen af genstandene benævnt bro. Her er der kun en visualisering i form af en enkelt streg eller to, som ikke er meget at gå efter, når der ledes i en punktsky eller på et billede. Antager man at der tale om en traditionel bro, burde det dog stadig være muligt, at finde en bro. Det

er dog ikke tilfældet i hverken punktskyen, eller ud fra billeder. Det skal dog være usagt om genstandene reelt stadig findes eller ej. Lignende situation udspiller sig i forbindelse med de genstande benævnt mærke. Her har der heller ikke været meget af gå efter i pdf'en med visualiseringer. Her vises der igen kun enkelte streger for genstanden, og uden nogen standardisering for typen mærke, har disse ligeledes ikke været mulige at identificeret, i hverken punktskyen eller ud fra billeder.



Figur 3.24: *Visualisering af målt bro*

3.6 Krav og udfordringer

Begge målinger, både totalstation og laserskanning, er bundet op på kravene fra Banedanmark [2004], som diktere hvordan genstandene skal måles og dernæst registreres. Her er det slået fast at alle genstande inden for fritrumsprofilen skal måles, og at der skal foretages en kontrolmåling af genstande langs jernbanesporet hvert 5. år. Ved infrastrukturarbejde af jernbanen skal der inden for 8 dage efter dette er afsluttet, ligeledes foretages en kontrolmåling af genstandene omkring sporet.

I hvilken afstand af jernbanesporet genstande skal måles, bestemmes ud fra fritrumsprofiler, som i dette tilfælde er en UT-profil hvor den maksimale afstand mellem spormidten og kanten af UT-profilen er 2,3 meter.

Ved måling med totalstation kræves det at der måles tilstrækkeligt med punkter på genstanden, til at den er mulig at genkende. Hertil skal der også måles 1 punkt på hver skinne, så der kan bestemmes et SO-plan, hvorpå fritrumsprofilen placeres vinkelret på denne.

	Krav til måling
Banenorm	Kontrol måling hvert 5. år, og 8 dage efter endt infrastrukturarbejde.
UT-profil	Måling af alle genstande inden for UT-profilen.
Totalstation	Tilstrækkeligt med punkter til at genkende genstanden.

For at kunne anvende laserskanning fremfor totalstation, kræver det at ovenstående tabel kan opfyldes. Det skal altså være muligt at kunne foretage en kontrolmåling, når dette er nødvendigt. Ligeledes skal det være muligt i punktskyen at kunne udpege genstande inden for UT-profilen, og fastslå et SO-plan. Til sidst skal det være muligt at genkende genstandene i punktskyen.

KAPITEL 4

Problemformulering

Fra foranalysen er det undersøgt hvilke krav der stilles til opmåling af genstande langs jernbanen, og i hvilken afstand af jernbanen alle genstande skal registreres, samt hvordan UT-profilen som anvendes til dette, skal placeres på skinnerne. Udover dette er det undersøgt hvordan målingen af Banedanmarks infrastruktur sker med totalstation, hvordan det kan udføres med en laserskanner, og hvilken nøjagtighed der kan forventes i punktskyen. Foruden dette blev der fastslået en stedfæstelse af genstanden målt med totalstationen, som senere vil blive anvendt som kontrolpunkter. Afslutningsvist blev kravene fra de forskellige banenormer ved opmåling fastslået, sammen med kravene til måling med UT-profil og totalstation. Da det ønskes at fremtidige målinger skal foretages med laserskanning, hvortil der gøres brug af en UT-profil i punktskyen, leder dette til følgende problemformulering:

Hvordan kan der detekteres genstande i punktskyen indenfor den anvendte UT-profil?

For at besvare problemformuleringen, er det nødvendigt at identificere skinnerne i punktskyen, for derved at kunne placere UT-profilen og udpege genstande inden for denne. Det giver således tre underspørgsmål, som ønskes besvaret:

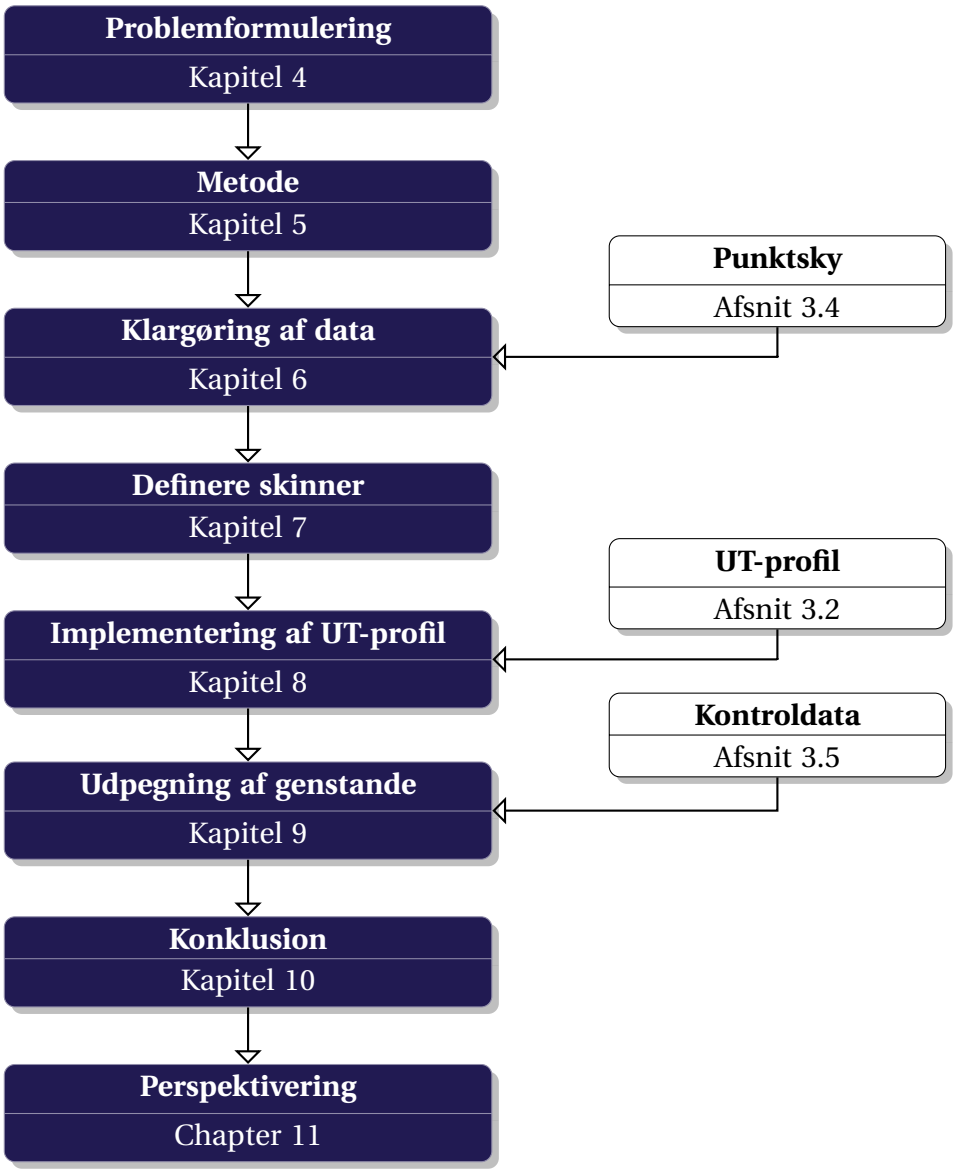
- Hvordan kan skinnernes placering bestemmes?
- Hvordan kan UT-profilen anvendes til afgrænsning i punktskyen?
- Hvordan kan genstande udpeges i punktskyen indenfor UT-profilen?

Strukturen for resten af projektet og herunder hvordan problemformuleringen og underspørgsmålene vil blive besvaret er opstillet i kapitel 5 sammen med metoden for de efterfølgende kapitler.

KAPITEL 5

Metode

I dette kapitel vil metoden til resten af projektet blive præsenteret. Projektets opbygning kan ses til venstre i figur 5.1 og opdelingen i dette kapitel vil følge opbygningen af de efterfølgende kapitler.



Figur 5.1: *Til venstre ses strukturen for resten af projektet og til højre ses hvilke elementer fra foranalysen, der bliver inddraget i forskellige kapitler.*

For at kunne besvare problemformuleringen skal dataene, som er præsenteret i foranalysen i afsnit 3.4, først klargøres, hvilket vil blive præsenteret i kapitel 6. Derefter skal skinnerne identificeres. Dette sker i kapitel 7. Herefter skal UT-profilen fra foranalysens afsnit 3.2 anvendes for at beskære punktskyen og dette sker i kapitel 8. Herefter skal genstande i nærheden af jernbanen udpeges og sammenlignes med eksisterende opmåling, som er præsenteret i foranalysens afsnit 3.5. Dette vil blive gjort i kapitel 9. Herefter vil der følge en konklusion i kapitel 10 og en perspektivering i kapitel 11.

Metoden tilhørende de forskellige kapitler kan læses herunder i deres respektive afsnit.

Klargøring af data

I kapitel 6 *Klargøring af data*, undesøges det hvilke dele af punktskyen der skal anvendes, ud fra den viden der blev opnået i afsnit 3.5, og hvilket filter som skal anvendes til at rydde op i dataene. I kapitel 6 bliver GeoDanmarks centerlinje for jernbanen gjort klar til at kunne anvendes til beskæring af punktskyen.

Definere skinner

I kapitel 7 *Definere skinner*, ses der på hvordan det er muligt at definere skinnerne i punktskyen. Her vil der blive set på tidligere erfaringer om at definere skinner i en punktsky, fra et projekt af Cristian og Caluser [2018], hvorfra deres scripts bliver tilpasset for at passe til dette projekt.

Implementering af UT-profil

I kapitel 8 *Implementering af UT-profil*, fastslås målene for UT-profilen, ud fra figur 3.2 i afsnit 3.2 i foranalysen.

Da der i dette projekt vil blive anvendt en cirkel i stedet for en UT-profil, vil kapitlet indeholde beregning af cirklens størrelse, hvor cirklen skal indeholde hele UT-profilen og der skal tages højde for overhøjde mellem skinnerne og spredning i punktskyen. Derefter bliver cirklen anvendt sammen med punktskyen i CloudCompare.

Udpegning af genstande

I kapitel 9 *Udpegning af genstande*, anvendes UT-profilen på skinnerne som er defineret i punktskyen. Her sker der en udpegning af genstande som ligger indenfor UT-profilen. Derefter bliver genstandene der findes i punktskyen sammenholdt med dem, som er observeret med totalstation. Det vil blive undersøgt om det er muligt at identificere en genstand ud fra punktskyen, eller om det er nødvendigt at inddrage andet materiale. Til sidst foretages en sammenligning af koordinaterne som findes til genstandene i punktskyen, og de koordinater som medfølger ved opmåling med totalstation.

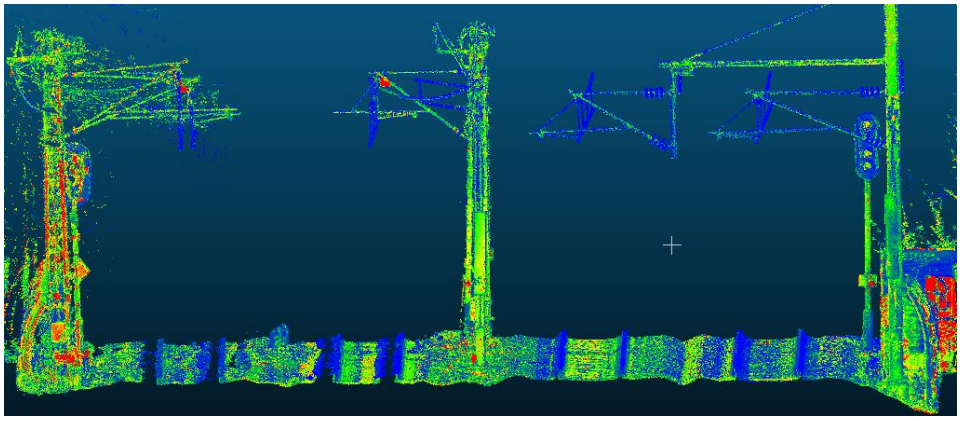
KAPITEL 6

Klargøring af data

I dette kapitel vil data blive gjort klar til det videre arbejde i dette projekt. I afsnit 6.1 vil de sektioner af punktskyen der bliver anvendt i de efterfølgende kapitler blive klargjort ved at rydde op og fjerne støjpunkter. I afsnit 6.2 vil jernbanens centerlinje blive behandlet, så den er klar til anvendelse i kapitel 7.

6.1 Klargøring af punktsky

Inden punktskyen kan tages i brug i den kommende proces, skal der først ske en oprydning af punkterne i skyen, for at lette arbejdet og processeringstiden af disse data.



Figur 6.1: *Figuren viser en sektion af punktskyen med en længde på 50 m. Laserskanningen er foregået i de to spor til højre.*

Figur 6.1 viser en sektion af punktskyen, hvor det ses at de to spor til højre er bedre defineret end de to spor til venstre, hvilket stemmer overens med at laserskanneren har kørt i begge de to spor til højre.

Oprydning i punktskyen, sker ved hjælp af værktøjer som er at finde i programmet CloudCompare. Her kan der vælges at udføre en oprydning af punkter ved brug af et *Noise filter* eller et *SOR filter*. I dette projekt er der valgt at anvende noise filter, da den er bedre til at fange den støj der er i denne punktsky.

Ved brug af noise filter anvendes der en algoritme, som lokalt tilpasser et plan omkring hvert eneste punkt i skyen, hvorefter punkter som ligger for langt væk fra dette plan, bliver sorteret fra. Inden filteret køres skal der først opsættes nogle parametre, hvor der kan indstilles på følgende:

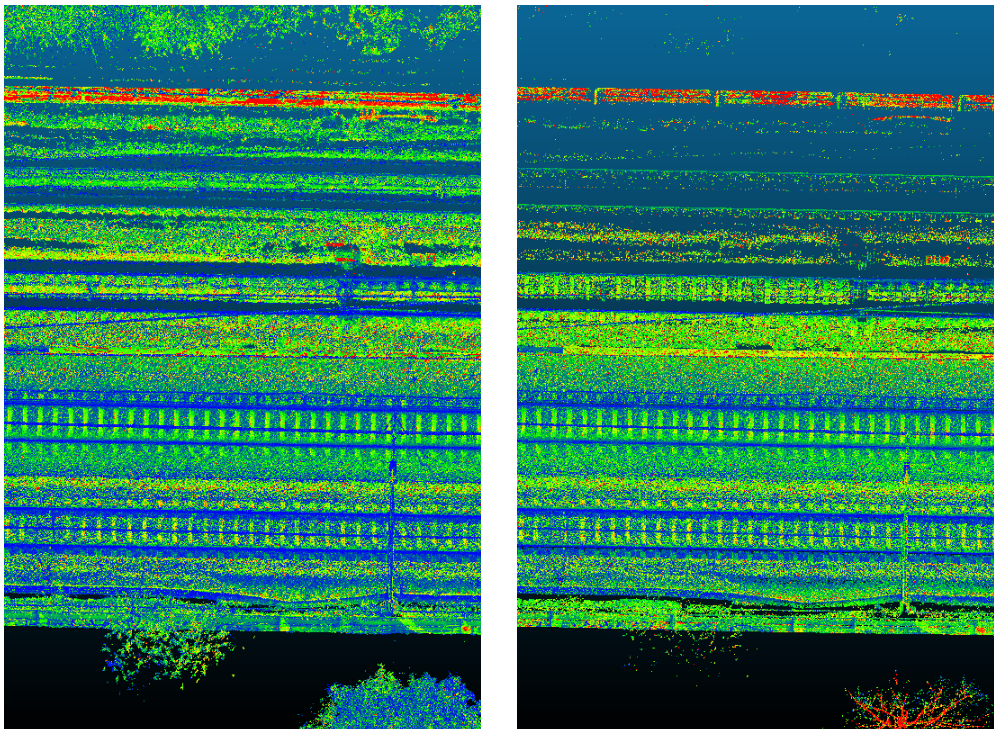
- Uddrage et given antal nabopunkter omkring hvert punkt (kun egnet til

skyer med en konstant densitet), eller gøre brug af en radius for hvert punkt.

- Indsætte en maks fejlafstand til det tilpassede plan for hvert punkt, for at bestemme om et punkt skal forkastes eller ej. Fejlafstanden kan enten være relativ eller absolut.

- Bestemme om isolerede punkter skal fjernes ved processen.

Noise filteret bliver anvendt for at få fjernet støj fra punktskyen og som følge heraf bliver antallet af punkter også reduceret. Parametrene der er valgt, er en radius på 1,5 cm for hvert punkt, at bruge den relative afstand, og at alle isolerede punkter skal fjernes ved processen. Valget for værdierne er dels baseret på erfaringer fra projektet af Cristian og Caluser [2018] og ved forskellige forsøg på at justere værdien på 1,5 cm op og ned som enten er endt med for meget støj i den endelige punktsky eller for grov sortering, så punkter på sporene og genstandene bliver frasorteret.



(a) *Uden noise filter* **(b)** *Med noise filter*

Figur 6.2: *Et udsnit af en punktsky henholdsvis uden noise filter og med noise filter. De to billeder er samme sted i punktskyen og samme udsnit.*

På figur 6.2 ses et udsnit af en punktsky set fra oven omkring skinnerne. Udsnittet i de to delfigurer 6.2a og 6.2b er den samme strækning på jernbanen, hvor der kan ses hvordan noise filteret tynder ud i antallet af punkter, specielt ved de skinner der ligger længest væk fra hvor laserskanningen er foregået og bevoksningen i toppen og bunden af billederne.

Strækning	Punkter før (antal)	Punkter efter (antal)	Reduktion (%)
14025-14075	17.397.032	7.975.057	54,2
14075-14125	18.563.301	8.346.320	55,0
14525-14575	20.159.375	8.541.510	57,6
14575-14625	20.342.890	8.206.224	59,7
15025-15075	22.152.527	8.001.715	63,9
15075-15125	20.385.373	8.367.649	59,0

Tabel 6.1: *Tabellen viser antallet af punkter i punktskyerne inden noise filteret er anvendt, antallet af punkter efter anvendelse af noise filteret, samt hvad reduktionen er i procent.*

I tabel 6.1 ses hvor mange punkter der var i punktskyerne inden og efter noise filteret er anvendt, samt hvor meget antallet af punkter er blevet reduceret. Punktskyerne er reduceret mellem 54 % og 64 %, så lidt mere end en halvering og totaltset er punkterne i punktskyerne blevet reduceret med 58,5 %. Processeringstiden for denne del af processen tager under 1 min for hvor sektion, men varierer mellem få sekunder og op til et minut.

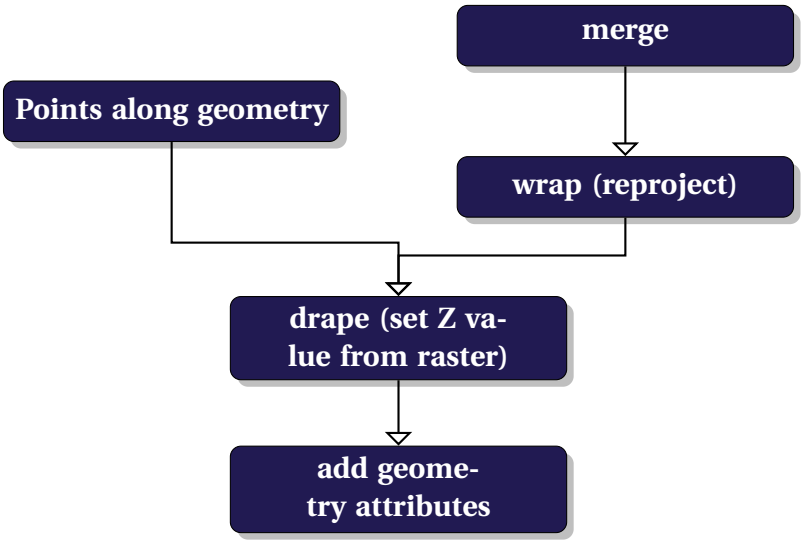
6.2 Klargøring af centerlinje fra GeoDanmark

I kapitel 7 skal punktskyen indsnævres til kun at indeholde området lige omkring sporet og til denne proces bliver centerlinjen fra GeoDanmark anvendt, som lover en nøjagtighed på under en meter i både planen og koten [GeoDanmark, 2018]. Da CloudCompare ikke kan arbejde med polylines, som er det format GeoDanmarks jernbanelinje er i, skal der først foretages en behandling af dette datasæt, så det kan anvendes i CloudCompare. Denne klargøring af jernbanens centerlinje fra GeoDanmark vil blive beskrevet her.

Ved behandling af datasættet bliver centerlinjen fra GeoDanmark omdannet fra at være en polyline til at være punkter. Dette trin i processen bliver udført, da den efterfølgende behandling bliver udført i CloudCompare, hvor der kan udføres punktsky beregninger.

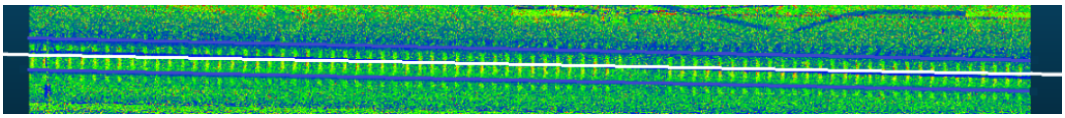
Centerlinjen til jernbanerne i Danmark er taget fra datasættet GeoDanmark. Hovedparten af dette lag er fremstillet ved fotogrammetri og med en nøjagtighed < 1 meter [GeoDanmark, 2018]. Denne linje er i QGIS lavet om til punkter, ved en række funktioner. Disse funktioner kan ses i figur 6.3.

For at omdanne jernbanens centerlinje til punkter bliver funktionen *Points along geometry* anvendt i QGIS, hvor der bliver dannet punkter langs linjen med 10 cm mellem punkterne. Linjen der bliver taget ind i denne funktion havde koter tilknyttet, men efter funktionen er disse gået tabt, og der bliver derfor tilføjet koter fra Danmarks højdemodel i de resterende fire funktioner. I funktionen *merge* bliver flere sektioner fra Danmarks højemodel sat sammen, da punktskyens udstrækning ligger i flere forskellige sektioner. I funktionen *wrap (reproject)* bliver rasterlaget (højdemodellen) reprojekteret til KP2000, da det er i dette koordinatsystem punktskyen er, og derfor det koordinatsystem det ønskes at have punk-



Figur 6.3: *Funktioner der er anvendt i QGIS for at omdanne jernbanens centerlinje til punkter med koter.*

terne til jernbanens centerlinje placeret i. Rasterlaget kan nu anvendes til at tilføje en kote til punkterne, hvilket gøres med funktionen *drape (set Z value from raster)*, hvor Z-værdien fra rasterne bliver knyttet til punkterne. Til sidst bruges funktionen *add geometry attributes* til at tilføje de geometriske attributter i form af X-, Y- og Z-værdi til attributtabellen. Herefter kan filen gemmes som en shapefil og dermed anvendes i CloudCompare til det videre arbejde i kapitel 7.



Figur 6.4: *50 m af punktskyen sammen med GeoDanmarks jernbanelinje*

Da centerlinjen fra GeoDanmark lover en nøjagtighed på op til en meter vil der blive set på hvor godt den ligger i forhold til punktskyen. I figur 6.4 ses jernbanens centerlinje fra GeoDanmark sammen med en sektion af punktskyen på 50 m, hvorpå det kan ses at jernbanens centerlinje, som den hvide streg repræsentere, passer meget godt overens med jernbanesporet i punktskyen. Dette er ligeledes tilfældet for de andre sektioner der bliver anvendt i dette projekt.

KAPITEL 7

Definere skinner

I dette kapitel vil skinnerne i punktskyen blive fundet og derved vil der blive arbejdet med det første underspørgsmål til problemformuleringen: *'Hvordan kan skinnernes placering bestemmes?'*. Dette bliver gjort ved først at beskære punktskyen til kun at indeholde området lige omkring et sæt skinner. Derefter bliver skinnerne fundet i denne punktsky ved hjælp af scripts fra Cristian og Caluser [2018], som er rettet til for at passe til dette projekt.

