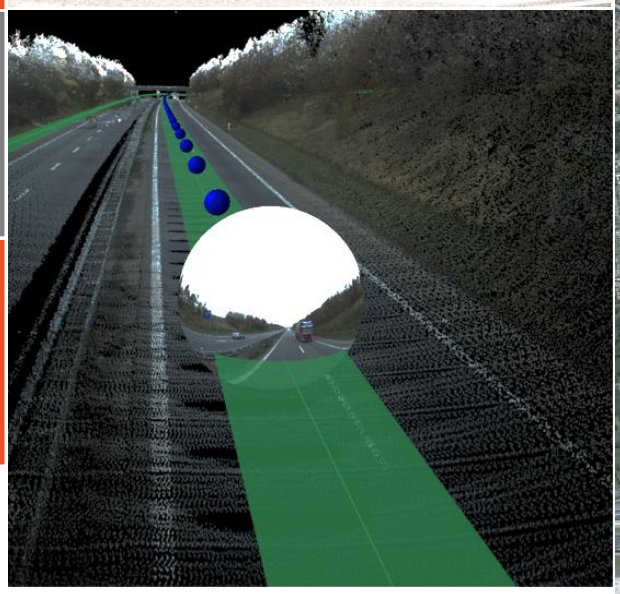
TOPCON IP-S2 HD • LiDAR • 3D RGB PUNKTSKY • PANORAMABILLEDER • TERRASCAN • GEOCLEAN • SPATIAL FACTORY

# MOBILE MAPPING

## - Datakvalitet og procedurer



Aalborg Universitet
Institut for Samfundsudvikling og Planlægning
Landinspektøruddannelsens 10. semester, MS
Poul Holm Jensen
7. juni 2012

**Institut for Samfundsudvikling og Planlægning**
**Landinspektøruddannelsen 10. semester, Measurement Science**
Aalborg Universitet
Fibigerstræde 11
9220 Aalborg Ø
Tlf.: +45 9635 8341
http://www.lsn.aau.dk

**Titel:**
Mobile Mapping
- Datakvalitet og procedurer

**Tema:**
Afgangsprojekt
(Master Thesis)

**Projektperiode:**
10. semester
1. februar - 7. juni 2012

**Projekgruppe:**
land10ms_aal03

**Udarbejdet af:**

Poul Holm Jensen

**Vejledere:**
Carsten Bech
Karsten Jensen

**Synopsis:**

Denne rapport tager sit udgangspunkt i problemformuleringen:

*Har dataindsamlings- og beregningsprocedurer betydning for nøjagtigheden af Mobile Mapping data?*

Problemformuleringen forsøges besvaret igennem analyser og empiriske tests, hvori Topcon IP-S2 HD Mobile Mapping og dertilhørende software anvendes.

Projektet tager sit udgangspunkt i 10 testkørsler med Mobile Mapping, som er foretaget af COWI på en 5 kilometer teststrækning syd for Odense. De 10 dataindsamlinger er udført med forskellige opsætninger og procedurer. Dette berører følgende områder; hastighed, scan sampling frekvens, referencestationer og kontrolpunkter. De fire emner er analyseret på baggrund af de tilgængelige datasæt samt software. Kontrollen af den absolutte nøjagtighed er foretaget ved hjælp af interpolation af i Z-koordinatet fra 71 kontrolpunkter, fordelt på opmålingsstrækningen i forhold til punktskyen.

Udfra resultaterne i analysen kan det konkluderes, at hastighed og scan sampling frekvens ikke har en direkte betydning for nøjagtigheden af data. Ved referenceafstande på over 25 kilometer mellem base og rover, forringes nøjagtigheden væsentligt. Ved transformation af datasættet over fysiske kontrolpunkter kan der opnås nøjagtigheder på få centimeters niveau.

Den overordnede konklusion er at; dette system, på nuværende tidspunkt, ikke er i stand til at levere data med en kvalitet og nøjagtighed, der kan anvendes i tiltænkte projekter.

**Oplagsantal:** 5

**Sideantal:** 114 (183 inklusiv Appendiks)

**Bilagsantal:** 1 CD

**Afsluttet:** 7. juni 2012

*Rapportens indhold er frit tilgængeligt, men offentliggørelse (med kildeangivelse) må kun ske efter aftale med forfatteren. Forside billede Foto: COWI.*

**Department of Development and Planning**
**M.Sc. in Surveying, $10^{th}$ semester, Measurement Science**
Aalborg University
Fibigerstræde 11
9220 Aalborg Ø
Tlf.: +45 9635 8341
http://www.lsn.aau.dk

**Title:**
Mobile Mapping
- Data quality and procedures

**Theme:**
Master thesis

**Project period:**
$10^{th}$ semester
1 February - 7. June 2012

**Project group:**
land10ms_aal03

**Prepared by:**

Poul Holm Jensen

**Main Supervisor:**
Carsten Bech

**Supervisor:**
Karsten Jensen

**Abstract:**

This report treats the problem statement::

*Do data collection and calculation procedures impact the accuracy of mobile mapping data?*

The answer of the above question is based on analyses and empirical tests by means of Topcon IP-S2 HD mobile mapping and related software.

The project is based on COWI´s ten mobile mapping tests drives on a five kilometres long test distance south of Odense. The ten data collections were carried out with different setups and procedures involving the following: speed, scan sampling frequency, reference stations and ground control points. These four parameters are analysed based on the available dataset and software. The absolute accuracy is checked by interpolating Z-coordinates from 71 ground control points, surveying the route compared to the point cloud.

From the results it can be concluded that speed and scan sampling frequency do not directly affect the accuracy of