Dette kapitel vil være delt op i forskellige afsnit som hver indeholder en del af processen. I afsnit 7.1 beskrives det hvordan punktskyen afgrænses ud fra jernbanens centerlinje fra GeoDanmark og bliver gjort klar til anvendelse i scriptene. I afsnit 7.2 vil skinnerne i den afgrænsede punktsky blive fundet ved hjælp af scriptene. Til sidst vil der i afsnit 7.3 blive set på udfordringer der er opstået undervejs i processen med at definere skinnerne.

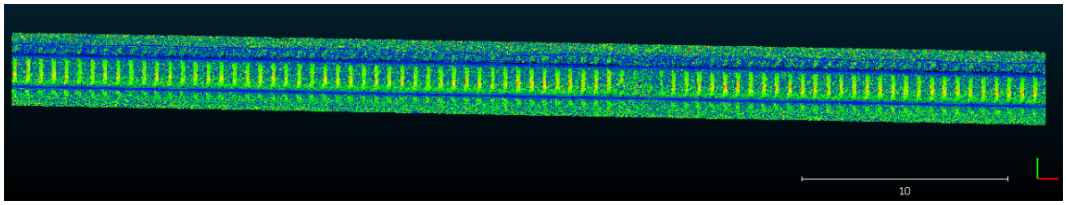
7.1 Anvendelse af jernbanens centerlinje til at begrænse punktskyen

Til begrænsning af punktskyen således at den kun indeholder området lige omkring skinnerne, anvendes jernbanens centerlinje fra GeoDanmark, som er lavet om til punkter i afsnit 6.2. Alle punkter i punktskyen der ligger indenfor en afstand på 1,75 m fra centerlinjen fra GeoDanmark bliver valgt. Afstanden på 1,75 m er valgt da sporbredden mellem skinnerne er 1435 mm og jernbanens centerlinje fra GeoDanmark har en nøjagtighed på op til 1 m. Den halve afstand mellem skinnerne er derfor lagt til 1 m og dette giver 1,72 m. Denne afstand er indenfor de 1,75 m og derfor skulle alle jernbaneskinner komme med i sorteringen, uanset om centerlinjen ligger op til 1 m skævt til den ene side.

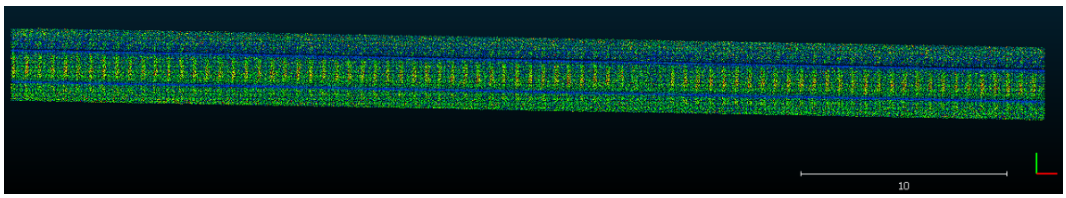
Denne begrænsning i punktskyen foregår i CloudCompare ved brug af funktionen *cloud to cloud distance*. Funktionen *cloud to cloud distance* beregner afstanden mellem to punktskyer, som i dette tilfælde er punktskyen, som er opryddet i kapitel 6, og punkterne langs centerlinjen fra GeoDanmark. Den beregnede afstand bliver tilknyttet som en værdi i en ny kolonne i attributtabellen. Disse værdier i attributtabellen kan efterfølgende blive anvendt til at eksportere de dele af punktskyen, som har en værdi på under 1,75, som er et udtryk for at punkterne er under 1,75 m fra centerlinjen fra GeoDanmark. Funktionen *cloud to cloud distance* er den funktion der har haft længest processeringstid i dette projekt. Det er også en funktion der har haft meget stor variation i hvor lang tid processen har taget. Processeringstiden er meget afhængig af computeren der anvendes til processen og i det indeværende projekt har processen været beregnet på en bærbar

computer, hvor det har taget alt mellem minutter for processen af nogle sektioner og op mod halv eller hel time for andre sektioner. Der har sågar været to sektioner hvor beregningen ikke blev fuldført på computeren, da CloudCompare stoppede med at svare.

Da punktskyen er meget tæt og derfor indeholder meget data vil den blive udtyndet inden skinnerne bliver trukket ud af skyen. Dette sker ved at danne en subcloud, som er et udtræk af punktskyen hvor der er minimum 5 cm indbyrdes afstand mellem punkterne. I figur 7.1 ses et eksempel på en punktsky og en subcloud for samme strækning. En subcloud bliver dannet for at effektivisere den efterfølgende proces. Denne sky er derefter klar til at blive anvendt i scriptene i det efterfølgende afsnit.



(a) *Punktsky*



(b) *Subcloud af punktskyen i figur 7.1a*

Figur 7.1: *Her ses punktskyen før og efter der bliver taget en subcloud til det videre brug.*

7.2 Finde skinnerne i punktskyen

Når punktskyen er beskåret til kun at dække 1,75 meter omkring jernbanens centerlinje og der er udtrukket en subcloud med 5 cm mellem punkter, er punktskyen klar til at blive behandlet i scriptene, hvor skinnerne bliver fundet. Disse scripts er fra et tidligere semesterprojekt af Cristian og Caluser [2018], og de er tilpasset for at passe til dette projekt. De tilpassede scripts kan ses i bilag C.

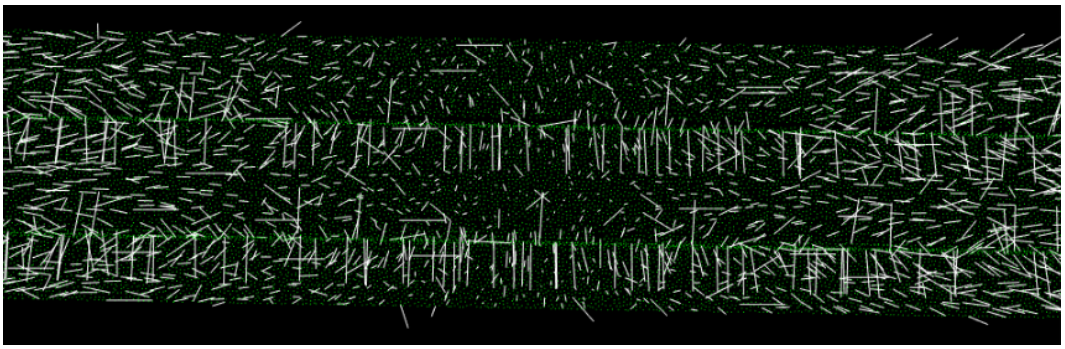
Først kommer dataene igennem scriptet *extract*, som ved hjælp af algoritmen region growing segmentation [pcl, 2019], placerer punkter med tilsvarende struktur i samme gruppe. Region growing segmentation fungerer ved at anvende vinklerne mellem punkternes normaler til at samle punkterne i grupper. Algoritmen fungerer ved først at sortere punkterne ud fra deres krumningsværdi, hvilket bliver gjort for at finde de punkter der er placeret i flade områder. Når punkterne er sorteret efter krumningsværdi tager algoritmen det punkt med mindste værdi og starter algoritmen her og de trin der sker er:

- Det valgte punkt er tilføjet til sættet kaldet 'seeds'

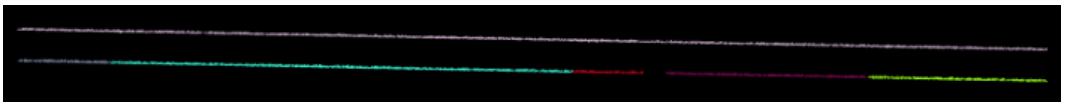
- For hvert 'seed' finder algoritmen alle nabopunkterne.
  - Hver nabopunkt er testet for vinklerne mellem dens normalvinkel og normalvinklen tilhørende 'seed'-punktet. Hvis værdien er mindre end tærskelværdien, tilføjes punktet til den nuværende gruppe.
  - Herefter testes alle nabopunkter for deres krumningsværdi. Hvis krumningsværdien er mindre end en tærskelværdi tilføjes punktet til 'seeds'
  - Nuværende 'seed' bliver fjernet fra sættet 'seeds'

Når der ikke er flere punkter i sættet 'seeds', betyder det at gruppen er færdig og processen begyndes forfra og danner en ny gruppe.

Normalerne der bliver produceret i scriptet *extract* kan ses i figur 7.2. Det er ud fra disse normaler skinnerne bliver fundet ved at punkterne bliver grupperet med samme struktur. De fundne skinner kan ses i figur 7.3, hvor hver farve repræsenterer en gruppe dannet i segmentationen, og alle grupperne vist på billedet er skinner.



Figur 7.2: *Normaler til punkter produceret i scriptet extract. Punktskyen ses ovenfra med grønne punkter og hvide normaler.*



Figur 7.3: *Grupper af punkter dannet i scriptet extract. Farverne repræsenterer hver en gruppe, mens alle grupperne tilsammen repræsenterer skinnerne.*

I scriptet *extract* bliver der dannet flere filer der til sammen danner skinnerne, før disse filer bliver arbejdet videre med, bliver de samlet til en fil. Denne fil bliver derefter kørt igennem scriptet *transform*, som anvender transformationsparametrene på punktskyen, således at skinnerne ligger parallel med y-aksen. Dette gør at det efterfølgende er nemmere at definere venstre og højre skinne, såvel som at danne tværsnit af skinnerne, som anvendes efterfølgende.

Da punktskyen skal roteres om z-aksen, således at skinnerne ligger parallel med y-aksen, skal rotationsvinklen beregnes. Dette gøres ved at anvende to punkter fra jernbanens centerlinje fra GeoDanmark, et punkt i hver ende af den punktsky der skal beregnes. Disse to punkter er illustreret med punkt A og punkt B i figur

7.4 og målet er at beregne vinkel $v_{rotation}$ som også kan ses i figur 7.4. Imellem disse to punkter (A og B) findes hældningen ud fra formlen:

$$a = \frac{y_B - y_A}{x_B - X_A}$$

Denne hældning a anvendes så til at beregne vinklen v ved:

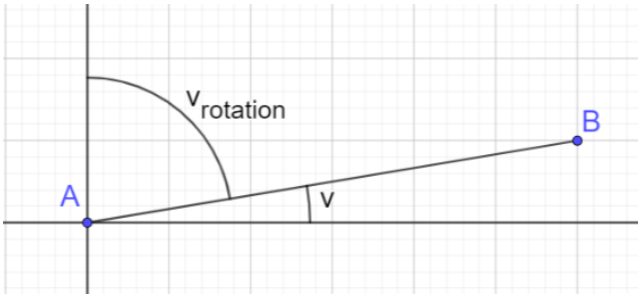
$$v = \arctan a$$

Derefter kan vinkel $v_{rotation}$ findes ved at trække vinkel v fra 90 grader og derved fås en samlet formel til beregning af rotationsvinklen $v_{rotation}$:

$$v_{rotation} = 90 - \arctan \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}$$

Eller udtrykt ved:

$$v_{rotation} = \arctan \frac{x_B - x_A}{y_B - y_A}$$



Figur 7.4: *Beregning af rotation der anvendes i scriptet transform*

I scriptet *transform* bliver den fundne rotationsvinkel anvendt til at beregne transformationsparametrene. Punktskyen bliver drejet om z-aksen med den værdi der bliver beregnet med formlen ovenfor og punktskyen bliver flyttet, så de kan ses i samme udsnit. Flytningen er ikke en nødvendighed for at kunne foretage de efterfølgende beregninger, men bliver anvendt for at den roterede punktsky ligger i nærheden af den oprindelige punktsky. Et eksempel på hvordan punkterne til skinnerne er placeret før og efter transformation kan ses i figur 7.5.

Når punktskyen er flyttet og roteret, så den ligger parallel med y-aksen, bliver scriptet *compute* anvendt, hvor punktskyen først bliver delt i venstre og højre skinne ved at dele punktskyen midt mellem den laveste og højeste x-værdi. Derudover bliver der i dette script dannet punkter langs de to skinner og ud fra disse punkter bliver der lavet kontrol af kvaliteten og punkterne bliver anvendt i det efterfølgende arbejde. I dette script er der mulighed for at vælge hvor store afstande der skal være mellem de tværsnit der bliver lavet af skinnerne til beregningen og det er muligt at vælge hvor brede tværsnittene skal være. Vi har til begge værdier valgt 0,5 m, da dette giver en del punkter at arbejde videre med efterfølgende

Figur 7.5: *Punktskyen der indeholder skinnerne bliver transformeret til at ligge parallel med y-aksen. Den transformerede punktsky er rød og den oprindelige punktsky er hvid.*

og samtidig er der nok punkter i hvert tværsnit til at lave beregningerne. Outputtet fra scriptet *compute* er både filer med punkter af skinnerne til det videre arbejde og en info-fil. I info-filen kan der blandt andet ses hvad spredningen er på afstanden mellem de to skinner, da afstanden mellem skinnerne i virkeligheden skal være 1435 mm og ud fra denne afstand findes afvigelserne og på disse afvigelser kan spredningen beregnes. En info-fil kan ses i bilag D.

Til beregning af spredning på afstanden mellem de to skinner er denne formel anvendt [Jensen, 2011, s. 98]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} d_i^2}{n}}$$

hvor d_i er afvigelserne mellem den sande afstand og den målte afstand mellem skinnerne og n er antallet af afstande anvendt i beregningen.

Ud fra bilag D kan det ses at der er en spredning på 0,017 m på afstanden mellem de to skinner, hvilket betyder at der er en spredning på dette datasæt på 1,7 cm. I bilag D kan det desuden ses hvor mange tværsnit der er beregnet og hvad værdierne er til henholdsvis venstre skinne, højre skinne og afvigelser mellem disse to.

Scriptet *compute* danner foruden tekstfilen, som nævnt også filer med koordinater til venstre skinne og højre skinne. Disse filer bliver efterfølgende kørt igennem scriptet *transform_reverse* for at anvende den inverse transformationsmatrix og få punkter tilbage i det originale koordinatsystem, så de kan anvendes til videre arbejde i punktskyen, hvor der skal afgrænses ud fra en UT-profil.

7.3 Udfordringer

Processen med at definere skinnerne i punktskyen er dog ikke forløbet uden vanskeligheder. Det har været nødvendigt at teste parametrene vedrørende de forskellige filtre, subcloud og rotation for de udvalgte strækninger, hvortil para-

metrene heller ikke er de samme i alle situationer. Der er udvalgt 6 strækninger, hvor det fra foranalysen vides at kontrolpunkter er placeret, til at sørge for at der reelt er genstande til stede, som kan blive opdaget i punktskyen. De forskellige strækninger i punktskyen som anvendes fremgår af de kommende tabeller sammen med information om spornummer, parametrene og resultaterne heraf. Spornumrene er henholdsvis spor 1 og spor 2, hvor spor 1 er det nordligste spor og spor 2 er det sydligste af de to spor hvor laserskanneren er kørt. Disse spornumre er tildelt sporene af projektgruppen og er kun gældende i dette projekt.

Ved spor 2 i både strækning 14075-14125 og strækning 14525-14575 har det ikke været muligt at beregne afstanden mellem GeoDanmarks centerlinje for jernbanen og punktskyen, hvilket har gjort at beregningen ikke er foregået for disse strækninger. Processen er forsøgt på 2 forskellige computere uden succes. Det er ydermere forsøgt at udtrække subclouds fra punktskyerne for efterfølgende at beregne 'cloud to cloud distance' på en punktsky med færre punkter, hvilket heller ikke er lykkedes. Hver gang der forsøges ender CloudCompare med ikke at svare og skal derfor genstartes.

Tabel 7.1 viser information vedrørende anvendelse af noise filter, subcloud samt strækning og hvilket spor der arbejdes i.

Strækning	**Noise filter (cm)**	**Spor (nr)**	**Subcloud (cm)**
14025-14075	1,5	1	6 + 7
	1,5	2	6 + 7
14075-14125	1,5	1	6
	-	2	-
14525-14575	1,5	1	6
	-	2	-
14575-14625	1,5	1	5
	1,5	2	6 + 7
15025-15075	1,5	1	5 + 6 + 7
	1,5	2	5 + 6 + 7
15075-15125	1,5	1	4 + 5 + 6 + 7
	1,5	2	4 + 5 + 6

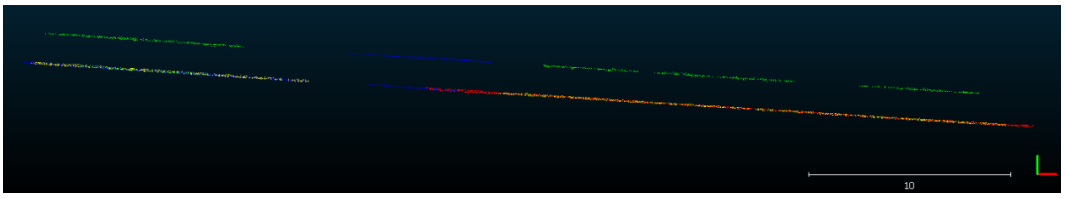
Tabel 7.1: *Tabellen viser de beregnede strækninger og hvilken værdi der er anvendt til funktionen noise filter. Derudover ses også hvilket spor der er udført beregninger på og hvilke værdier der er anvendt til at lave subcloud.*

I tabel 7.1 ses det at der er anvendt noise filter med en radius omkring punkterne på 1,5 cm, som beskrevet i kapitel 6, til at rydde ud i støj i punktskyen. Grunden til at der kun er valgt at anvende noise filter på 1,5 cm og ikke andre værdier, skyldes at der i nogle tilfælde enten forsvinder nødvendige punkter i punktskyen eller at der forbliver for meget støj, til at scriptet *extract* kan definere skinnerne.

Da scriptet *extract* arbejder ud fra en ensartethed, tyndes der ud i punktskyen ved at anvende subcloud, som sørger for at alle punkter har den samme minimumsafstand til hinanden. På den måde bibeholdes strukturen af punkterne, hvorved

scriptet *extract* stadig kan anvendes. Det har dog vist sig at det er nødvendigt med subclouds med forskellige minimumsafstande mellem punkterne, for at få mest muligt af skinnerne defineret på de forskellige strækninger. Så selvom nogle parametre er en succes på nogle strækninger, så er de ikke optimale på andre strækninger. Et eksempel på anvendelse af forskellige subclouds på en strækning fremgår af figur 7.6, hvor der i figur 7.6a er anvendt subcloud på 5 cm, og på figur 7.6b er der anvendt subcloud på 4 cm, 5 cm, 6 cm og 7 cm.

(a) *Dele af skinnerne der er fremkommet ved subcloud på 5 cm*

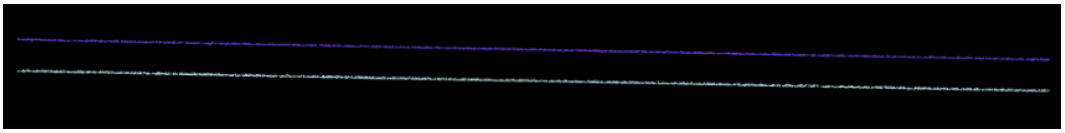


(b) *Subcloud på 4 cm (rød), 5 cm (gul), 6 cm (blå), og 7 cm (grøn)*

Figur 7.6: *Strækning 15075-15125 spor 1.*

Det ideelle resultat heraf vil være to skinner defineret i punktskyen, men som det fremgår af figur 7.6a hvor der er anvendt et subcloud niveau på 5 cm, så er der kun defineret en skinne i punktskyen, som tilmed er mangelfuld. Ændres subcloud niveauet til andre værdier, bliver andre og flere dele af skinnerne også defineret, og køres der med en subcloud værdi på 4, 5, 6 og 7 cm hvoraf resultatet sættes sammen, så kan der af figur 7.6b ses to skinner i punktskyen. Den røde farve viser de dele af skinnerne som er fremkommet med en subcloud værdi på 4 cm, den gule farve 5 cm, blå 6 cm og den grønne farve 7 cm. Situationen her, hvor der er anvendt fire typer af subclouds, er dog ikke tilfældet for alle strækninger, og er meget varierende i forhold til hvor mange forskellige og hvilke subcloud niveauer der skal anvendes, for at få defineret mest muligt af skinnerne i punktskyen.

En strækning hvor parametrene har fungeret godt og resultatet kan betragtes som ideelt er vist på figur 7.7. Her er skinnerne blevet fundet ved kun at anvende en subcloud og hver skinne er samlet i en gruppe i stedet for opdelt i flere grupper. Der er altså stor forskel på hvad der er gode parametre for de forskellige strækninger og dermed været rigtig svært i projektet at ensarte parametrene til de forskellige strækninger.



Figur 7.7: *Strækning 14575-14625 spor 1 og en subcloud på 5 cm.*

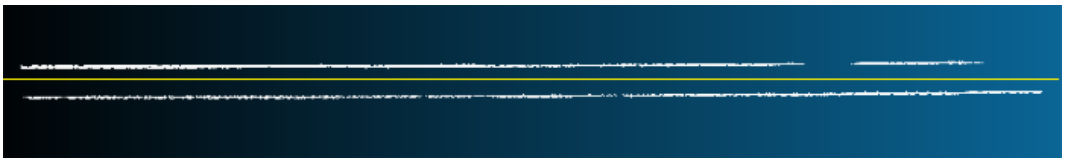
For at kunne anvende en linje i midten af sporet, hvorpå UT-profilet tiltænkes at tage udgangspunkt, skal der først ske en definition af midten af den højre og

den venstre skinne, som grundlag for beregning af spormidten i punktskyen. Før dette kan gøres, skal skinnerne transformeres således de ligger parallel med y-aksen, for at kunne definere en maksimum- og minimum-værdi i x-aksen, og derved definere skinnerne som henholdsvis højre og venstre skinne. Hvor meget hver strækning skal roteres for at den ligger parallel med y-aksen, kan ses i tabel 7.2.

Strækning	Noise filter (cm)	Spor (nr)	Subcloud (cm)	Rotation (grader)
14025-14075	1,5	1	6 + 7	91
	1,5	2	6 + 7	91
14075-14125	1,5	1	6	91
	-	2	-	-
14525-14575	1,5	1	6	91
	-	2	-	-
14575-14625	1,5	1	5	91
	1,5	2	6 + 7	91
15025-15075	1,5	1	5 + 6 + 7	94
	1,5	2	5 + 6 + 7	95
15075-15125	1,5	1	4 + 5 + 6 + 7	94
	1,5	2	4 + 5 + 6	95

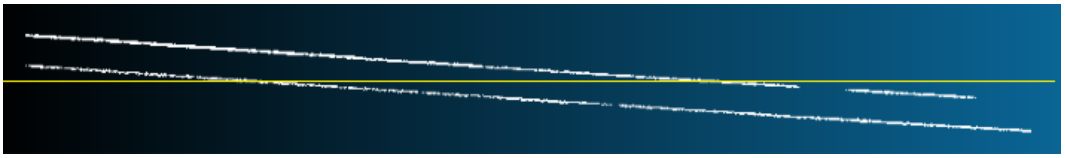
Tabel 7.2: *Udbygning af dataene i tabel 7.1. Her er bygget en kolonne på med de beregnede rotationer omkring z-aksen.*

Hvor meget skinnerne skal roteres for at ligger parallel med y-aksen, afhænger af skinnernes forløb og retning i punktskyen, hvorfor rotationsgraden også er forskellig for nogle af strækningerne. Rotationsgraden er vigtig i forhold til at definere højre og venstre skinne, og er denne forkert, kan der være risiko for ikke at få defineret dette korrekt og få hele skinnelængden med. På figur 7.8 ses en korrekt rotation på 95 grader, hvor den gule linjer repræsenterer midten, hvor ud fra højre og venstre skinne defineres.



Figur 7.8: *Strækning 15025-15075 spor 1. Rotation på 95 grader, hvor begge skinner bliver defineret. Figuren er roteret så y-aksen er mod højre og x-aksen er nedad.*

Figur 7.9 viser samme sæt skinner, men med en rotation på kun 91 grader. Her krydser begge skinner ind over midten i hver sin ende, hvilket medfører at der kun bliver defineret én skinne i begge ender, da alle punkterne vil blive kategoriseret til venstre skinne i den ene ene og i den anden ende er alle punkter kategoriseret som højre skinne.



Figur 7.9: *Strækning 15025-15075 spor 1. Rotation på 91 grader, som giver problemer i begge ender da de ikke ligger parallel med y-aksen. Figuren er roteret så y-aksen er mod højre og x-aksen er nedad.*

Til beregningerne af skinnerne i scriptet *compute* bliver der dannet tværsnit på hver 0,5 m. Da strækningerne der arbejdes med tilnærmelsesvis er 50 meter, vil en fuldt ud skinnelængde på en strækning medføre 99-100 tværsnitsberegninger. Tabel 7.3 viser antallet af tværsnit der er beregnet for hver strækning med skinner, samt spredningen på afstanden mellem skinnerne i forhold til den sande afstand på 1435 mm.

Strækning	Noise filter (cm)	Spor (nr)	Subcloud (cm)	Rotation (grader)	Tværsnit (antal)	Spredning (cm)
14025-14075	1,5	1	6 + 7	91	48	1,7
	1,5	2	6 + 7	91	100	1,5
14075-14125	1,5	1	6	91	99	2,4
	-	2	-	-	-	-
14525-14575	1,5	1	6	91	99	2,1
	-	2	-	-	-	-
14575-14625	1,5	1	5	91	100	1,7
	1,5	2	6 + 7	91	99	1,8
15025-15075	1,5	1	5 + 6 + 7	94	83	1,7
	1,5	2	5 + 6 + 7	95	58	2,5
15075-15125	1,5	1	4 + 5 + 6 + 7	94	72	1,8
	1,5	2	4 + 5 + 6	95	91	1,2

Tabel 7.3: *Udbygning af dataene i tabel 7.2. Her er tilføjet information om antal beregnede tværsnit ved anvendelse af scriptet compute og hvad spredningen er på afstanden mellem skinnerne.*

Af tabel 7.3 kan det ses at antallet af beregnede tværsnit er meget varierende. På strækning 14025-14075 spor 1 er der kun beregnet koordinater til skinnerne 48 gange ud af ca. 100 mulige. Det betyder altså at der på over halvdelen af skinnestrækningen ikke kan beregnes begge skinner og derudfra en spormidte, som er det, UT-profilen skal tage udgangspunkt i. Heldigvis er dette ikke tilfældet for alle strækninger. For selv samme strækning men i spor 2, er der foretaget beregning af tværsnit 100 gange, hvilket betyder, at det er muligt at definere en spormidte for hele skinnestrækningen. At der ikke er beregnet koordinater til begge skinner i alle tværsnit giver problemer ved at der efterfølgende ikke kan beregnes hvad der er placeret indenfor en profil, og derved vil det endelige resultat ikke være fyldestgørende.

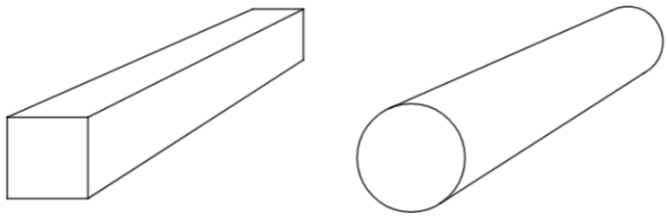
KAPITEL 8

Implementering af UT-profil

I kapitel 7 er skinnerne blevet defineret i punktskyen, hvorefter det er muligt at implementere UT-profilen i dette kapitel, for at finde genstande inden for dennes begrænsningslinje. Dette kapitel vil dermed arbejde med det andet underspørgsmål til problemformuleringen: *'Hvordan kan UT-profilen anvendes til afgrænsning i punktskyen?'*.

Fra foranalysens afsnit 3.2 *Fritrumsprofiler* vides det hvordan UT-profilen skal placeres på skinnerne, og fra figur 3.2 kendes målene for UT-profilen. En ideel løsning vil derfor også være at anvende disse eksakte mål for UT-profilen, men da programmet til behandling af punktskyen (CloudCompare) er et frit tilgængeligt program, er der også begrænset med funktioner heri. Dette har medført, at en eksakt kopi af UT-profilen ikke har været muligt at genskabe i punktskyen, hvorfor det har været nødvendigt at gå andre veje. Det næst bedste scenario vil være at benytte sig af en firkantet boks som erstatning, som vil dække højde og bredde målene for UT-profilen. Når firkanten bliver trukket ud langs skinnerne bliver det en meget lang 'tube', som det er illustreret til venstre i figur 8.1. Også ved denne mulighed har der været udfordringer med softwaren CloudCompare, da det heller ikke har været muligt at implementere en firkant som UT-profil.

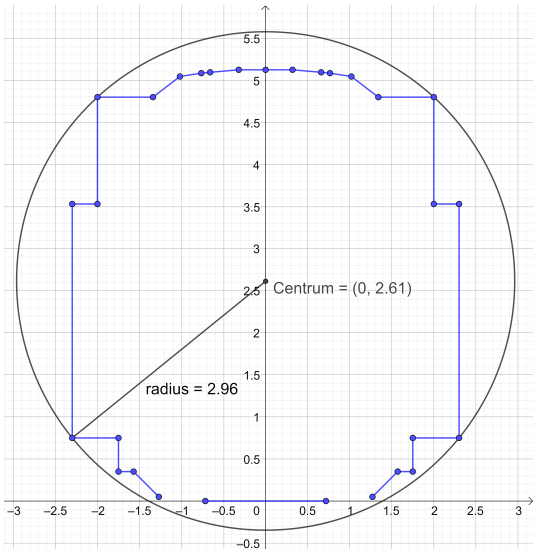
Den løsning der bliver arbejdet med i dette projekt er at lave en bufferzone ud fra en række punkter i skyen, hvorved der fås en cirkel som repræsenterer UT-begrænsningslinjen i form at et cylinder, som følger skinnernes forløb. Ved brug af en bufferzone i CloudCompare kan der beregnes en afstand i alle tre retninger, X, Y og Z, eller kun en af retningerne. Det er ikke muligt at beregne en afstand i to retninger samtidig, som for eksempel i både X og Y, hvorfor der ikke kan skabes en firkant som repræsentant for UT-profilen. Det er derfor valgt at gå videre med en cirkel som repræsentant for UT-profilen. Dette betyder også at der skal defineres en størrelse for cirklen, som dækker hele UT-profilen, samtidig med at der tages højde for overhøjden mellem skinnerne, der gør at UT-profilen vil hælde til den ene eller anden side som vist på figur 3.1 på side 9.



Figur 8.1: *Figuren illustrere forskellen på en fikant og en cirkel som bliver anvendt langs jernbanen og dermed bliver til en 'tube'.*

8.1 Cirklens størrelse

Til at bestemme cirklens størrelse, anvendes UT-profilen som skabelon, hvor der først forsøges at lave en bedst fit cirkel omkring UT-profilen. Figur 8.2 viser UT-profilen med en bedst fit cirkel omkring, hvor der ikke er medregnet nogen form for overhøjde mellem skinnerne. Det betyder også at cirklen i dette tilfælde, kun er anvendelig i situationer på lige strækninger uden overhøjde og under antagelse af at punktskyen er fejlfri.

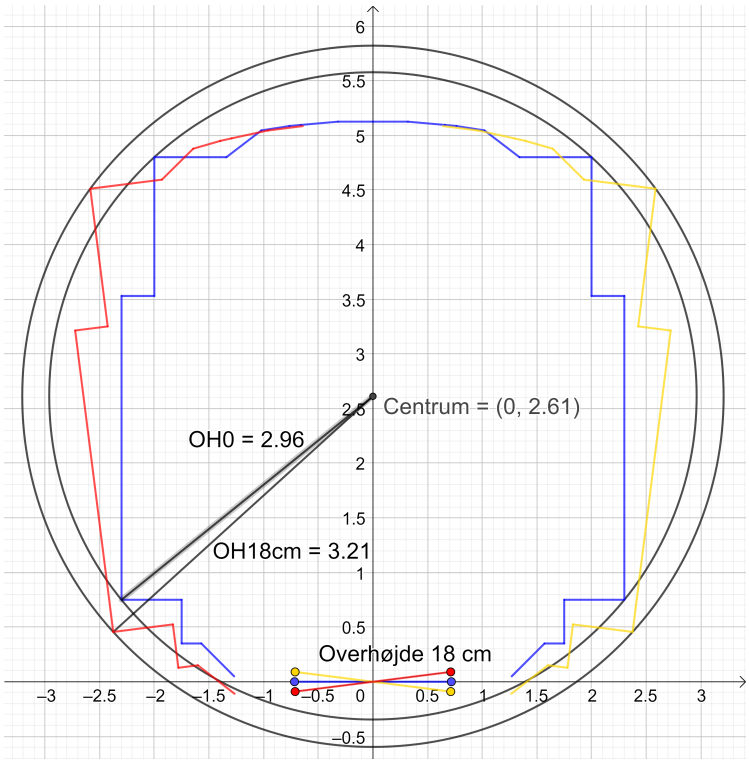


Figur 8.2: *UT-profil er afbildret i blå og en beregnet cirkel i sort til afgrænsning af punktskyen. De ses her illustreret i SO-planet.*

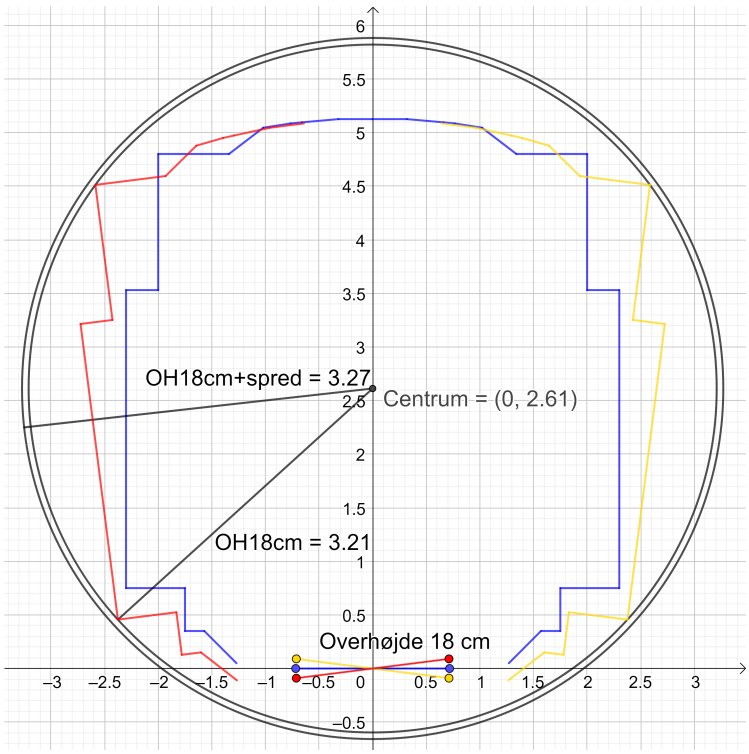
Ved at medregne overhøjden vil UT-profilen normalt få et tilt, til den ene eller anden side, men da der arbejdes med en cirkel, vil der ske skalering i forhold til overhøjden. Da overhøjden mellem skinnerne er forskellig, løses dette ved at skalere cirklen, så den passer til den maksimale overhøjde, som jf. Banedanmark [2017, s. 23] er 18 cm. På figur 8.3 er der tilføjet en cirklen, hvor der er medregnet en maksimal overhøjde på 18 cm. Hertil ses også to halve profiler i henholdsvis rød og gul, som illustrerer UT-profilens hældning til hver side, med en overhøjde på 18 cm. Det ses ud fra figur 8.3 at radius på cirklen er steget fra at være 2,96 m når overhøjden ikke er medregnet til nu at være 3,21 m, når overhøjden mellem skinnerne er medregnet. Beregning af cirklens radius med forskellig overhøjde mellem skinner kan gøres ved hjælp af det matlab script der er vedlagt i bilag E.

På figur 8.4 er cirklen blevet lidt større, med en radius på 3,27 m, da der er tilføjet en spredning for punktskyen til cirklen. Spredningen i punktskyen er på 2 cm, hvorfor det er valgt at tage udgangspunkt i denne, og lægge 3 gange spredning til cirklens radius, således skaleres cirklen med yderligere 6 cm.

Der er valgt at lave cirklen ud fra den maksimale overhøjde med tre gange spredning til punkterne i punktskyen, for at sikre at genstande som ligger inden for UT-profilen vil blive opdaget ved anvendelse af denne cirkel i punktskyen. Det vil dog betyde at cirklen i nogle tilfælde vil medtage genstande som reelt set ikke ligger inden for den originale UT-profil, men det er vurderet, at det er værd at få lidt for mange genstande med, kontra at få for lidt genstande med.



Figur 8.3: *UT-profil i blå, hvortil der er beregnet hvor meget UT-profilen tilter med en overhøjde på 18 cm. Disse ses i rød og gul med hældning til begge sider. Ud fra dette ses cirklen fra figur 8.2 og en ny beregnet cirkel, hvor overhøjden på 18 cm bliver dækket.*



Figur 8.4: *Samme inddeling som figur 8.3. I tillæg ses her en lidt større cirkel som tager højde for 3 gange spredning på 2 cm på punkterne i punktskyen.*

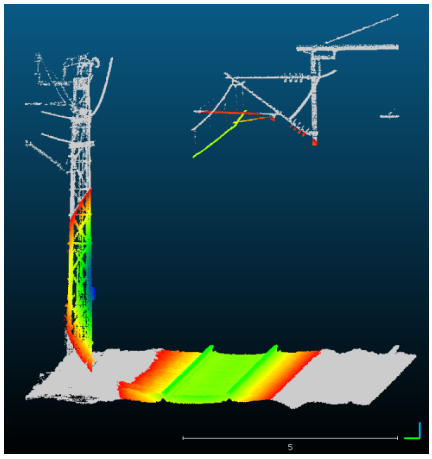
8.2 Beregning af cirklens centrum

Inden cirklen kan implementeres i punktskyen, skal der først beregnes punkter, hvor cirklen skal centreres omkring. Dette punkt er beregnet ved at finde spormidten, som et gennemsnit mellem koordinaterne til de to skinner og lægge 2,61 m til i højden. De 2,61 m lægges til i højden da dette er fundet til at være centrum for bedste fit cirkel i foregående afsnit.

Koordinaterne til cirklens centrum er beregnet i samme script som beregningen i foregående kapitel og kan ses i bilag C i scriptet *compute*. Her bliver koordinaterne beregnet og gemt i en pcd-fil, som efterfølgende bliver transformeret tilbage til samme koordinatsystem som punktskyen i scriptet *transform_reverse*.

8.3 Implementering af cirkel

Når centrum til cirklen er beregnet og punkterne er gemt i en fil for sig, kan denne hentes ind i CloudCompare og anvendes sammen med den fulde punktsky. Her bliver punkterne der repræsenterer cirklens centrum anvendt til at beskære punktskyen, så punkter der er længere væk i Y-retningen end 4 meter bliver skåret fra punktskyen. Dette kan gøres da jernbanens forløb er tæt på parallel med X-aksen, altså stort set kun øst-vest orienteret. Derefter bliver de punkter der er tilbage illustreret med farve der indikerer om punkterne er mere eller mindre end 3,27 m væk fra cirklens centrum. Alle punkter der er mere end 3,27 m væk er vist med grå og punkterne der er tættere på er vist med farver der viser hvor langt væk de er. På figur 8.5 ses en sektion hvor cirklen er implementeret. Punkter i punktskyen der med sikkerhed er for langt væk fra jernbanen er illustreret med grå og punkter der er tættere på end 3,27 m, og dermed skal undersøges, er illustreret i farve.



Figur 8.5: *Cirkel ses implementeret. Afstande til cirklens centrum over 3,27 meter er gråt og under 3,27 er farvet på en skala fra blå til rød.*

På samme måde som på figur 8.5 bliver punkterne, der repræsenterer cirklens centrum anvendt i de andre sektion, og i kapitel 9 vil genstande, der falder indenfor cirklen og dermed vist i farve blive udtaget og sammenlignet med eksisterende måling på strækningen med totalstation.

KAPITEL 9

Udpegning af genstande

I dette kapitel arbejdes der med det tredje underspørgsmål til problemformuleringen: *'Hvordan kan genstande udpeges i punktskyen indenfor UT-profilen?'*, da der i dette kapitel vil blive undersøgt hvor mange genstande der bliver fundet ud fra tilgangen i kapitel 8. De strækninger der vil blive undersøgt her er de samme strækninger som i kapitel 7, da der er arbejdet videre med de samme data.

Der vil i dette kapitel blive undersøgt hvilke genstande som detekteres, hvor meget af genstanden som ligger inden for UT-begrænsningslinjen, om det er muligt at genkende genstanden og hvordan stemmer koordinater til genstanden udtrukket fra punktskyen overens med dem der er målt med totalstation.

9.1 Genstande inden for UT-profilen

UT-profilen anvendes på strækninger og spor som fremgår af tabel 9.1. I tabel 9.1 ses derudover hvor mange tværsnit der er beregnet.

Strækning	Spor (nr)	Beregnede tværsnit (antal)
14025-14075	1	48
	2	100
14075-14125	1	99
14525-14575	1	99
14575-14625	1	100
	2	99
15025-15075	1	83
	2	58
15075-15125	1	72
	2	91

Tabel 9.1: *Strækninger og spor UT-profilen er anvendt på. Antal beregnede tværsnit er taget fra tabel 7.3 på side 45.*

Som omtalt tidligere, har antallet af beregnede tværsnit indflydelse på, hvor stor en del af strækningen det er muligt at beregne en spormidte til, hvorpå UT-profilen tager udgangspunkt. Det betyder også at i de tilfælde hvor der intet tværsnit er beregnet, har det heller ikke været muligt at anvende en UT-profil, hvormed der ikke kan ske en afgrænsning af genstande inden for UT-

begrænsningslinjen. Dette er selvfølgelig ikke et ønskelig scenario, da det netop er hovedformålet at detektere genstande ved hjælp af UT-profilen, for at vurdere om det er muligt at usædvanlig transport kan passere på strækningen, men det har ikke været muligt på nuværende tidspunkt at afhjælpe dette problem.

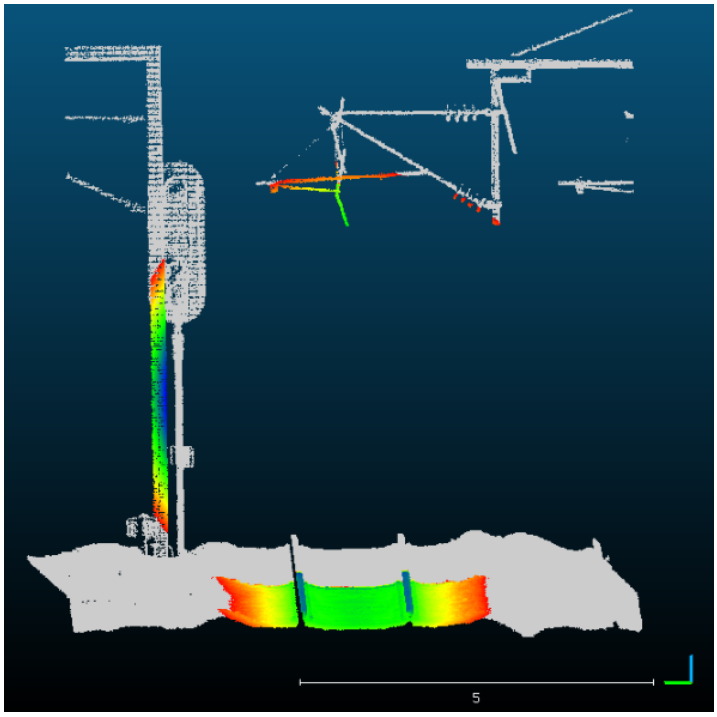
9.1.1 Strækning 14025-14075

Figur 9.1 viser UT-profilen anvendt på spor 1 på strækning 14025-14075, og allerede her opstår en situation, hvor der kun er beregnet en spormidte til knap halvdelen af strækningen.

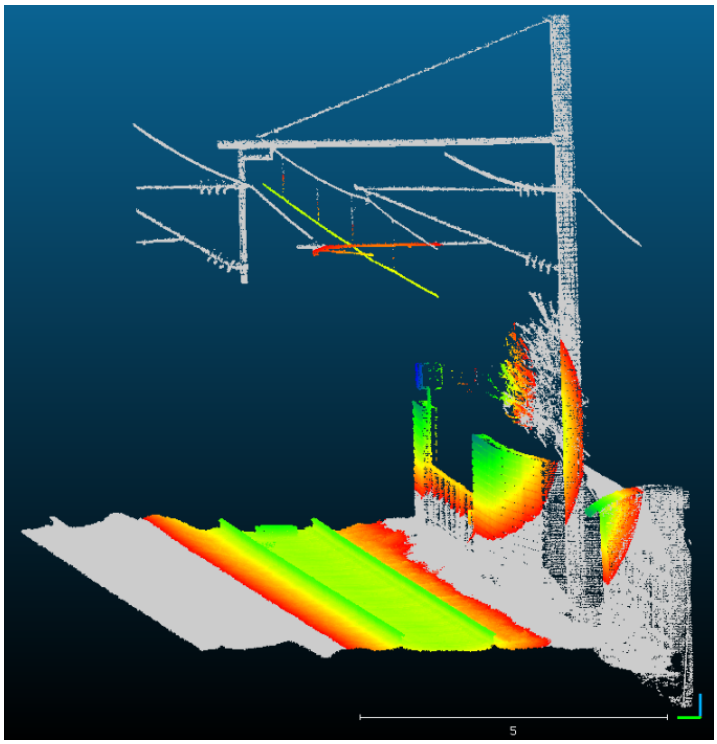
Det har også resulteret i at genstande som ligger indenfor UT-begrænsningslinjen ikke er blevet detekteret. Det som er markeret med farve i figur 9.1 indikerer at dette ligger inden for UT-begrænsningslinjen. De forskellige farver viser hvor langt fra centrum af UT-profilen genstanden befinder sig, hvor blå i dette tilfælde er 2,62 m fra centrum og rød er 3,27 m fra centrum. Figur 9.1 ses forfra parallelt med skinnerne. Her ses det at kun halvdelen af skinnernes er detekteret af UT-profilen. Ligeledes kan der ses et signal, som står tættere på skinnerne end masten, men som modsat masten ikke er blevet detekteret. Dette skyldes som nævnt at der på grund af manglende tværsnit, ikke har været muligt at definere en spormidte, hvorpå UT-profilen kan placeres, og dermed anvendes i punktskyen. Det er besluttet ikke kun at vise hvad der detekteres i punktskyen, men at vise alt hvad der ligger inden for 4 m i Y-retningen af spormidten. På den måde er det muligt at genkende genstanden som detekteres inden for UT-begrænsningslinjen. Var der f.eks. kun vist den del af masten, som er markeret med farve, så havde det ikke været muligt at identificere genstanden. Ved at gøre dette opfyldes kravet også fra afsnit 3.1.3 om at genstande skal være observeret med tilstrækkeligt nok punkter, således det er muligt at danne et omrids af genstanden.

På spor 2 på samme strækning som ses i figur 9.2 er der beregnet 100 tværsnit, hvorfor det også har været muligt at anvende UT-profilen på hele denne strækning.

Figur 9.2 er taget skråt ind på skinnerne, for bedre at kunne se det som opfanges af UT-profilen i højre side. Det kan ses at hele strækningen er med denne gang, modsat i spor 1 (figur 9.1). Samtidig er der også detekteret en mast i højre side, og noget som ligner rækværk af en art, samt køreledninger i toppen af figuren. Den samme farveskala er anvendt her, hvor blå ligger 2,30 m fra centrum af UT-profilen, og den røde farve ligger 3,27 m fra UT-profilens centrum. At farveværdierne her ikke er de samme som i figur 9.1, hvor blå var 2,62 m skyldes at der ikke tages udgangspunkt i nul, i forhold til farverne, men at farveskalaen først starter ud fra det punkt, der ligger tættest på cirklens centrum. Det betyder at farverne ikke repræsenterer faste værdier, hvorfor blå vil have forskellige værdier på de kommende figurer og dermed vil farveskalaen blive strukket forskelligt.



Figur 9.1: *Implementering af cirkelafgrænsning på strækning 14025-14075 spor 1. Farverne på figuren viser afstanden fra punktet til cirklens centrum. Rød er 3,27 m fra centrum og blå er 2,62 m fra centrum.*

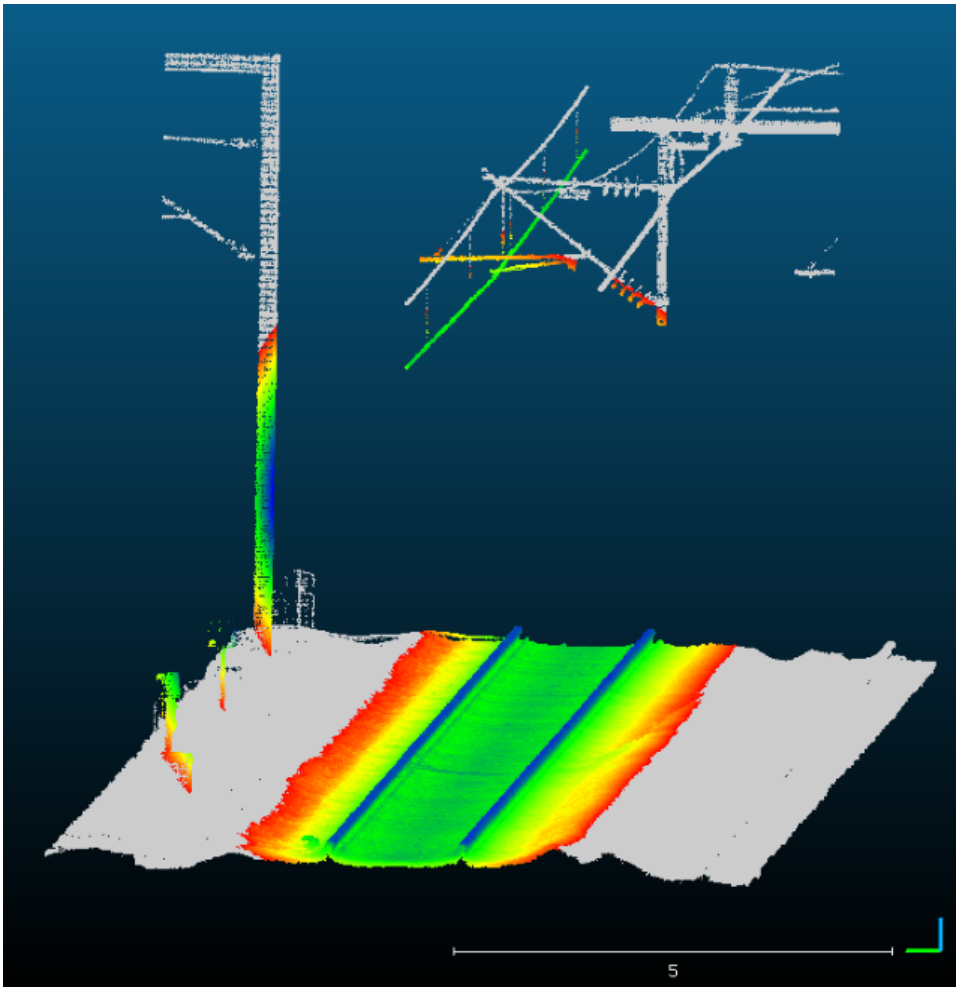


Figur 9.2: *Implementering af cirkelafgrænsning på strækning 14025-14075 spor 2. Farverne på figuren viser afstanden fra punktet til cirklens centrum. Rød er 3,27 m fra centrum og blå er 2,30 m fra centrum.*

9.1.2 Strækning 14075-14125

Den næste strækning som UT-profilen er blevet anvendt på, er strækning 14075-14125. Her er det kun lykkes at anvende UT-profilen på spor 1, da det som beskrevet i afsnit 7.3 ikke var muligt at beskære punktskyen med Geodanmarks centerlinje for jernbanen på spor 2. Der er beregnet 99 tværsnit på spor 1 og strækningen kan ses i figur 9.3.

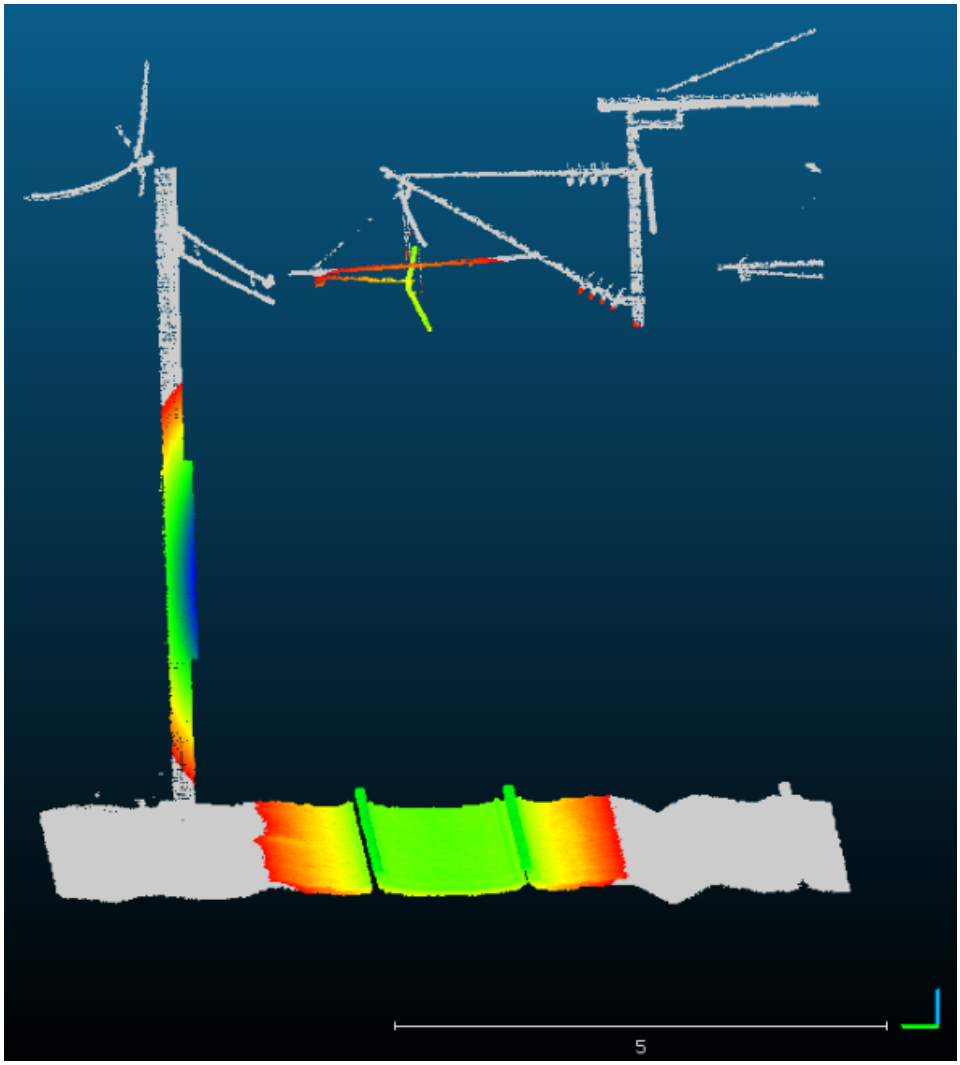
I figur 9.3 ses det at hele strækningen er med, og at der er detekteret genstande i venstre side af figuren, hvor en af dem ligner en mast. Igen er køreledningerne også med her. Den mindste afstand til en genstand er her på 2,66 m, som vises med den blå farve.



Figur 9.3: *Implementering af cirkelafgrænsning på strækning 14075-14125 spor 1. Farverne på figuren viser afstanden fra punktet til cirklens centrum. Rød er 3,27 m fra centrum og blå er 2,66 m fra centrum.*

9.1.3 Strækning 14525-14575

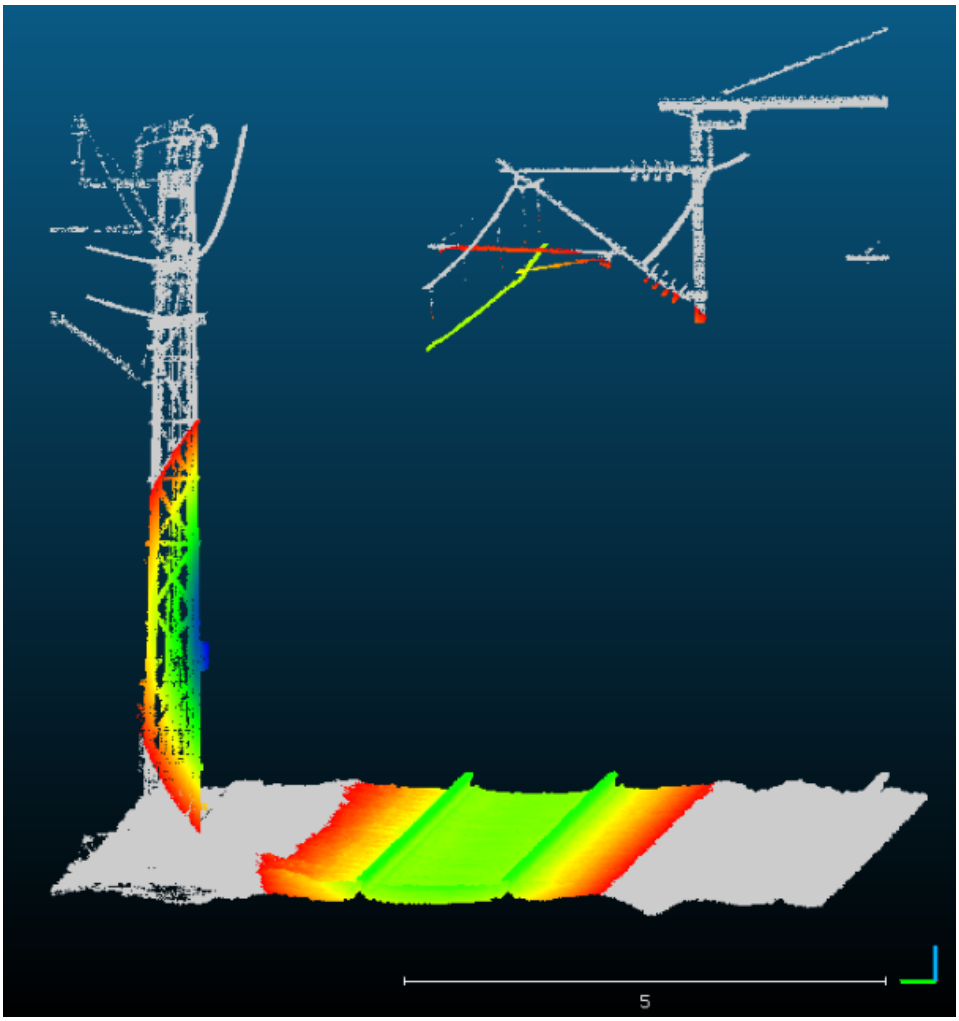
På strækning 14525-14575 har det ligeledes kun været muligt at anvende UT-profilen på spor 1, som kan ses i figur 9.4. Her er det lykkes at beregne 99 tværsnit, og det kan ses at UT-profilen er blevet kørt på hele strækningen. Der er igen detekteret køreledninger og i venstre side, er der detekteret en mast. Den mindste afstand til en genstand fra centrum af UT-profilen er her 2,45 m.



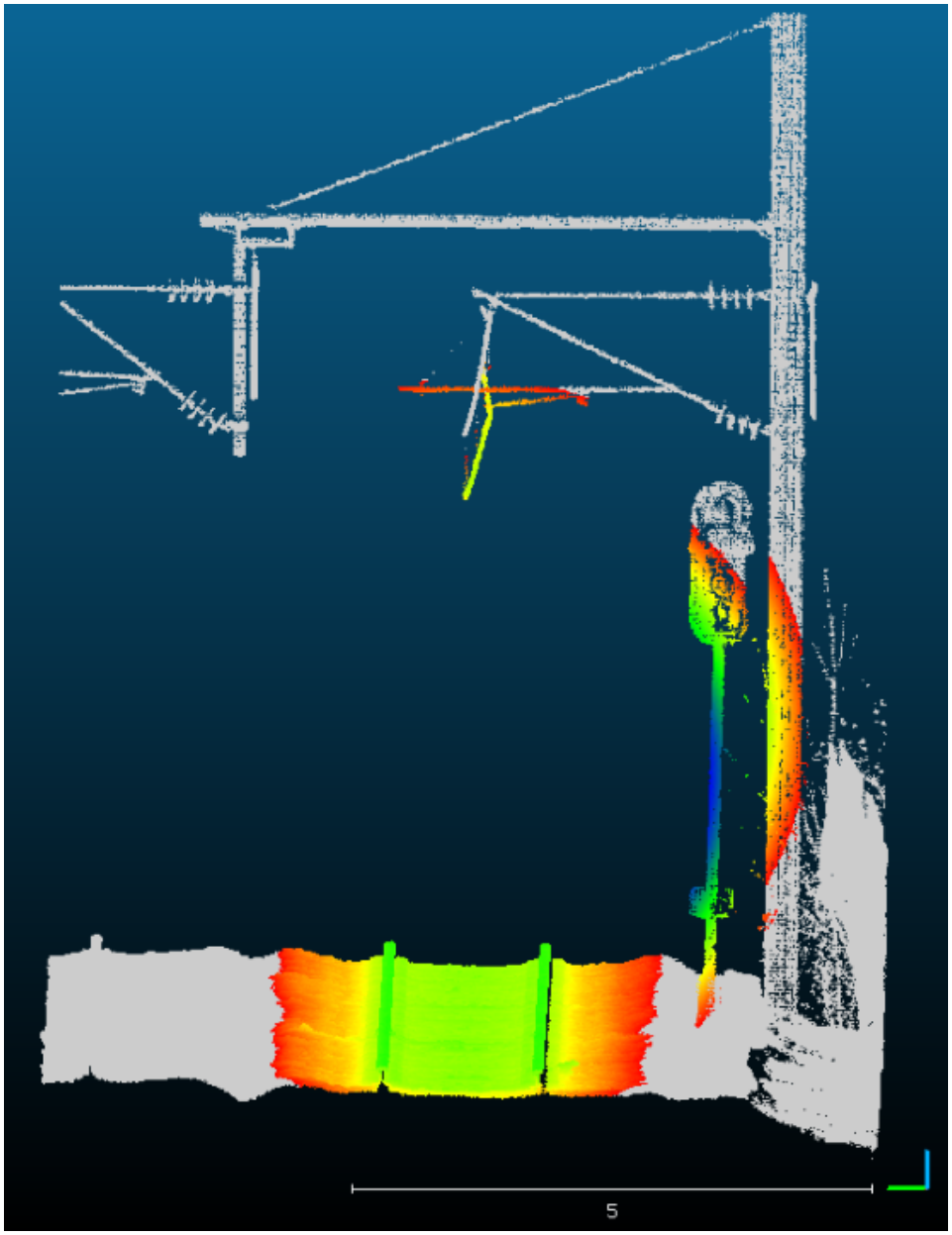
Figur 9.4: *Implementering af cirkelafgrænsning på strækning 14525-14575 spor 1. Farverne på figuren viser afstanden fra punktet til cirklens centrum. Rød er 3,27 m fra centrum og blå er 2,45 m fra centrum.*

9.1.4 Strækning 14575-14625

På strækning 14575-14625 er UT-profilen anvendt på både spor 1 og spor 2. Her er det lykkes at få henholdsvis 100 tværsnit beregnet for spor 1 og 99 tværsnit for spor 2, hvilket betyder at UT-profilen er anvendt på hele strækningen i begge tilfælde. Figur 9.5 viser spor 1, hvor der er detekteret køreledninger og en mast i venstre side. Den mindste afstand til en genstand er 2,39 m. Figur 9.6 viser spor 2 hvor der også er detekteret køreledninger, samt et signal og en mast i højre side. Mindste afstanden til en genstand er her på 2,34 m.



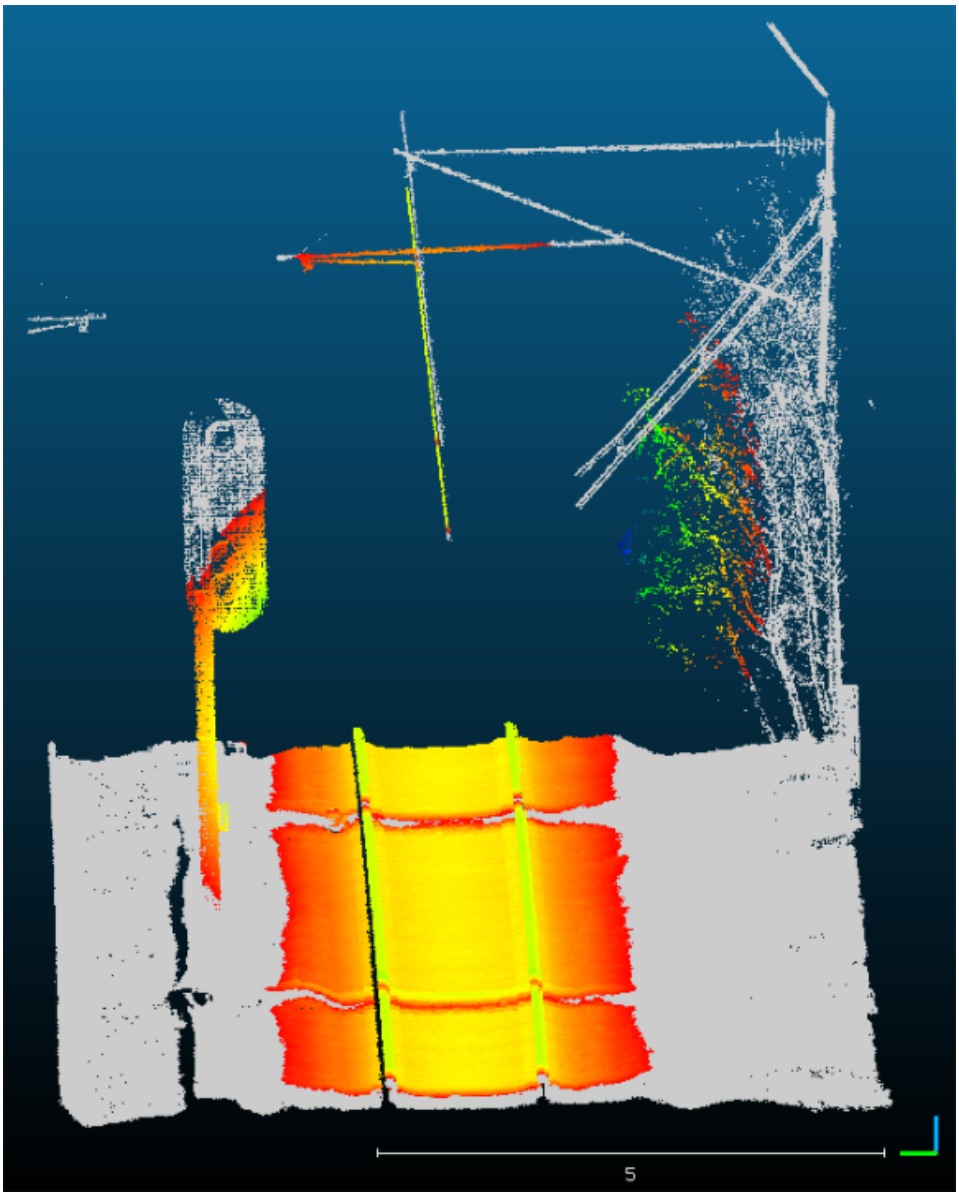
Figur 9.5: *Implementering af cirkelafgrænsning på strækning 14575-14625 spor 1. Farverne på figuren viser afstanden fra punktet til cirklens centrum. Rød er 3,27 m fra centrum og blå er 2,39 m fra centrum.*



Figur 9.6: *Implementering af cirkelafgrænsning på strækning 14575-14625 spor 2. Farverne på figuren viser afstanden fra punktet til cirklens centrum. Rød er 3,27 m fra centrum og blå er 2,34 m fra centrum.*

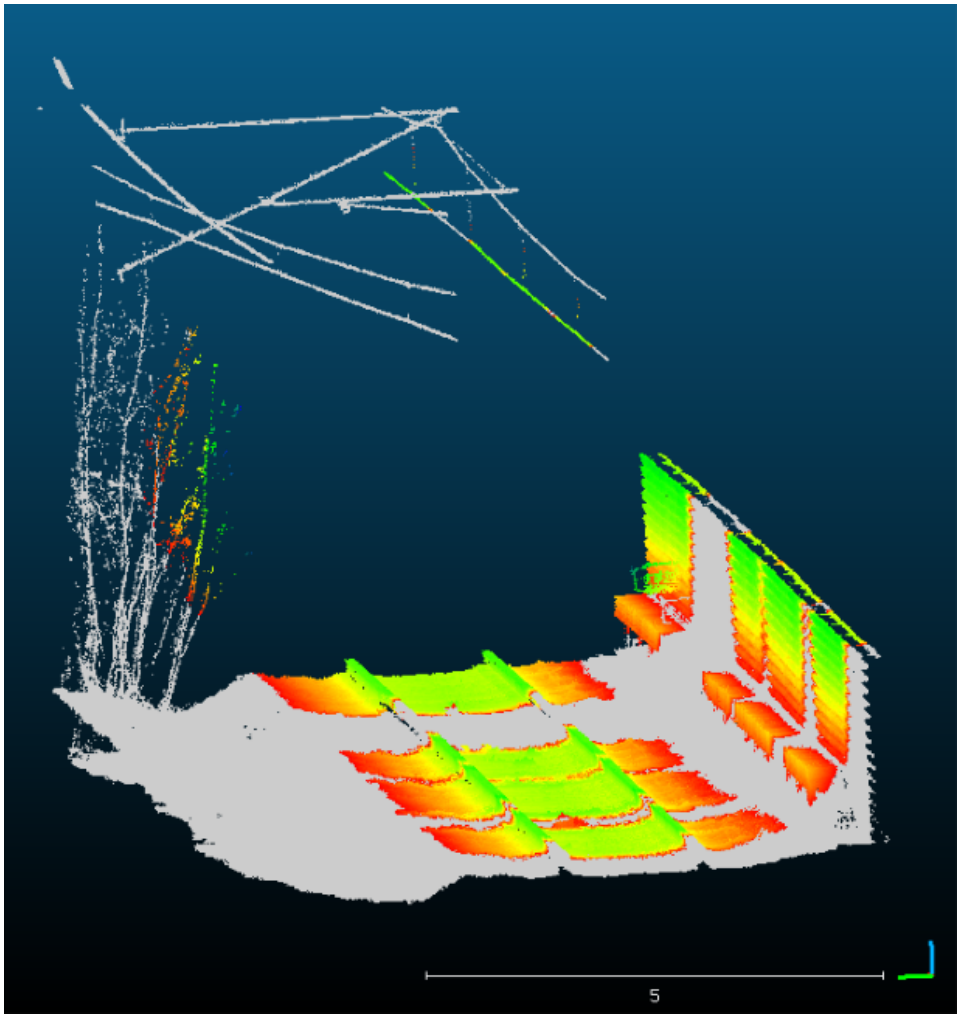
9.1.5 Strækning 15025-15075

For strækning 15025-15075 er UT-profilen også anvendt på spor 1 og spor 2. Ved spor 1 er der beregnet 83 tværsnit, hvilket betyder at det ikke har været muligt at anvende UT-profilen på hele strækningen. Resultatet af UT-profilen anvendt på spor 1 kan ses i figur 9.7. Her kan det ses, at der langs skinnerne er steder med grå farve, hvilket skyldes at der ikke har været beregnet nogle punkter for cirklens centrum disse steder. Dette forårsager at hvis det havde været genstande langs jernbanen ud for disse steder var de ikke blevet fundet. Der er detekteret køreledninger i toppen af figuren, vegetation i højre side og et signal i venstre side.



Figur 9.7: *Implementering af cirkelafgrænsning på strækning 15025-15075 spor 1. Farverne på figuren viser afstanden fra punktet til cirklens centrum. Rød er 3,27 m fra centrum og blå er 1,87 m fra centrum.*

På spor 2 er der kun beregnet 58 tværsnit, hvilket vil sige at UT-profilen ikke har været anvendt på ca 42 % af strækningen. Ses der på figur 9.8 er det også tydeligt ud fra de grå felter på skinnerne, at UT-profilen ikke har været anvendt der. Havde der nu været en genstand et af disse steder, var denne ikke blevet detekteret. De steder hvor UT-profilen er anvendt, er der detekteret rækværk i højre side af en art, og vegetation i venstre side.

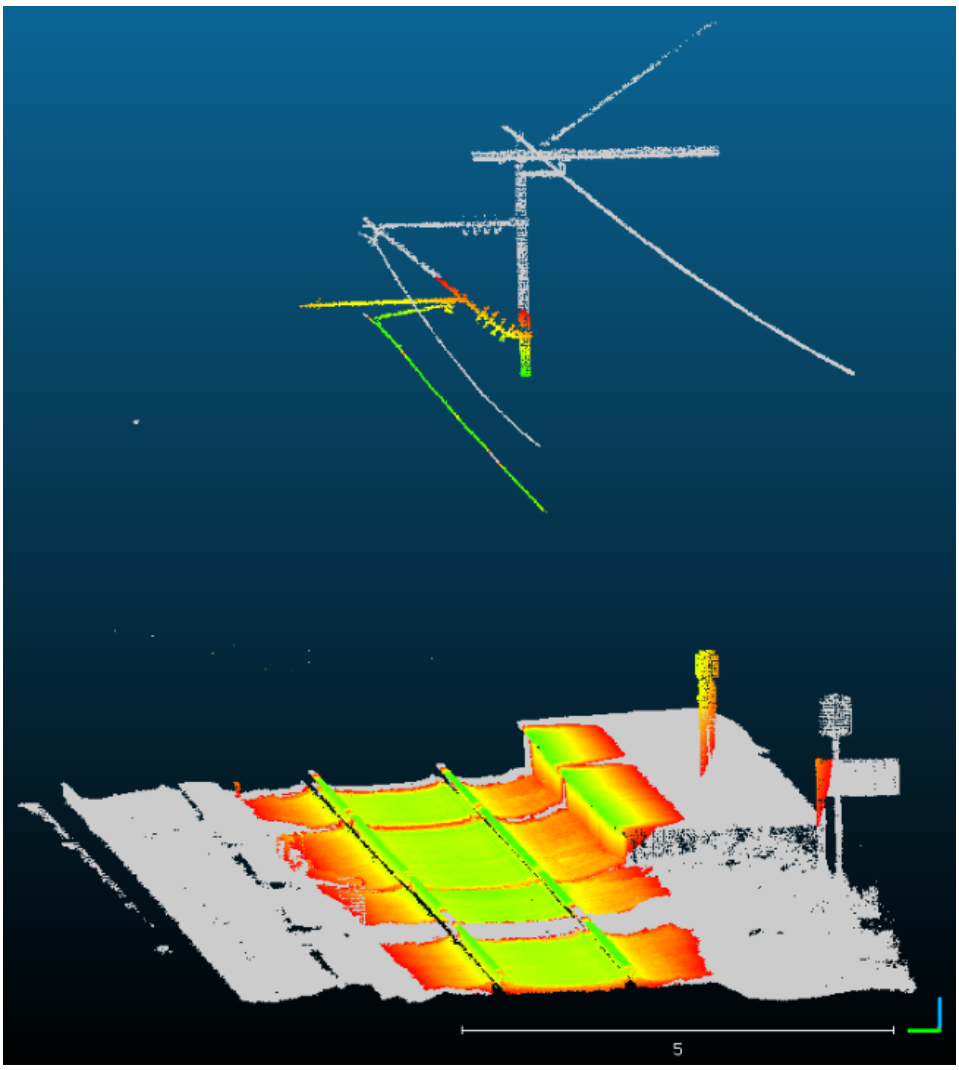


Figur 9.8: *Implementering af cirkelafgrænsning på strækning 15025-15075 spor 2. Farverne på figuren viser afstanden fra punktet til cirklens centrum. Rød er 3,27 m fra centrum og blå er 2,31 m fra centrum.*

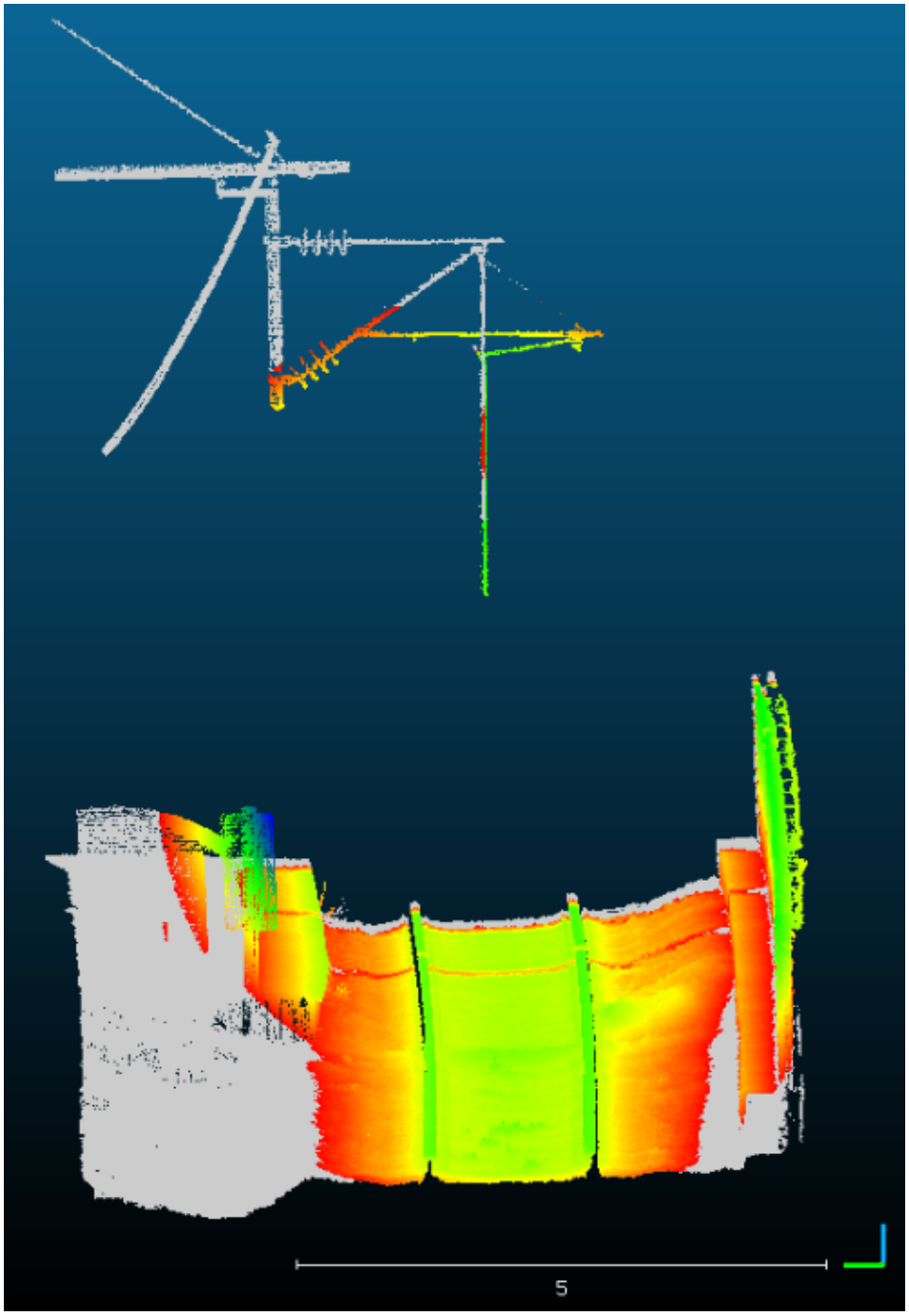
9.1.6 Strækning 15075-15125

For den sidste strækning 15075-15125 er UT-profilen blevet anvendt på spor 1 og spor 2. For spor 1 er der beregnet 72 tværsnit og for spor 2 er der beregnet 91 tværsnit. Figur 9.9 viser spor 1, hvor der er detekteret perronkant og to små genstande i højre side, samt køreledninger i toppen. Her kan det igen ses, hvilke steder af strækningen UT-profilen ikke har været anvendt.

Figur 9.10 viser spor 2, hvor UT-profilen er blevet anvendt på omtrent 91 % af strækningen. Her er der detekteret perronkant i venstre side, en form for rækværk i højre side, ukendte genstande i ventre side og igen køreledninger i toppen. Mindste afstanden til en genstand fra UT-profilens centrum er 2,25 m.



Figur 9.9: *Implementering af cirkelafgrænsning på strækning 15075-15125 spor 1. Farverne på figuren viser afstanden fra punktet til cirklens centrum. Rød er 3,27 m fra centrum og blå er 2,25 m fra centrum.*



Figur 9.10: *Implementering af cirkelafgrænsning på strækning 15075-15125 spor 2. Farverne på figuren viser afstanden fra punktet til cirklens centrum. Rød er 3,27 m fra centrum og blå er 2,25 m fra centrum.*

9.1.7 Oversigt over fundne genstande

Af de strækninger og spor hvorpå UT-profilen er blevet anvendt, er der blevet fundet 22 genstande, hvoraf 9 betegnes som ukendt, da det ikke vides hvad genstanden er ud fra kun at se i punktskyen. Genstande som køreledninger er ikke medtaget. I tabel 9.2 ses hvor mange genstande der er fundet og på hvilke strækninger og spor de befinder sig.

Strækning	Spor	Genstande detekteret
14025-14075	1	Mast, signal
	2	Mast, ukendt, ukendt, ukendt
14075-14125	1	Mast, ukendt, ukendt
14525-14575	1	Mast
14575-14625	1	Mast
	2	Signal, mast
15025-15075	1	Signal
	2	Rækværk
15075-15125	1	Perron, ukendt, ukendt
	2	Rækværk, perron, ukendt, ukendt

Tabel 9.2: *Oversigt over hvilke genstande der er fundet i punktskyen og på hvilke strækninger og spor.*

9.2 Sammenligning af genstande

I dette afsnit vil der ske en sammenligning af genstandene fundet i punktskyen ved hjælp af UT-profilen, og de genstande som er blevet observeret med totalstation på samme strækning. Derved fås et overblik over om der detekteres de samme genstande i punktskyen, som der måles med totalstation, og hvilke ekstra genstande som er kommet med på baggrund af at cirklen tager mere med end UT-profilen. At der er fundet flere genstande i punktskyen end med totalstation, er ikke ensbetydende med, at disse genstande nødvendigvis ligger inden for den faktiske UT-begrænsningslinje, da der til størrelsen af den anvendte cirkel er medregnet en overhøjde mellem skinnerne på 18 cm, samt 3 gange spredning på punkterne i punktskyen, hvor 1 gange spredningen er 2 cm. Det svarer altså til at cirklen der anvendes til at repræsentere UT-profilen er 24 cm for stor i nogle tilfælde og generelt tager cirklen mere med end hvis en eksakt kopi af UT-profilen havde været anvendt. De forskellige genstande som er fundet i punktskyen og dem fundet med totalstation kan ses i tabel 9.3.

Ved strækning 14025-14075, spor 1, er der observeret et signal med totalstationen og i punktskyen en mast. Grunden til dette skyldes at UT-profilen ikke kunne anvendes på hele strækningen, hvorfor der heller ikke blev detekteret noget signal. Men hvis der ses på figur 9.1 på side 53, er det tydeligt at se et signal, og også at dette signal står tættere på skinnerne end masten. Så havde det været muligt at anvende UT-profilen på hele strækningen, må det også antages at signalet var blevet markeret som beliggende inden for denne. Dette signal er derfor medtaget i tabel 9.3 og i resten af kapitlet.

Strækning	Spor (nr)	Genstande (totalstation)	Genstande (punktsky)
14025-14075	1	Signal	Mast, signal
	2	-	Mast, ukendt, ukendt, ukendt
14075-14125	1	-	Mast, ukendt, ukendt
14525-14575	1	-	Mast
14575-14625	1	-	Mast
	2	Signal	Signal, mast
15025-15075	1	Signal	Signal
	2	-	Rækværk
15075-15125	1	Mærke	Perron, ukendt, ukendt
	2	Mærke, mærke	Rækværk, perron, ukendt, ukendt

Tabel 9.3: *Genstande fundet i punktskyen og genstande opmålt med totalstation.*

Ved spor 2 er der kun fundet genstande i punktskyen, og ikke observeret nogle i marken. Det samme gælder for spor 1 på strækning 14075-14125, 14525-14575 og 14575-14625, hvor det også kun er i punktskyen der er detekteret genstande. Ved spor 2 på strækning 14575-14625 er der både observeret et signal med totalstation, og detekteret et signal i punktskyen. I tillæg er der også markeret en mast i punktskyen. På strækning 15025-15075 er der i spor 1, fundet et signal i begge situationer, og ved spor 2 er der kun fundet noget i punktskyen. For den sidste strækning 15075-15125 er der i spor 1 observeret et mærke med totalstation, og perron samt to genstande af typen ukendt i punktskyen. I spor 2 er der observeret to genstande af typen mærke med totalstation, og i punktskyen er der detekteret rækværk, perron og to genstande af typen ukendt. Der er altså observeret og fundet genstande med både totalstationen og i punktskyen, hvor det ikke vides om der er overlab mellem mærke målt med totalstation og det der i punktskyen ikke kunne defineres og derfor er ukendt.

9.3 Genkendelse af genstande

Det er valgt at vise alle punkter i punktskyen indenfor en afstand af 4 meter i Y-retningen fra spormidten, således det er muligt at få illustreret genstande med et omrids. Det kan dog stadig være svært at identificere hvad genstanden er. Dette har også været tilfældet i nogle situationer, hvor genstande som er fundet i punktskyen, er benævnt som ukendt. For at afhjælpe denne problematik, inddrages de 360 graders billeder, som er blevet taget sammen med laserskanningen. På den måde er det muligt at se hvordan genstanden og strækningen ser ud i marken. I tabel 9.4 er der tilføjet en kolonne benævnt 'Billede'. Her er der ud for hver strækning og spor, som UT-profilen er anvendt på, henvist til et billede i bilag F, som viser den fysiske situation i marken. I bilag F er der til hvert billede tilknyttet et direkte link til hvor det er muligt at panorere rundt i billedet.

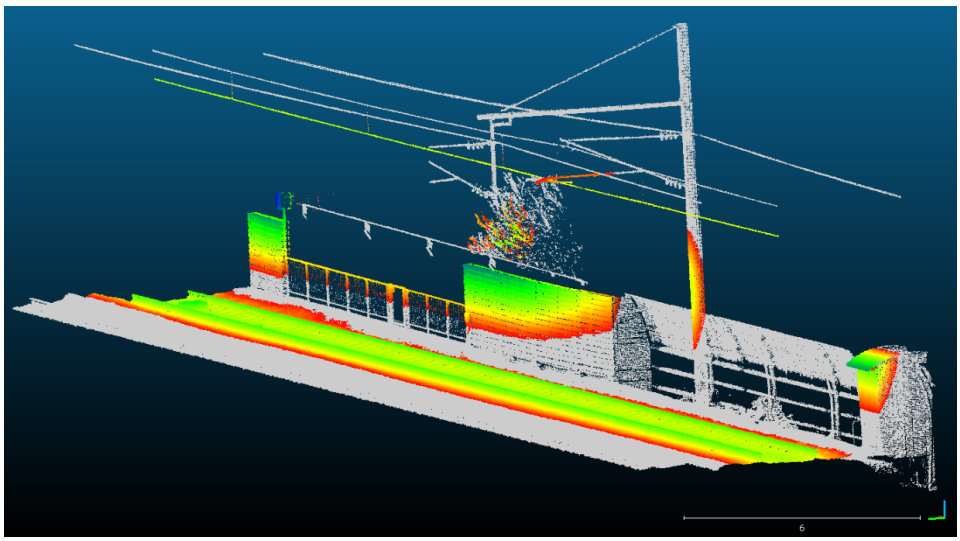
Strækning	**Spor (nr)**	**Genstande (totalstation)**	**Genstande (punktsky)**	**Billede (figur nr.)**
14025-14075	1	Signal	Mast, signal	F.1
	2	-	Mast, ukendt, ukendt, ukendt	F.2
14075-14125	1	-	Mast, ukendt, ukendt	F.3
14525-14575	1	-	Mast	F.4
14575-14625	1	-	Mast	F.5
	2	Signal	Signal, mast	F.6
15025-15075	1	Signal	Signal	F.7
	2	-	Rækværk	F.8
15075-15125	1	Mærke	Perron, ukendt, ukendt	F.9
	2	Mærke, mærke	Rækværk, perron, ukendt, ukendt	F.10

Tabel 9.4: *Oversigt over de fundne genstande med totalstation og i punktskyen. Derudover er der henvisning til billeder i bilag F, som viser de respektive strækninger.*

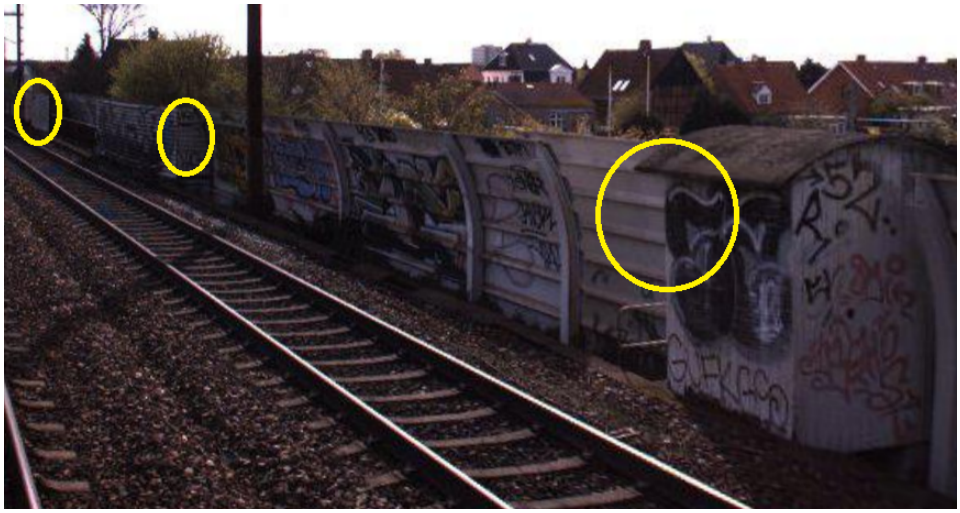
Ved hjælp af billederne kan der foretages en sammenligning og vurdering af genstandene i punktskyen, for derved at fastslå hvad type genstanden er. Opstår der mangler eller problemer med punktskyen, er billederne hertil også et muligt redskab, da sandsynligheden for at noget ikke fremgår af billederne er markant mindre. Er tilfældet da at der stadig ikke kan træffes en beslutning om genstandens type ud fra et billede, må næste træk være at opsøge genstanden fysisk.

9.3.1 Strækning 14025-14075 spor 2 - 3 ukendte genstande

Ved strækning 14025-14075 spor 2 er der fundet 3 genstande benævnt ukendt. Hvis billederne inddrages er det dog muligt at matche genstandene fundet i punkskyen, med genstande som kan ses i de billeder, som er taget samtidig med laserskanningen. I figur 9.11 ses de 3 genstande i punktskyen som er benævnt ukendt, og figur 9.12 viser samme strækning bare ud fra et billede. Sammenlignes de to figurer, matcher den første ukendte genstand, hvad der ligner en bygning, de to næste ukendte genstande kan begge matches, med hvad der må antages at være rækværk.



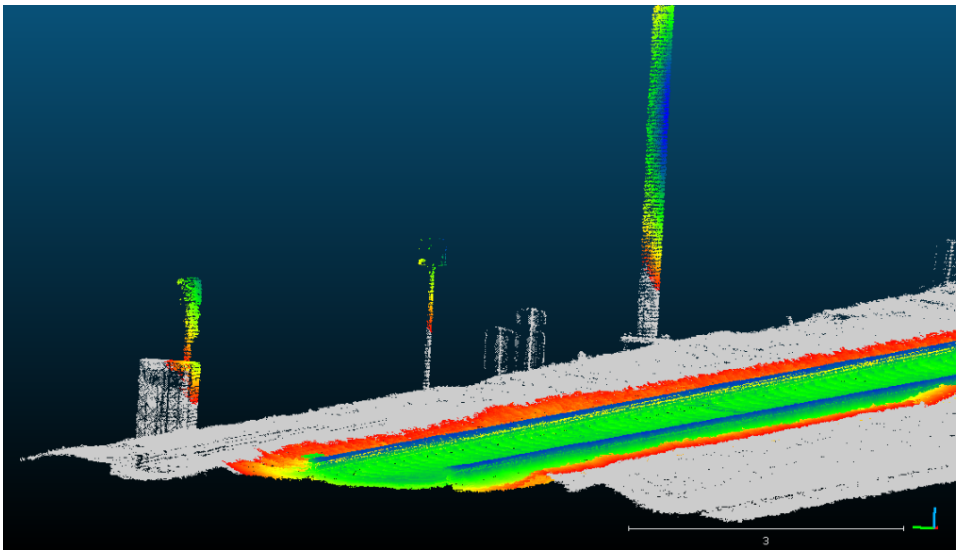
Figur 9.11: *Strækning 14025-14075 spor 2 - punktsky*



Figur 9.12: *Strækning 14025-14075 spor 2 - billede*

9.3.2 Strækning 14075-14125 spor 1 - 2 ukendte genstande

For strækning 14075-14125 spor 1 er der 2 ukendte genstande fra punktskyen som vil blive sammenlignet med billeder for tilsvarende strækning. Her er det muligt at matche begge ukendte genstande fra punktskyen, med det der kan ses ud fra billedet, selvom det stadig ikke er tydeligt at se hvilken type genstandene er. Figur 9.13 viser de ukendte genstande i punktskyen, og figur 9.14 viser de genstande, som de matches med på billedet.

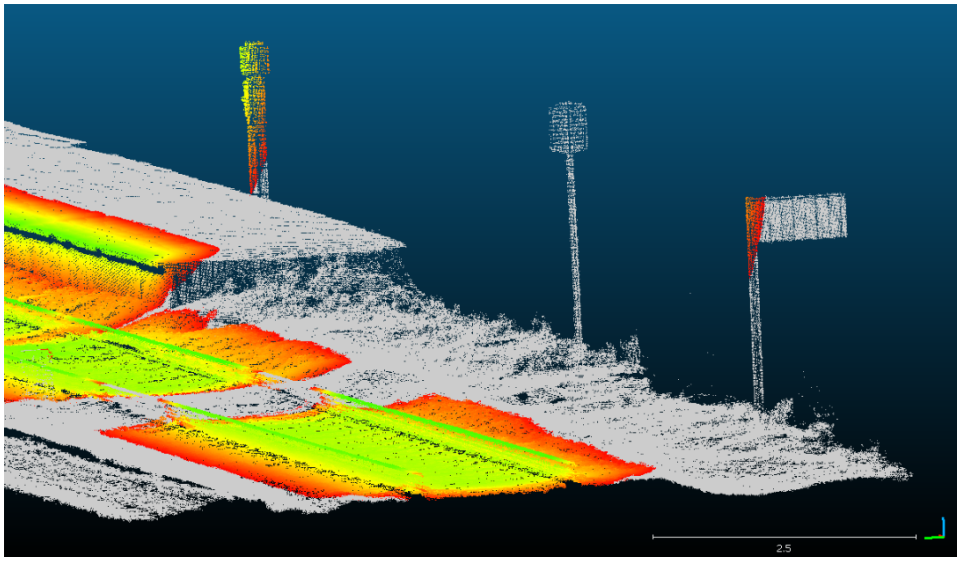


Figur 9.13: *Strækning 14075-14125 spor 1 - punktsky*

Figur 9.14: *Strækning 14075-14125 spor 1 - billede*

9.3.3 Strækning 15075-15125 spor 1 - ukendte genstande

Strækning 15075-15125 spor 1 har 2 ukendte genstande fra punktskyen, som vil blive sammenlignet med genstande i billedet for samme strækning. Her er begge ukendte genstande fra punktskyen også blevet matchet med genstande på billedet, hvoraf den ene ligner et skilt og den anden en form for stander. Figur 9.15 viser de ukendte genstande i punktskyen, og figur 9.16 viser de genstande, som de matches med på billedet.

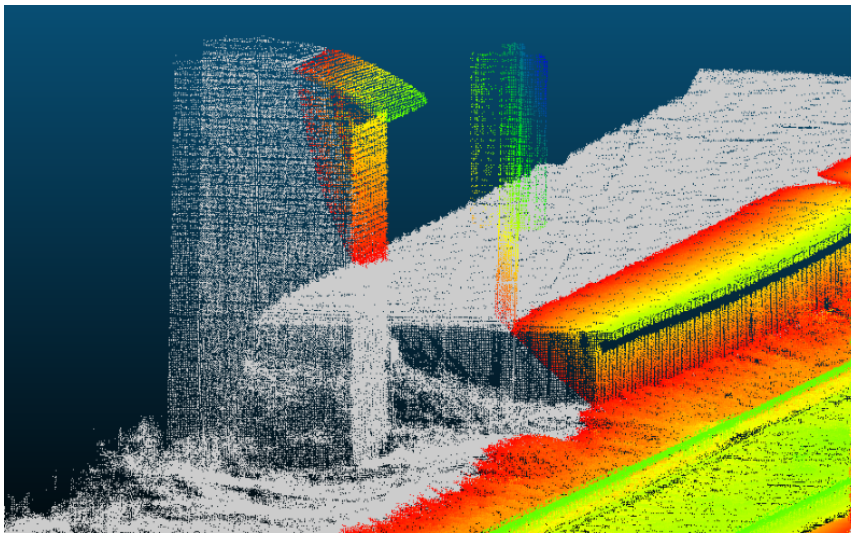


Figur 9.15: *Strækning 15075-15125 spor 1 - punktsky*

Figur 9.16: *Strækning 15075-15125 spor 1 - billede*

9.3.4 Strækning 15075-15125 spor 2 - ukendte genstande

For strækning 15075-15125 spor 2 er der også 2 ukendte genstande fra punktskyen, som vil blive sammenlignet med genstande i billedet for samme strækning. Som i de andre tilfælde er det også her, lykkedes at matche de ukendte genstande fra punktskyen, med genstande fundet i billedet. Her er den ene genstand et skilt, og den anden en form for bygning. Figur 9.17 viser de ukendte genstande i punktskyen, og figur 9.18 viser de genstande, som de matches med på billedet.



Figur 9.17: *Strækning 15075-15125 spor 2 - punktsky*

Figur 9.18: *Strækning 15075-15125 spor 2 - billede*

9.3.5 Sammenligning af placering

Selvom det har været muligt at matche de ukendte genstande, som blev fundet i punktskyen, med genstande der er at finde på billederne, så ligger navngivelsen af genstandene dog uden for gruppens kompetencer. Hertil kræves en med den rette faglige kvalifikation.

I tabel 9.5 ses koordinater til genstandene udtrukket fra punktskyen. Koordinaterne er angivet i koordinatsystemet KP2000. Nogle af disse koordinater vil blive anvendt til at sammenligne med tilsvarende genstande målt med totalstation i marken.

Strækning	Spor	E	N	Genstandstype
14025-14075	1	531048,92	6170969,59	Mast
		531054,81	6170969,22	Signal
	2	531029,07	6170960,55	Ukendt
		531044,33	6170959,80	Mast
		531055,77	6170960,04	Ukendt
		531076,56	6170959,76	Ukendt
14075-14125	1	531081,06	6170969,03	Ukendt
		531094,06	6170968,75	Ukendt
		531106,31	6170968,53	Mast
14525-14575	1	531552,24	6170959,76	Mast
14575-14625	1	531579,21	6170959,41	Mast
	2	531586,36	6170950,08	Signal
		531611,03	6170948,86	Mast
15025-15075	1	532041,68	6170942,20	Signal
	2	532027,67	6170930,57	Rækværk
		532077,13	6170926,16	Rækværk
15075-15125	1	532102,20	6170934,19	Perron
		532102,10	6170933,25	Ukendt
		532080,19	6170934,27	Ukendt
	2	532077,68	6170926,09	Rækværk
		532096,97	6170929,91	Ukendt
		532101,37	6170928,82	Ukendt
		532101,53	6170928,45	Perron
		532127,00	6170922,01	Rækværk

Tabel 9.5: *Koordinater (KP2000) til genstande fundet i punktskyen*

Da koordinaterne til genstandene målt med totalstation kendes, er der foretaget en sammenligning med koordinaterne i punktskyen. Tilfældet er her, at der kun har været to genstande, som er blevet detekteret i punktskyen, som også er målt med totalstation. De to genstande er signalet på strækning 14575-14625 spor 2, og signalet på strækning 15025-15075 spor 1. For at få flere sammenlignlige genstande, bruges signalet også fra strækning 14025-14075 spor 1, da det stadig kan ses i punktskyen, og den eneste grund til det ikke blevet detekteret af UT-profilen, skyldes den manglende definition af skinnestrækning. Der vil derfor ske en sammenligning af koordinater og placering for 3 genstande. Koordinaterne tilknyttet

genstandene kan ses i tabel 9.6, hvor der også er udregnet den plane afvigelse mellem genstandenes koordinater.

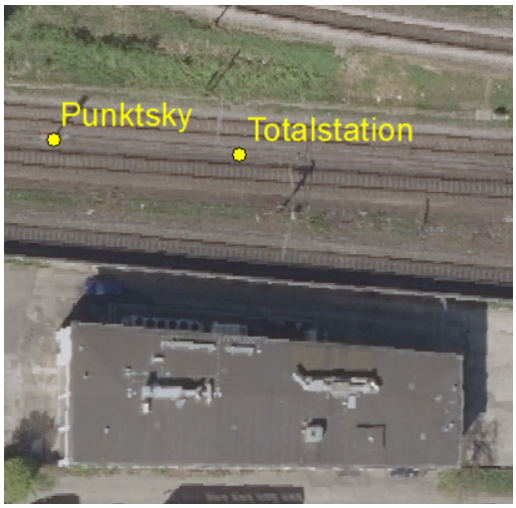
Strækning	Spor	Punktsky		Totalstation		Afvigelse
		E	N	E	N	EN (m)
14025-14075	1	531054,81	6170969,22	531063,90	6170969,32	9,09
14575-14625	2	531586,36	6170950,08	531589,43	6170953,28	4,43
15025-15075	1	532041,68	6170942,20	532061,45	6170940,58	19,84

Tabel 9.6: *Sammenligning af koordinater til genstande (signaler) fundet i punktskyen og målt med totalstation.*

For at visualisere hvordan koordinaterne ligger i forhold til hinanden, er de plottet ind på kort, som kan ses i figur 9.19.

(a) *Strækning 14025-14075*

(b) *Strækning 14575-14625*



(c) *Strækning 15025-15075*

Figur 9.19: *Visualisering af koordinaterne til genstande fra henholdsvis punktskyen og fra måling med totalstation.*

Ud fra figur 9.19 kan det ses at der er forskel i placeringen af genstandene. Her er det koordinaten fra punktskyen, som passer bedst med den fysiske placering af

genstanden. I figur 9.19a ligger signalet ifølge totalstationen ud for et område på perronen uden elementer og ifølge punktsky-koordinaten ligger genstanden ud fra et element på perronen. Hvis et 360 graders billede inddrages, som kan ses i figur 9.20, kan det ses at signalet ligger ud for en del af perronen med overdækning. Dette stemmer overens med koordinaten taget fra punktskyen.

Figur 9.20: *Billedet i denne figur er taget fra nederst på kortet i figur 9.19a [Rambøll, ud].*

I figur 9.19b ligger signalet ifølge totalstationen mellem to spor, og ifølge punktsky-koordinaten ligger genstanden ude i siden. Inddrages der et 360 graders billede, som kan ses på figur 9.21 for samme strækning, kan det ses at signalet ligger ude i siden, samt at det ligger ud for hushjørnet. Dette kan sammenlignes med figur 9.19b, hvor punktsky-koordinaten også ligger ud for hushjørnet.

I figur 9.19c ligger koordinaterne også et stykke fra hinanden. Her er det igen punktsky-koordinaten som stemmer bedst overens med den fysiske placering af genstanden. I figur 9.22 kan det ses at signalet ligger lidt før en bygning, som punktsky-koordinaten også fastslår, og ikke midt ud for bygningen som totalstationen angiver.

Årsagen til at koordinaterne fra opmåling i marken med totalstation ikke stemmer bedre overens med virkeligheden og med punktskyen er, som forklaret i foranalysens afsnit 3.3, at koordinaterne ikke er indmålt med GPS men bliver beregnet og tildelt efter målingen i marken er foretaget.

Figur 9.21: *Billedet i denne figur er taget fra venstre på kortet i figur 9.19b [Rambøll, ud].*

Figur 9.22: *Billedet i denne figur er taget fra højre på kortet i figur 9.19c [Rambøll, ud].*

KAPITEL 10

Konklusion

Det er ud fra undersøgelser og test gennem projektet, vist at det er muligt at udpege genstande i en punktsky. Hertil skal det nævnes, at der er rum til forbedringer angående anvendelse af UT-profilen samt udpegning af genstande. Af større udfordringer som der er støt på, er blandt andet en klar definition af skinnerne i punktskyen, hvorved alle skinner bliver fundet, og ikke kun brudstykker af skinnerne. At der ikke findes hele skinnestrækninger, betyder at der hvor begge skinner ikke er defineret, kan UT-profilen ikke anvendes, hvorved der heller ikke kan foretages en udpegning af genstande på netop dette sted. Selve processen ved at definere skinnerne i punktskyen kan være problematisk, da der ikke bare kan anvendes det samme sæt parametre for alle strækninger, men at det er nødvendigt at prøve sig frem for hver strækning, for at få det bedste resultat. Hertil opstår også udfordringer ved at arbejde i en punktsky, da den som oftest indeholder mere data end nødvendigt, hvorfor det oftest søges af rydde ud i punktskyen, sådan at støj og dobbeltpunkter fjernes. Dette gøres for at mindske arbejdstiden i punktskyen, da antallet af punkter typisk reduceres kraftigt. Her skal der igen gøres overvejelser omkring parametrene som anvendes til de forskellige oprydnings filtrer, da der i nogle tilfælde forsvinder nødvendige punkter i punktskyen, som skulle bruges for at kunne definere skinnerne. Den største barriere ved at arbejde i punktskyen, synes altså at være den store variation af hvordan dataene skal behandles, afhængig af hvor i punktskyen der arbejdes.

Selvom der nogle steder var vanskeligheder med at definere skinnerne, er der stadig fremkommet brugbare skinnestrækninger, hvorpå UT-profilen kan anvendes.

Foruden udfordringerne ved at få defineret skinnernes fulde længde, så opstår der også en problematik omkring det anvendte software. Her har det ikke været muligt, at implementere den ønskelige udformning og målene for selve UT-profilen. Ligeledes kan den anvendte software kun bearbejde punkter og ikke linjer, hvilket betyder at alt data som importeres, skal konverteres til punkter, hvis det ønskes at arbejde med dataene. Det er dog muligt at vise linjer i softwaren, men kun som visualisering. Centerlinjen som UT-profilen tager udgangspunkt i, består derfor også af punkter og ikke en reel linje.

Til trods for begrænsninger i den anvendte software, er det stadig lykkedes at implementere en UT-begrænsningslinje, i form af en cirkel som erstatning for den oprindelige UT-profils udformning. Cirklen er konstrueret ud fra UT-profilens mål, hvortil der er medregnet en maksimal overhøjde samt tre gange spredningen på punkterne i punktskyen. Det har resulteret i en bedst dækkende cirkel omkring UT-profilen, som er skaleret større, således at steder med maksimalt tilt af toget, og eventuelle spredninger er medregnet i cirklens størrelse. Det betyder

at der ved strækninger uden overhøjde, hvorved toget ikke tilter, vil blive medtaget genstande inden for denne UT-begrænsningslinje, som reelt set ikke vil blive udpeget ved anvendelse af den oprindelige UT-profil.

Genstandene som detekteres i punktskyen ved anvendelse af dette projekts UT-begrænsningslinje markeres med farve, som viser at dette ligger indenfor UT-begrænsningslinjen. Da der som krav ved opmåling af genstande langs jernbanen, skal foretages tilstrækkeligt med observationer til en genstand, således der kan dannes et omrids, hvorved den bliver genkendelig, medtages en afstand af fire meter fra spormidten i punktskyen. Dette gøres for at visualisere genstanden i situationer, hvor kun noget af denne ligger indenfor UT-begrænsningslinjen. Alt som ligger udenfor er bevaret i en grå tone.

Eftersom der arbejdes i en punktsky, er det også varierende hvor tydeligt genstande repræsenteres i punktskyen, hvorfor det i nogle tilfælde kan være svært at identificere hvad genstanden som er fundet, egentligt er. Til at afhjælpe denne problematik anvendes 360 graders billeder, som er taget samtidig med, at laserskanningen har fundet sted. Ved hjælp fra disse var det muligt at matche alle genstande, som blev detekteret i punktskyen med genstande i billederne. En fast identifikation af genstanden gives dog ikke, da navngivelse af genstandene ligger udenfor projektgruppens kompetence. Det er dog muligt, for en med den rette faglige kvalifikation at identificere genstandene ved navn.

Da der var modtaget data for genstande målt med totalstation med tilhørende koordinater, blev der foretaget en sammenligning, om de samme genstande blev fundet i punktskyen. Hertil blev en sammenligning af koordinaterne tilknyttet genstande målt med totalstation og koordinaterne for de samme genstande fundet i punktskyen også udført. Her blev der af seks genstande målt med totalstation, fundet tre som kunne matches med genstande i punktskyen. Der blev dog fundet tre genstande som ikke kunne identificeres i punktskyen, som muligvis svarer til de resterende tre genstande målt med totalstation. Ud fra dette blev der foretaget en sammenligning af koordinaterne for de tre genstande identificeret begge steder. Her er der ud fra kortværk og brug af 360 graders billeder, vurderet at koordinaterne som findes til genstandene i punktskyen, giver en mere fysisk nøjagtig placering af genstandene i marken. Dette overrasker ikke, da koordinatsættet tilknyttet opmåling med totalstation, er beregnet ud fra linjestykker på et kort, og ikke direkte målt med GNSS.

Selvom der er udfordringer ved at arbejde i en punktsky, må det konkluderes at det er muligt at udpege genstande beliggende inden for en bestemt afstand. Ligeledes er det med de rette faglige kvalifikationer muligt at identificere genstandene i punktskyen, og hvis nødvendigt at inddrage 360 graders billeder til dette. Er det stadig problematisk at identificere en genstand, må der tages en tur ud i marken, hvortil koordinatsættet til genstanden udtrukket fra punktskyen giver en god indikation af dens fysiske placering.

KAPITEL 11

Perspektivering

Problemstillingen i dette projekt om at detektere genstande indenfor UT-profilen er meget relevant, da Banedanmark allerede fra 2020 vil overgå fra opmåling med totalstation til opmåling med laserskanner. Dog er metoden i dette projekt ikke færdigudviklet til endelig anvendelse, da der er udfordringer undervejs og der er for mange trin der kræver manual bearbejdning.

Med henblik på at få metoden videreudviklet, så den bliver endnu mere relevant ude i erhvervslivet, er der herunder opstillet nogle mulige problemstillinger der kan arbejdes videre på:

- I dette projekt er der blevet anvendt en cirkel som en generalisering i forhold til UT-profilen, da dette var nemmere at implementere. Det er derfor muligt at arbejde videre med anvendelse af UT-profilen, hvor der bliver taget højde for overhøjden mellem skinnerne og dermed giver varierende tilt til UT-profilen.

- Igennem dette projekt bliver der både anvendt 4 forskellige scripts og andet software. Derfor kan det være en mulighed at arbejde videre med at samle hele processen i et program eller i en samlet række scripts.

- I dette projekt har der været udfordringer med hensyn til oprydningen i punktskyen inden det var muligt at finde skinnerne i et script. Der kan blive undersøgt hvordan oprydning/simplificering i punktskyen kan foretages, så det er ens i alle sektioner og derfor ikke en manuel tilpasning for at punktskyen kan anvendes i scriptet.

- Et alternativt til ovenstående forslag er at modificere på scriptet, så det bedre kan anvendes med samme oprydning/simplificering af skyen.

- I dette projekt er transformationsparametrene blevet udregnet for derefter at blive tastet ind i scriptet. Det kunne derfor være en mulighed at implementere beregningen for at finde transformationsparametrene i scriptet, så der dermed bliver færre individuelle beregninger.

- I dette projekt har der været udfordringer med at finde skinner på hele strækningerne. Det kunne derfor blive undersøgt muligheden for at interpolere mellem punkterne, så der ikke er huller i den endelige udvælgelse af punkter indenfor UT-profilen.

- En helt anden tankegang end det der er fulgt i dette projekt, kunne være muligheden for at tænke formålet for punktskyen ind allerede ved skanningen. Hvis det er muligt at kende optagecenteret til laserskanningen og orienteringen samt afstanden til de to skinner, kunne dette anvendes i bearbejdningen af punktskyen efterfølgende.

Litteratur

Banedanmark (2004). *Banenorm: Opmåling af genstande inden for profilgrænse.* ID: BN1-18-1, https://www.bane.dk/da/Leverandoer/Krav/Tekniske-normer-og-regler/Banenormer/Opmaaling-af-genstande-inden-for-profilgraenserne?fbclid=IwAR0986YFk5RyKuJzIsv9eh3b4rOA21M-VoZcSQ5yhu6eYD3_HYNp4atkyRs.

Banedanmark (2008). Teknisk planlægning - nr. 04 / 01.02.2008.

Banedanmark (2014). *Fritrumsprofiler.* https://www.bane.dk/Leverandoer/Krav/Tekniske-normer-og-regler/Vigtige-regelvaerker/Fritrumsprofiler?fbclid=IwAR3nLlqUOrbqQDM5Vb5xJDSz6AXQ9uz0snaUlfzHpcnlza_K7jUpeNGTR30.

Banedanmark (2017). *Sporregler 1987.* https://www.bane.dk/da/Leverandoer/Krav/Tekniske-normer-og-regler/Vigtige-regelvaerker/Sporregler-1987?fbclid=IwAR2jMq64KKW-EJ1VweG4KOtQ60-zFXZpdhWNAsVUNurgvXH9CiM5EI5duwY.

Banedanmark (u.d.). Banegisx. webpage. Sidst set: 22/5-2019, http://banedanmark.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=6541fbc0cbba499b861e4d7fe23b10b6&level=8.

Cristian, G. og Caluser, A. (2018). Automatic railway detection and editing. Semester Projekt.

GeoDanmark (2018). Specifikation 6.0 2018.1114 - jernbane. Specifikation til datasæt online. http://geodanmark.nu/Spec6/HTML5/DK/StartHer.htm#GEDS6-DK/3.3.2%20Jernbane.htm%3FTocPath%3D3.3%2520TRAFIK%7C_____2.

Jensen, K. (2011). *Landmåling i Teori og Praksis.* Aalborg Universitet. ISBN 978-87-91830-57-0.

pcl (2019). Region growing segmentation. webpage. Sidst set: 6/5-2019, http://pointclouds.org/documentation/tutorials/region_growing_segmentation.php.

Rambøll (u.d.). Sporombygning kbh-htaa. webpage. https://ramview360.xyz/Sporombygning-Kbh-Htaa/index.html.

Bilag

BILAG A

Digital bilag

I dette bilag ses der en oversigt over indholdet i det digitale bilag. A.1 til A.4 er mapper, hvori filerne er placeret og A.5 har undermapper.

A.1 Måling med totalstation

A.1.1 TIB01.pdf

A.1.2 TIB01.txt

A.2 Interview

A.2.1 Interview med LIFA

A.3 Doumentation fra Rambøll

A.3.1 Mailkorrespondance med Rambøll

A.3.2 Mobile Mapping Service on the railway line Copenhagen - EN.docx

A.4 Scripts

A.4.1 extract.cpp

A.4.2 transform.cpp

A.4.3 compute.cpp

A.4.4 transform_reverse.cpp

A.5 Data

I denne mappe (A.5) er der en undermappe til hver strækning der er beregnet. I hver af undermapperne er der data.pcd der er dannet i CloudCompare og er input til det første script *extract* (A.4.1). Herfra bliver der dannet en række filer ved navn rails_0.pcd, rails_1.pcd osv samt ground_points.pcd. Filerne rails_X.pcd bliver samlet til rails.pcd, som igennem scriptet *transform* (A.4.2) bliver til rotated_rails.pcd. Denne fil bliver eftefølgende anvendt i scriptet *compute* (A.4.3), hvor der bliver dannet info.txt, rails_left.pcd, rails_right.pcd og rails_circle_center.pcd. Disse filer indeholder henholdsvis information om spredningen på afstanden mellem skinnerne, punkter til venstre skinne, punkter til højre skinne og punkter til centrum af cirklen. Herefter bliver de tre .pcd-filer transformeret tilbage til det originale koordinatsystem ved at anvende scriptet *transform_reverse* (A.4.4). Fra dette script bliver final_rails_left.pcd, final_rails_right.pcd og final_rails_circle_center.pcd dannet.

Ved strækninger hvor der er anvendt flere forskellige subclouds i beregningerne er de første filer i en undermappe som er navngivet efter hvor lang afstand der er

mellem punkterne i den anvendte subcloud.

A.5.1 14025-14075_Spor1

A.5.2 14025-14075_Spor2

A.5.3 14075-14125_Spor1

A.5.4 14525-14575_Spor1

A.5.5 14575-14625_Spor1

A.5.6 14575-14625_Spor2

A.5.7 15025-15075_Spor1

A.5.8 15025-15075_Spor2

A.5.9 15075-15125_Spor1

A.5.10 15075-15125_Spor2

BILAG B

Interview med LIFA

Dette bilag indeholder et referat af et interview med Gunnar Nielsen fra LIFA foretaget den 15. april 2019. Interviewet er vedlagt som lydfil i det digitale bilag (digital bilag A.2.1).

B.1 Beregning af GPS-koordinater til genstande; start 00.00 slut 04.13

I interviewet forklares det hvordan GPS-koordinaterene til genstandene som måles med totalstation er fremkommet. Her forklares det hvordan der ud fra fotogrammetri og målinger af sporet, er sammensat linjer, med forskellige kilometer anmærkninger, hvor der ud fra den stationering der måles i beregnes et koordinatsæt til genstanden, samt hvor nøjagtig denne koordinat er.

B.2 SO-plan og måling af genstande; start 04.14 slut 07.44

Her forklares det hvad der måles til af punkter for at definere et SO-plan, som er det plan hvorpå UT-profilen skal placeres på. Det fortælles hvilke punkter der måles på skinnerne og hvor på skinnerne der måles. Hertil forklares det også hvordan genstandene skal opmåles.

B.3 Knudepunkter og kilometrering; start 14.05 slut 22.00

Her tales der løst omkring hvad knudepunkter er og hvordan kilometreringen afmærkes.

B.4 Fritrumsprofiler; start 25.40 slut 27.10

Kort forklaring af hvordan UT-profilen ser ud, og hvilken UT-profil det er, som der skal anvendes i projektet.

BILAG C

Scripts

I dette bilag kan de fire C++ scripts læses. Scriptene kan også ses i det digitale bilag (digital bilag A.4). De kommer i den rækkefølge de bliver anvendt i processen:

- *extract.cpp*
- *transform.cpp*
- *compute.cpp*
- *transform_reverse.cpp*

Script C.1: *extract.cpp*

```
#include <iostream>
#include <string>
#include <vector>
#include <pcl/point_types.h>
#include <pcl/io/pcd_io.h>
#include <pcl/search/search.h>
#include <pcl/search/kdtree.h>
#include <pcl/features/normal_3d.h>
#include <pcl/visualization/cloud_viewer.h>
#include <pcl/filters/passthrough.h>
#include <pcl/segmentation/region_growing.h>
#include <pcl/console/time.h>
#include <pcl/visualization/pcl_visualizer.h>
#include <pcl/filters/extract_indices.h>

pcl::PCDWriter writer;

int
main ()
{

  pcl::console::TicToc tt;
  pcl::PointCloud<pcl::PointXYZ>::Ptr cloud (new pcl::PointCloud<pcl::
      PointXYZ>);
  pcl::PointCloud<pcl::PointXYZ>::Ptr cloud_p (new pcl::PointCloud<pcl::
      PointXYZ>);
  // load cloud
  std::cerr << "Loading...\n", tt.tic();
  if (pcl::io::loadPCDFile<pcl::PointXYZ>("data.pcd", *cloud) == -1)
  {
      std::cout << std::endl << "Couldn't read the file " << std::endl;
```

```
        return (-1);
    }
    std::cout << std::endl << "Loaded pcd file data.pcd with " << cloud->
        points.size() << " points " << std::endl;
    std::cerr << ">> Done: " << tt.toc() << " ms" << std::endl;

    pcl::search::Search<pcl::PointXYZ>::Ptr tree = boost::shared_ptr<pcl::
        search::Search<pcl::PointXYZ> > (new pcl::search::KdTree<pcl::
        PointXYZ>);
    pcl::PointCloud <pcl::Normal>::Ptr normals (new pcl::PointCloud <pcl::
        Normal>);
    pcl::NormalEstimation<pcl::PointXYZ, pcl::Normal> normal_estimator;
    normal_estimator.setSearchMethod (tree);
    normal_estimator.setInputCloud (cloud);
    normal_estimator.setKSearch (20);
    normal_estimator.compute (*normals);

    //Normal viewer
    pcl::visualization::PCLVisualizer viewer1("NORMAL Viewer");
    pcl::visualization::PointCloudColorHandlerCustom<pcl::PointXYZ>
        single_color(cloud, 0, 255, 0);
    viewer1.addPointCloud(cloud, single_color, "Cloud Filtered - normals");
    viewer1.addPointCloudNormals<pcl::PointXYZ, pcl::Normal>(cloud, normals,
        10,0.6, "normals");
    while (!viewer1.wasStopped())
    {
        viewer1.spinOnce();
    }

    //Region Growing
    pcl::RegionGrowing<pcl::PointXYZ, pcl::Normal> reg;
    reg.setInputCloud(cloud);
    reg.setInputNormals(normals);
    reg.setMinClusterSize (100);
    reg.setSearchMethod (tree);
    reg.setNumberOfNeighbours(50);
    reg.setResidualTestFlag(true);
    reg.setCurvatureThreshold(0.5f);
    reg.setSmoothnessThreshold (9.0 / 180.0 * M_PI);


    std::vector <pcl::PointIndices> clusters;
    reg.extract (clusters);

    std::cout << "Number of clusters is equal to " << clusters.size() << std
        ::endl;
    std::cout << "First cluster has " << clusters[0].indices.size() << "
        points." << endl;
    std::cout << std::endl << std::endl;

    pcl::PointCloud <pcl::PointXYZRGB>::Ptr colored_cloud = reg.
        getColoredCloud ();
    pcl::visualization::CloudViewer viewer ("Cluster viewer");
    viewer.showCloud(colored_cloud);
    while (!viewer.wasStopped ())
    {
```

```
77
78  }
79
80
81  pcl::PointCloud<pcl::PointXYZ>::Ptr rails(new pcl::PointCloud<pcl::
        PointXYZ>);
82  int nr_points = (int) cloud->points.size();
83
84  //Visualization of "clusters"
85  pcl::visualization::PCLVisualizer viewer_clust("CLUSTER Viewer");
86  int j = 0;
87
88  for (std::vector<pcl::PointIndices>::const_iterator it = clusters.begin()
        ; it != clusters.end(); ++it)
89  {
90
91      pcl::PointCloud<pcl::PointXYZ>::Ptr cloud_cluster(new pcl::PointCloud
            <pcl::PointXYZ>);
92      for (std::vector<int>::const_iterator pit = it->indices.begin(); pit
            != it->indices.end(); ++pit)
93        cloud_cluster->points.push_back(cloud->points[*pit]);
94      cloud_cluster->width = cloud_cluster->points.size();
95      cloud_cluster->height = 1;
96      cloud_cluster->is_dense = true;
97
98      std::cout << "PointCloud representing the Cluster: " << cloud_cluster
            ->points.size() << " data points." << std::endl;
99
100     std::stringstream ss;
101     ss << "rails_" << j << ".pcd";
102     // Assign each cluster a random color and add the cluster to view
103     pcl::visualization::PointCloudColorHandlerRandom<pcl::PointXYZ>
            cluster_color_handler(cloud_cluster);
104     if (cloud_cluster->points.size() < 0.3 * nr_points)
105     {
106
107         viewer_clust.addPointCloud<pcl::PointXYZ>(cloud_cluster,
                cluster_color_handler, ss.str());
108         writer.write<pcl::PointXYZ>(ss.str(), *cloud_cluster, false);  //
                used to save all clusters to disk
109         j++;
110     }
111     //Write ground points
112     else writer.write<pcl::PointXYZ>("ground_points.pcd", *cloud_cluster,
             false);
113
114 }
115
116
117 while (!viewer_clust.wasStopped())
118 {
119     viewer_clust.spinOnce();
120 }
121
122
123 return (0);
```

```
}
```

Script C.2: *transform.cpp*

```
#include <iostream>
#include <pcl/common/common.h>
#include <pcl/common/angles.h>
#include <pcl/common/transforms.h>
#include <pcl/point_cloud.h>
#include <pcl/point_types.h>
#include <pcl/io/pcd_io.h>
#include <pcl/registration/transformation_estimation_svd.h>
#include <pcl/console/time.h>
#include <pcl/visualization/pcl_visualizer.h>

pcl::PCDWriter writer;

int main()
{
    pcl::console::TicToc tt;
    pcl::PointCloud<pcl::PointXYZ>::Ptr cloud(new pcl::PointCloud<pcl::
        PointXYZ>);
    pcl::PointCloud<pcl::PointXYZ>::Ptr cloud_out(new pcl::PointCloud<pcl::
        PointXYZ>);
    // load cloud
    std::cerr << "Loading...\n", tt.tic();
    if (pcl::io::loadPCDFile<pcl::PointXYZ>("rails.pcd", *cloud) == -1)
    {
        std::cout << std::endl << "Couldn't read the file " << std::endl;
        return (-1);
    }
    std::cout << std::endl << "Loaded pcd file rails.pcd with " << cloud->
        points.size() << " points " << std::endl;
    std::cerr << ">> Done: " << tt.toc() << " ms" << std::endl;

    //Rotation and translation
    //Compute centroid
    Eigen::Vector4f centroid;
    pcl::compute3DCentroid(*cloud, centroid);
    //Set the centroid as a point
    pcl::PointXYZ centroid_point;
    centroid_point.x = centroid[0];
    centroid_point.y = centroid[1];
    centroid_point.z = centroid[2];
    std::cout << "centroid_point: \n" << centroid_point << std::endl;

    //Rotation
    //Using Affine3f

    Eigen::Affine3f transform = Eigen::Affine3f::Identity();

    // Define a rotation matrix
    float theta = 91 * M_PI / 180; // The angle of rotation in radians
    transform.translation() << -1500.0, 1700.0, 0.0;  // Define a
        translation

    // The same rotation matrix as before; theta radians arround Z axis
    transform.rotate(Eigen::AngleAxisf(theta, Eigen::Vector3f::UnitZ()));

```

```
    // Print the transformation
    printf("\nMATRIX Using an Affine3f\n");
    std::cout << transform.matrix() << std::endl;

    // Executing the transformation
    pcl::transformPointCloud(*cloud, *cloud_out, transform);

    //Vizualizer for transformation
    // Visualization
    printf("\nPoint cloud colors :  white  = original point cloud\n"
        "                          red  = transformed point cloud\n");
    pcl::visualization::PCLVisualizer viewer("Matrix transformation");
    // Define R,G,B colors for the point cloud
    pcl::visualization::PointCloudColorHandlerCustom<pcl::PointXYZ>
        source_cloud_color_handler(cloud, 255, 255, 255); // White
    // We add the point cloud to the viewer and pass the color handler
    viewer.addPointCloud(cloud, source_cloud_color_handler, "original_cloud
        ");
    pcl::visualization::PointCloudColorHandlerCustom<pcl::PointXYZ>
        transformed_cloud_color_handler(cloud_out, 230, 20, 20); // Red
    viewer.addPointCloud(cloud_out, transformed_cloud_color_handler, "
        transformed_cloud");
    viewer.addSphere(centroid_point, 1, 1, 1, 1, "centroid");
    //viewer.addLine(centroid_point, endpoint_line, "line");
    viewer.addCoordinateSystem(20.0, -1700, 0, -100, "cloud", 0); // x=red
        axis, y=green axis, z=blue
    viewer.setBackgroundColor(0.05, 0.05, 0.05, 0); // Setting background
        to a dark grey
    viewer.setPointCloudRenderingProperties(pcl::visualization::
        PCL_VISUALIZER_POINT_SIZE, 2, "original_cloud");
    viewer.setPointCloudRenderingProperties(pcl::visualization::
        PCL_VISUALIZER_POINT_SIZE, 2, "transformed_cloud");

    //Stop the visualizer when 'q' is pressed
    while (!viewer.wasStopped()) {
        viewer.spinOnce();
    }

    //Write the rotated cloud to a .pcd file
    std::stringstream ss;
    ss << "rotated_" << "rails.pcd";
    writer.write<pcl::PointXYZ>(ss.str(), *cloud_out, false);


    return 0;
}
```

Script C.3: *compute.cpp*

```
#include <vector>
#include <cmath>
#include <algorithm>
#include <iostream>
#include <cstdlib>
#include <string>
#include <iomanip>
#include <pcl/point_types.h>
#include <pcl/point_cloud.h>
#include <pcl/io/pcd_io.h>
#include <pcl/search/search.h>
#include <pcl/search/kdtree.h>
#include <pcl/features/normal_3d.h>
#include <pcl/filters/passthrough.h>
#include <pcl/console/time.h>
#include <pcl/visualization/pcl_visualizer.h>
#include <pcl/filters/passthrough.h>
#include <pcl/common/common.h>
#include <pcl/registration/transformation_estimation_svd.h>
#include <pcl/common/transforms.h>


bool order(float v1, float v2) {
    //Order elements ascending
    return v1 > v2;
}
bool reorder(float v11, float v22) {
    //Order elements descending
    return v11 < v22;
}
pcl::PCDWriter writer;

int main(int argc, char** argv)
{
    pcl::console::TicToc tt;

    //Point containers
    pcl::PointCloud<pcl::PointXYZ>::Ptr cloud(new pcl::PointCloud<pcl::
        PointXYZ>);
    pcl::PointCloud<pcl::PointXYZ>::Ptr cloud_filtered_left(new pcl::
        PointCloud<pcl::PointXYZ>);
    pcl::PointCloud<pcl::PointXYZ>::Ptr cloud_filtered_right(new pcl::
        PointCloud<pcl::PointXYZ>);
    pcl::PointCloud<pcl::PointXYZ>::Ptr left_rail(new pcl::PointCloud<pcl::
        PointXYZ>);
    pcl::PointCloud<pcl::PointXYZ>::Ptr right_rail(new pcl::PointCloud<pcl
        ::PointXYZ>);
    pcl::PointCloud<pcl::PointXYZ>::Ptr  cloud_sections(new pcl::PointCloud
        <pcl::PointXYZ>);
    pcl::PointCloud<pcl::PointXYZ> left_rail_points;
    pcl::PointCloud<pcl::PointXYZ> right_rail_points;
    pcl::PointCloud<pcl::PointXYZ> circle_center;
    //min max
    pcl::PointXYZ minPtl, maxPtl;
    pcl::PointXYZ minPtr, maxPtr;
```

```
    // load cloud
    std::cerr << "Loading...\n", tt.tic();
    if (pcl::io::loadPCDFile<pcl::PointXYZ>("rotated_rails.pcd", *cloud) ==
        -1)
    {
        std::cout << std::endl << "Couldn't read the file " << argv[1] <<
            std::endl;
        return (-1);
    }
    std::cout << std::endl << "Loaded pcd file " << "rotated_rails.pcd" <<
        " with " << cloud->points.size() << " points " << std::endl;
    std::cerr << ">> Done: " << tt.toc() << " ms" << std::endl;

    std::cout << (*cloud)(0, 0) << std::endl;
    std::cout << endl;


    //Min max
    pcl::PointXYZ minPt, maxPt;
    pcl::getMinMax3D(*cloud, minPt, maxPt);
    std::cout << "min pt: " << minPt << endl;
    std::cout << "max pt: " << maxPt << endl;


    //loop for sections
    int nr_sections;
    float r_lenght = 0;
    float width; //float so we can take width in cm / mm
    double step = 0;
    cout << "Step size: ";
    cin >> step; //step for the sections
    cout << "Enter section width: ";
    cin >> width; //width of sections
    nr_sections = (maxPt.y - minPt.y)/step; //calculate nr of sections
    cout << "Estimated number of sections to be created: " << nr_sections
        << endl;
    r_lenght = maxPt.y - minPt.y;
    cout << "Lenght: " << r_lenght << endl;


    float median_x;
    median_x = minPt.x + (maxPt.x - minPt.x)/2;
    std::cout << "median x: " << median_x << endl;

    // Create the filtering object left rails
    pcl::PassThrough<pcl::PointXYZ> passxl;
    passxl.setInputCloud(cloud);
    passxl.setFilterFieldName("x");
    passxl.setFilterLimits(median_x - 10, median_x-0.001f);
    passxl.filter(*left_rail);
    // Create the filtering object right rails
    pcl::PassThrough<pcl::PointXYZ> passxr;
    passxr.setInputCloud(cloud);
    passxr.setFilterFieldName("x");
    passxr.setFilterLimits(median_x, median_x+10);
```

```
    passxr.filter(*right_rail);

    std::cout << "left_rail: " << left_rail->points.size() << endl; //nr points in left rail
    std::cout << "right_rail: " << right_rail->points.size() << endl; //nr points in right rail

    // Create the filtering object Y left
    pcl::PassThrough<pcl::PointXYZ> passyl;
    passyl.setInputCloud(left_rail);
    passyl.setFilterFieldName("y");
    // Create the filtering object Y right
    pcl::PassThrough<pcl::PointXYZ> passyr;
    passyr.setInputCloud(right_rail);
    passyr.setFilterFieldName("y");

    //Viewer initialization and setup
    pcl::visualization::PCLVisualizer vieweri("Cloud Viewer");
    pcl::visualization::PointCloudColorHandlerCustom<pcl::PointXYZ> color(cloud, 255, 0, 0);
    vieweri.addCoordinateSystem(20.0, -1700, 0, -100, "cloud", 0);
    vieweri.addPointCloud(cloud, "cloud");


    float dH[200]; //left_rail_Z - right_rail_Z
    float xl[200]; //mean pts left rail
    float xr[200]; //mean pts right rail
    float suml[200]; //sum of first maxX 's' elem of left rail
    float sumr[200]; //sum of first maxX 's' elem of right rail
    float dDist[200]; //deviation of distance calculated: 1.435 - 'distance_between_rails'
    float distances[200]; //dist between rails
    float YmeanL[200]; //Y mean value for left rail
    float YmeanR[200]; //Y mean value for right rail
    float stdev= 0; //all dDdist / nr dDist
    int number_sections = 0; //calculated number of sections
    int pts_section[100]; //nr of points in every section


    // Create the .txt file to store information
    std::ofstream outfile("info.txt");
    FILE *myfile;
    myfile = fopen("info.txt", "w");
    fprintf(myfile, "St.nr. maxZ_L  maxZ_R  dH(L-R)  XmeanL    XmeanR    Dist points dD     YmeanL  YmeanR \r\n");
    outfile << endl;

    int station = 0;
    int ii = 0;
    for (double i = 0; i < nr_sections; i=i+step) {

        std::stringstream ss1, ss2;
        ss1 << "sectionL_" << i;
        ss2 << "sectionR_" << i;

        passyl.setFilterLimits(minPt.y + i, minPt.y + i + width);
```

```
        passyl.filter(*cloud_filtered_left);
        passyr.setFilterLimits(minPt.y + i, minPt.y + i + width);
        passyr.filter(*cloud_filtered_right);

        vieweri.addPointCloud(cloud_filtered_left, color, ss1.str());
        vieweri.addPointCloud(cloud_filtered_right, color, ss2.str());

        std::cout << i << endl;
        pcl::getMinMax3D(*cloud_filtered_left, minPtl, maxPtl);
        printf("maxPt LEFT rail: %6.3f, %6.3f, %6.3f \n", maxPtl.x, maxPtl.
            y, maxPtl.z);
        pcl::getMinMax3D(*cloud_filtered_right, minPtr, maxPtr);
        printf("maxPt RIGHT rail: %6.3f, %6.3f, %6.3f \n", maxPtr.x, maxPtr
            .y, maxPtr.z);
        dH[ii] = maxPtr.z - maxPtl.z;
        printf("dH = %6.3f \n", dH[ii], "m");

        pts_section[ii] = cloud_filtered_right->points.size() +
            cloud_filtered_left->points.size();

        //Populate xl with X coordinate of points of left rail
        for (int b1 = 0; b1 < cloud_filtered_left->points.size(); b1++) {
            xl[b1] = cloud_filtered_left->points[b1].x;
        }
        std::cout << endl;

        //Populate xr with X coordinate of points of right rail
        for (int b2 = 0; b2 < cloud_filtered_right->points.size(); b2++) {
            xr[b2] = cloud_filtered_right->points[b2].x;
        }

        //Sort arrays
        std::sort(xl, xl + 20, order);
        std::sort(xr, xr + 20, reorder);

        //Print sorted arrays and calculate first points mean
        cout << "xL array: \n";
        for (int b11 = 0; b11 < cloud_filtered_left->points.size(); b11++)
            {
            cout << xl[b11] << endl;
            suml[b11] = (xl[0] + xl[1] + xl[2] + xl[3] + xl[4]) / 5;
        }
        cout << "suml: \n" << suml[ii] << endl;

        cout << "xR array: \n";
        for (int b22 = 0; b22 < cloud_filtered_right->points.size(); b22++)
             {
            cout << xr[b22] << endl;
            sumr[b22] = (xr[0] + xr[1] + xr[2] + xr[3] + xr[4]) / 5;
        }
        cout << "sumr: \n" << sumr[ii] << endl;

        //Compute distances
        distances[ii] = sumr[ii] - suml[ii];
        //Compute deviation from normal distance
        dDist[ii] = 1.435f - distances[ii];
```

```
        //Compute Y mean values
        YmeanL[ii] = (maxPtl.y + minPtl.y) / 2;
        YmeanR[ii] = (maxPtr.y + minPtr.y) / 2;

        if ((pts_section[ii] > 5) && (distances[ii] > 1.2) && (distances[ii] < 1.5) && (maxPtl.z > -4) && (maxPtr.z > -4)) {
            //Write info to file
            fprintf(myfile, "%d %6.3f   %6.3f   %6.3f   %6.3f %6.3f %6.3f   %d   %6.3f   %6.3f   %6.3f\r",
                station, maxPtl.z, maxPtr.z, dH[ii], suml[ii], sumr[ii], distances[ii], pts_section[ii], dDist[ii], YmeanL[ii], YmeanR[ii]);

            stdev = stdev + dDist[ii]*dDist[ii];
            number_sections = number_sections + 1;

            pcl::PointXYZ pointl;
            pointl.x = suml[ii];
            pointl.y = YmeanL[ii];
            pointl.z = maxPtl.z;
            left_rail_points.points.push_back(pointl);

            pcl::PointXYZ pointr;
            pointr.x = sumr[ii];
            pointr.y = YmeanR[ii];
            pointr.z = maxPtr.z;
            right_rail_points.points.push_back(pointr);

            pcl::PointXYZ pointc;
            pointc.x = (sumr[ii]+suml[ii])/2;
            pointc.y = (YmeanR[ii]+YmeanL[ii])/2;
            pointc.z = (maxPtr.z+maxPtl.z)/2+2.61;
            circle_center.points.push_back(pointc);

        }

        station = station + 1;

        }

    //Additional info to file
    fprintf(myfile, "\n");
    fprintf(myfile, "Antal afstande anvendt i beregning af spredning:  %d \n\n", number_sections);
    fprintf(myfile, "Spedning:                                  %6.3f \n\n", sqrt(stdev / number_sections));
    fprintf(myfile, "Afstand mellem skinner ifølge banenorm:  %6.3f \n", 1.435);
    fprintf(myfile, "Højdeforskel:      %6.3f \n", 0.000);

    cout << "Estimated number of sections: " << nr_sections << endl;
    cout << "Calculated number of sections: " << number_sections << endl;

    //Close the file
    outfile.close();
```

```
    std::cout << "File closed." << endl;

    while (!vieweri.wasStopped())
    {
        vieweri.spinOnce();
    }

    //Write the left rail point cloud to a .pcd file
    left_rail_points.width = (uint32_t)left_rail_points.points.size();
    left_rail_points.height = 1;
    writer.write<pcl::PointXYZ>("rails_left.pcd", left_rail_points, false);

    //Write the right rail point cloud to a .pcd file
    right_rail_points.width = (uint32_t)right_rail_points.points.size();
    right_rail_points.height = 1;
    writer.write<pcl::PointXYZ>("rails_right.pcd", right_rail_points, false
        );

    //Write the circle center point cloud to a .pcd file
    circle_center.width = (uint32_t)circle_center.points.size();
    circle_center.height = 1;
    writer.write<pcl::PointXYZ>("rails_circle_center.pcd", circle_center,
        false);

    return 0;
}
```

Script C.4: *transform_reverse.cpp*

```
#include <iostream>
#include <pcl/common/common.h>
#include <pcl/common/angles.h>
#include <pcl/common/transforms.h>
#include <pcl/point_cloud.h>
#include <pcl/point_types.h>
#include <pcl/io/pcd_io.h>
#include <pcl/registration/transformation_estimation_svd.h>
#include <pcl/console/time.h>
#include <pcl/visualization/pcl_visualizer.h>

pcl::PCDWriter writer;

int main(int argc, char** argv)
{
    for (int i = 1; i < argc; i++)
    {
        pcl::console::TicToc tt;
        pcl::PointCloud<pcl::PointXYZ>::Ptr cloud(new pcl::PointCloud<pcl::
            PointXYZ>);
        pcl::PointCloud<pcl::PointXYZ>::Ptr cloud_out(new pcl::PointCloud<
            pcl::PointXYZ>);
        // load cloud
        std::cerr << "Loading...\n", tt.tic();
        if (pcl::io::loadPCDFile<pcl::PointXYZ>(argv[i], *cloud) == -1)
        {
            std::cout << std::endl << "Couldn't read the file " << argv[i]
                << std::endl;
            return (-1);
        }
        std::cout << std::endl << "Loaded pcd file " << argv[i] << " with "
             << cloud->points.size() << " points " << std::endl;
        std::cerr << ">> Done: " << tt.toc() << " ms" << std::endl;

        //Rotation and translation
        //Compute centroid
        Eigen::Vector4f centroid;
        pcl::compute3DCentroid(*cloud, centroid);
        //Set the centroid as a point
        pcl::PointXYZ centroid_point;
        centroid_point.x = centroid[0];
        centroid_point.y = centroid[1];
        centroid_point.z = centroid[2];
        std::cout << "centroid_point: \n" << centroid_point << std::endl;

        //Rotation
        //Using Affine3f

        Eigen::Affine3f transform = Eigen::Affine3f::Identity();
        Eigen::Affine3f transformInverse = Eigen::Affine3f::Identity();

        // Define a rotation matrix
        float theta = 91 * M_PI / 180; // The angle of rotation in radians
        transform.translation() << -1500.0, 1700.0, 0.0;  // Define a
            translation
```

```
        // The same rotation matrix as before; theta radians arround Z axis
        transform.rotate(Eigen::AngleAxisf(theta, Eigen::Vector3f::UnitZ()));

        transformInverse = transform.inverse();


        // Print the transformation
        printf("\nMATRIX Using an Affine3f\n");
        std::cout << transform.matrix() << std::endl;

        printf("the inverse matrix\n");
        std::cout << transformInverse.matrix() << std::endl;

        // Executing the transformation
        pcl::transformPointCloud(*cloud, *cloud_out, transformInverse);

        //Vizualizer for transformation
        // Visualization
        printf("\nPoint cloud colors :  white  = original point cloud\n"
            "                          red  = transformed point cloud\n");
        pcl::visualization::PCLVisualizer viewer("Matrix transformation");
        // Define R,G,B colors for the point cloud
        pcl::visualization::PointCloudColorHandlerCustom<pcl::PointXYZ> source_cloud_color_handler(cloud, 255, 255, 255); // White
        // We add the point cloud to the viewer and pass the color handler
        viewer.addPointCloud(cloud, source_cloud_color_handler, "original_cloud");
        pcl::visualization::PointCloudColorHandlerCustom<pcl::PointXYZ> transformed_cloud_color_handler(cloud_out, 230, 20, 20); // Red
        viewer.addPointCloud(cloud_out, transformed_cloud_color_handler, "transformed_cloud");
        viewer.addSphere(centroid_point, 1, 1, 1, 1, "centroid");
        //viewer.addLine(centroid_point, endpoint_line, "line");
        viewer.addCoordinateSystem(20.0, -1700, 0, -100, "cloud", 0);
        viewer.setBackgroundColor(0.05, 0.05, 0.05, 0); // Setting background to a dark grey
        viewer.setPointCloudRenderingProperties(pcl::visualization::PCL_VISUALIZER_POINT_SIZE, 2, "original_cloud");
        viewer.setPointCloudRenderingProperties(pcl::visualization::PCL_VISUALIZER_POINT_SIZE, 2, "transformed_cloud");

        //Stop the visualizer when 'q' is pressed
        while (!viewer.wasStopped()) {
            viewer.spinOnce();
        }

        //Write the rotated cloud to a .pcd file
        std::stringstream ss;
        ss << "final_" << argv[i];
        writer.write<pcl::PointXYZ>(ss.str(), *cloud_out, false);
    }

    return 0;
}
```

BILAG D

Kvalitetskontrol

Dette bilag indeholder infofilen for strækning 14575-14625 spor 1. Alle infofilerne kan ses i det digitale bilag (digital bilag A.5).

info.txt

St.nr.	maxZ_L	maxZ_R	dH(L-R)	XmeanL	XmeanR	Dist	points	dD	YmeanL	YmeanR
0	10.125	10.110	-0.015	-1537.841	-1536.370	1.471	50	-0.036	577.829	577.843
1	10.125	10.110	-0.015	-1537.837	-1536.384	1.452	53	-0.017	578.335	578.337
2	10.115	10.100	-0.015	-1537.838	-1536.380	1.458	43	-0.023	578.840	578.837
3	10.115	10.110	-0.005	-1537.832	-1536.387	1.445	50	-0.010	579.335	579.337
4	10.115	10.100	-0.015	-1537.833	-1536.374	1.459	42	-0.024	579.820	579.851
5	10.105	10.100	-0.005	-1537.833	-1536.381	1.452	34	-0.017	580.335	580.352
6	10.105	10.100	-0.005	-1537.830	-1536.401	1.429	45	0.006	580.840	580.857
7	10.105	10.100	-0.005	-1537.821	-1536.384	1.438	47	-0.003	581.338	581.343
8	10.105	10.100	-0.005	-1537.836	-1536.406	1.429	43	0.006	581.840	581.842
9	10.105	10.100	-0.005	-1537.830	-1536.381	1.450	39	-0.015	582.335	582.348
10	10.105	10.100	-0.005	-1537.827	-1536.387	1.439	44	-0.004	582.830	582.848
11	10.090	10.100	0.010	-1537.831	-1536.380	1.451	50	-0.016	583.323	583.351
12	10.105	10.090	-0.015	-1537.823	-1536.383	1.440	42	-0.005	583.831	583.856
13	10.090	10.090	0.000	-1537.832	-1536.350	1.482	49	-0.047	584.346	584.353
14	10.090	10.090	0.000	-1537.827	-1536.374	1.453	43	-0.018	584.846	584.853
15	10.090	10.090	0.000	-1537.826	-1536.367	1.459	43	-0.024	585.341	585.354
16	10.090	10.090	0.000	-1537.824	-1536.371	1.453	46	-0.018	585.861	585.839
17	10.090	10.090	0.000	-1537.828	-1536.370	1.458	47	-0.023	586.336	586.339
18	10.085	10.080	-0.005	-1537.802	-1536.348	1.455	54	-0.020	586.831	586.844
19	10.090	10.080	-0.010	-1537.819	-1536.356	1.463	47	-0.028	587.346	587.334
20	10.085	10.080	-0.005	-1537.816	-1536.350	1.466	47	-0.031	587.847	587.820
21	10.085	10.080	-0.005	-1537.824	-1536.369	1.455	41	-0.020	588.356	588.332
22	10.085	10.090	0.005	-1537.816	-1536.373	1.443	49	-0.008	588.832	588.840
23	10.085	10.080	-0.005	-1537.812	-1536.370	1.442	47	-0.007	589.342	589.325
24	10.085	10.070	-0.015	-1537.813	-1536.350	1.463	46	-0.028	589.832	589.827
25	10.085	10.080	-0.005	-1537.818	-1536.348	1.469	43	-0.034	590.347	590.320
26	10.085	10.070	-0.015	-1537.823	-1536.380	1.444	45	-0.009	590.856	590.834
27	10.075	10.070	-0.005	-1537.804	-1536.367	1.437	43	-0.002	591.340	591.345
28	10.075	10.070	-0.005	-1537.814	-1536.363	1.451	47	-0.016	591.836	591.842
29	10.080	10.070	-0.010	-1537.808	-1536.351	1.457	46	-0.022	592.375	592.337
30	10.075	10.070	-0.005	-1537.808	-1536.370	1.438	50	-0.003	592.846	592.830
31	10.075	10.060	-0.015	-1537.805	-1536.375	1.430	40	0.005	593.360	593.330
32	10.080	10.070	-0.010	-1537.804	-1536.379	1.425	46	0.010	593.849	593.824
33	10.075	10.060	-0.015	-1537.812	-1536.360	1.452	48	-0.017	594.354	594.330
34	10.070	10.070	0.000	-1537.802	-1536.364	1.438	47	-0.003	594.854	594.843
35	10.060	10.060	0.000	-1537.795	-1536.338	1.457	46	-0.022	595.329	595.341
36	10.060	10.060	0.000	-1537.798	-1536.350	1.449	42	-0.014	595.845	595.846
37	10.060	10.060	0.000	-1537.798	-1536.355	1.443	44	-0.008	596.335	596.331
38	10.060	10.060	0.000	-1537.797	-1536.364	1.432	48	0.003	596.850	596.823
39	10.060	10.060	0.000	-1537.795	-1536.361	1.434	52	0.001	597.337	597.338
40	10.050	10.060	0.010	-1537.800	-1536.334	1.467	43	-0.032	597.845	597.846
41	10.060	10.060	0.000	-1537.796	-1536.353	1.443	44	-0.008	598.345	598.366
42	10.060	10.050	-0.010	-1537.801	-1536.340	1.461	43	-0.026	598.855	598.857
43	10.050	10.050	0.000	-1537.794	-1536.354	1.440	53	-0.005	599.340	599.328
44	10.050	10.050	0.000	-1537.789	-1536.360	1.429	50	0.006	599.851	599.837

45	10.050	10.040	-0.010	-1537.794	-1536.344	1.450	52	-0.015	600.335	600.342
46	10.050	10.040	-0.010	-1537.800	-1536.323	1.478	48	-0.043	600.846	600.841
47	10.050	10.050	0.000	-1537.795	-1536.342	1.453	44	-0.018	601.340	601.342
48	10.050	10.050	0.000	-1537.795	-1536.326	1.469	51	-0.034	601.828	601.849
49	10.050	10.050	0.000	-1537.789	-1536.352	1.437	48	-0.002	602.336	602.347
50	10.040	10.040	0.000	-1537.800	-1536.335	1.464	47	-0.029	602.856	602.852
51	10.050	10.040	-0.010	-1537.787	-1536.319	1.468	50	-0.033	603.346	603.337
52	10.040	10.040	0.000	-1537.770	-1536.341	1.429	47	0.006	603.846	603.839
53	10.050	10.040	-0.010	-1537.787	-1536.319	1.469	51	-0.034	604.356	604.337
54	10.040	10.030	-0.010	-1537.789	-1536.330	1.458	54	-0.023	604.861	604.837
55	10.040	10.040	0.000	-1537.779	-1536.331	1.448	53	-0.013	605.341	605.358
56	10.040	10.040	0.000	-1537.768	-1536.335	1.433	54	0.002	605.841	605.837
57	10.040	10.040	0.000	-1537.779	-1536.342	1.437	61	-0.002	606.342	606.343
58	10.030	10.030	0.000	-1537.778	-1536.326	1.453	52	-0.018	606.847	606.838
59	10.030	10.040	0.010	-1537.775	-1536.349	1.425	49	0.010	607.341	607.348
60	10.030	10.030	0.000	-1537.781	-1536.330	1.451	43	-0.016	607.812	607.848
61	10.030	10.030	0.000	-1537.779	-1536.334	1.445	43	-0.010	608.327	608.308
62	10.030	10.020	-0.010	-1537.773	-1536.334	1.439	49	-0.004	608.847	608.853
63	10.020	10.020	0.000	-1537.776	-1536.335	1.442	39	-0.007	609.347	609.323
64	10.020	10.020	0.000	-1537.779	-1536.344	1.435	54	0.000	609.862	609.838
65	10.030	10.020	-0.010	-1537.775	-1536.327	1.448	50	-0.013	610.337	610.354
66	10.020	10.020	0.000	-1537.769	-1536.332	1.438	51	-0.003	610.837	610.848
67	10.020	10.020	0.000	-1537.771	-1536.324	1.447	49	-0.012	611.347	611.353
68	10.020	10.020	0.000	-1537.782	-1536.333	1.449	47	-0.014	611.828	611.839
69	10.020	10.010	-0.010	-1537.763	-1536.345	1.418	50	0.017	612.342	612.329
70	10.010	10.010	0.000	-1537.767	-1536.318	1.449	48	-0.014	612.823	612.834
71	10.010	10.000	-0.010	-1537.772	-1536.328	1.444	45	-0.009	613.333	613.343
72	10.010	10.010	0.000	-1537.764	-1536.315	1.449	49	-0.014	613.838	613.834
73	10.010	10.000	-0.010	-1537.760	-1536.325	1.435	51	-0.000	614.348	614.339
74	10.010	10.010	0.000	-1537.761	-1536.341	1.420	47	0.015	614.831	614.867
75	10.010	10.005	-0.005	-1537.761	-1536.327	1.434	44	0.001	615.349	615.343
76	10.010	10.005	-0.005	-1537.769	-1536.345	1.424	38	0.011	615.825	615.836
77	10.010	10.005	-0.005	-1537.762	-1536.343	1.418	41	0.017	616.332	616.336
78	10.005	9.995	-0.010	-1537.755	-1536.316	1.439	49	-0.004	616.832	616.846
79	10.005	10.005	0.000	-1537.760	-1536.323	1.437	41	-0.002	617.337	617.348
80	10.005	10.005	0.000	-1537.759	-1536.325	1.434	44	0.001	617.837	617.839
81	10.005	10.005	0.000	-1537.761	-1536.306	1.455	41	-0.020	618.355	618.326
82	10.005	9.995	-0.010	-1537.755	-1536.312	1.443	46	-0.008	618.842	618.832
83	9.995	10.005	0.010	-1537.757	-1536.315	1.442	49	-0.007	619.335	619.343
84	9.995	10.005	0.010	-1537.760	-1536.336	1.423	44	0.012	619.835	619.840
85	9.995	9.995	0.000	-1537.765	-1536.312	1.453	41	-0.018	620.343	620.339
86	9.995	9.995	0.000	-1537.751	-1536.280	1.471	35	-0.036	620.836	620.827
87	9.995	9.995	0.000	-1537.757	-1536.313	1.444	43	-0.009	621.340	621.344
88	9.995	9.995	0.000	-1537.758	-1536.305	1.453	44	-0.018	621.831	621.829
89	9.995	9.995	0.000	-1537.760	-1536.304	1.456	48	-0.021	622.341	622.342
90	9.995	9.980	-0.015	-1537.753	-1536.312	1.440	39	-0.005	622.846	622.821
91	9.995	9.995	0.000	-1537.750	-1536.303	1.447	44	-0.012	623.348	623.341
92	9.995	9.995	0.000	-1537.761	-1536.307	1.454	51	-0.019	623.828	623.839
93	9.980	9.995	0.015	-1537.745	-1536.297	1.448	43	-0.013	624.338	624.352
94	9.995	9.995	0.000	-1537.743	-1536.306	1.437	47	-0.002	624.841	624.843
95	9.995	9.980	-0.015	-1537.742	-1536.304	1.437	45	-0.002	625.361	625.348
96	9.995	9.980	-0.015	-1537.744	-1536.309	1.435	42	-0.000	625.841	625.833
97	9.995	9.980	-0.015	-1537.741	-1536.298	1.443	41	-0.008	626.342	626.338
98	9.995	9.980	-0.015	-1537.731	-1536.295	1.436	49	-0.001	626.839	626.843
99	9.980	9.980	0.000	-1537.744	-1536.314	1.430	54	0.005	627.337	627.325

Antal afstande anvendt i beregning af spredning: 100

Spedning: 0.017

Afstand mellem skinner ifølge banenorm: 1.435
Højdeforskel: 0.000

BILAG E

Beregning af cirkelstørrelse

I dette bilaget ses et matlab-script som er anvendt til at beregne cirklens størrelse ud fra UT-profil.

Script E.1: *Script til beregning af cirkelstørrelse*

```
clc

%sporvidde og overhøjde mellem skinne i mm
sv=1435
s_H=180
rot=asin(s_H/sv)*(-1);

%centerpunkt
Pc=[0 2610]

%x og y i mm til UT-profil
P=[0 0
1270 50
1570 350
1750 750
2300 750
2300 3530
2000 3530
2000 4800
1340 4800
1020 5045
765 5085
660 5095
320 5125
0 5125];

%roterede koordinater. der roteres om 0,0
Pr=[cos(rot)*P(:,1)-sin(rot)*P(:,2) sin(rot)*P(:,1)+cos(rot)*P(:,2)
    ];

figure
hold on
axis equal
plot(P(:,1),P(:,2),'-k');
plot(Pr(:,1),Pr(:,2),'-r');
plot(Pc(1),Pc(2),'ok');
```

```
plot(0,0,'ok');

%afstand fra centerpunkt til roterede punkter
dxy=[(Pr(:,1)-Pc(1)) (Pr(:,2)-Pc(2))];
dist=sqrt(dxy(:,1).*dxy(:,1) + dxy(:,2).*dxy(:,2));
maxd=max(dist);

pprd=[P Pr dist];
P_Pr_dist=sprintf('%5.0f %5.0f    %5.0f %5.0f   %5.0f\r\n',pprd')
dist_max=sprintf('%5.0f\r\n',maxd)
```

BILAG F

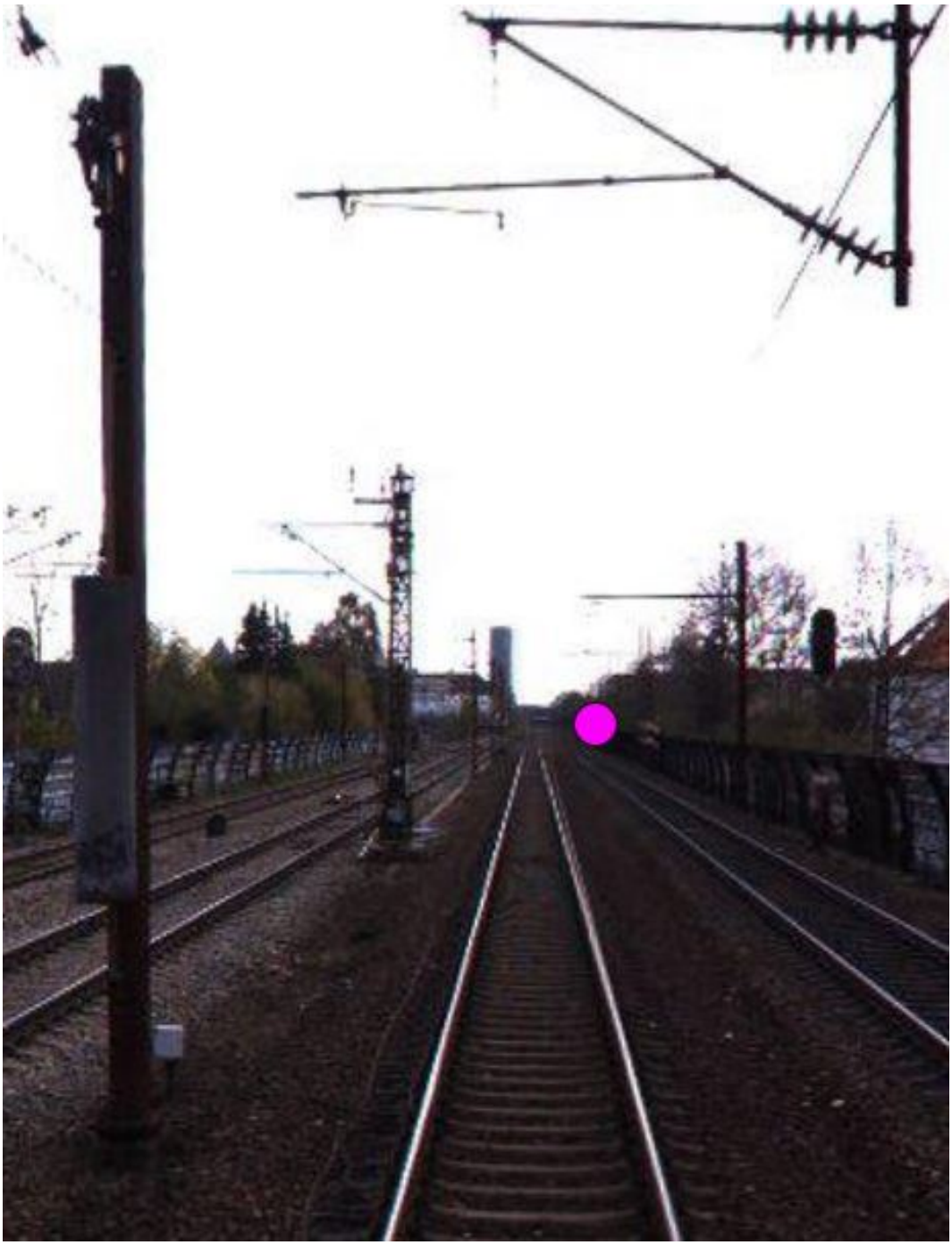
Billeder fra skanningen

I dette bilag ses figurer der viser de fundne genstande langs jernbanen. Der er til hver figur tilknyttet et link, hvor man kommer direkte til den tilhørende 360 graders billede [Rambøll, ud].

Figur F.1: *Billede tilhørende strækning 14025-14075 spor 1. Direkte link:* `https://ramview360.xyz/Sporombygning-Kbh-Htaa/RamView360.html?location=A3_01672&yaw=85.81&pitch=-4.26&hfov=90`

Figur F.2: *Billede tilhørende strækning 14025-14075 spor 2. Direkte link:* `https://ramview360.xyz/Sporombygning-Kbh-Htaa/RamView360.html?location=A4_08280&yaw=89.13&pitch=-6.26&hfov=90`

Figur F.3: *Billede tilhørende strækning 14075-14125 spor 1. Direkte link:* `https://ramview360.xyz/Sporombygning-Kbh-Htaa/RamView360.html?location=A3_01657&yaw=79.07&pitch=-1.78&hfov=90`



Figur F.4: *Billede tilhørende strækning 14525-14575 spor 1. Direkte link:* `https://ramview360.xyz/Sporombygning-Kbh-Htaa/RamView360.html?location=A3_01507&yaw=79.42&pitch=-8.82&hfov=90`

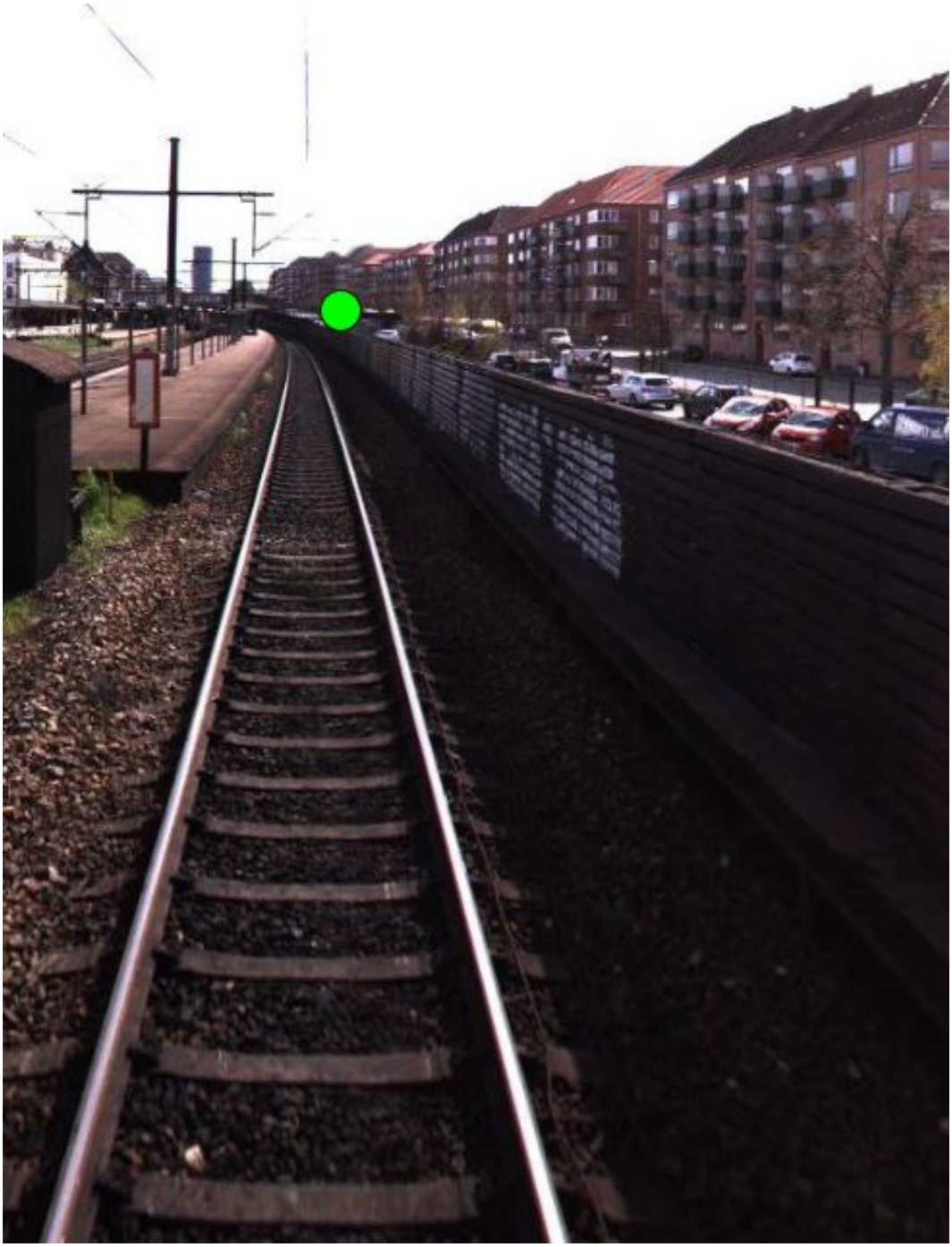
Figur F.5: *Billede tilhørende strækning 14575-14625 spor 1. Direkte link:* `https://ramview360.xyz/Sporombygning-Kbh-Htaa/RamView360.html?location=A3_01497&yaw=86.43&pitch=0.47&hfov=90`

Figur F.6: *Billede tilhørende strækning 14575-14625 spor 2. Direkte link:* `https://ramview360.xyz/Sporombygning-Kbh-Htaa/RamView360.html?location=A4_08450&yaw=89.29&pitch=-3.43&hfov=90`

Figur F.7: *Billede tilhørende strækning 15025-15075 spor 1. Direkte link:* `https://ramview360.xyz/Sporombygning-Kbh-Htaa/RamView360.html?location=A3_01347&yaw=97.85&pitch=-0.54&hfov=90`

Figur F.8: *Billede tilhørende strækning 15025-15075 spor 2. Direkte link:* `https://ramview360.xyz/Sporombygning-Kbh-Htaa/RamView360.html?location=A4_08605&yaw=94.12&pitch=-3.58&hfov=90`

Figur F.9: *Billede tilhørende strækning 15075-15125 spor 1. Direkte link:* `https://ramview360.xyz/Sporombygning-Kbh-Htaa/RamView360.html?location=A3_01332&yaw=82.97&pitch=-2.66&hfov=90`



Figur F.10: *Billede tilhørende strækning 15075-15125 spor 2. Direkte link:* `https://ramview360.xyz/Sporombygning-Kbh-Htaa/RamView360.html?location=A4_08620&yaw=84.97&pitch=-18.49&hfov=120`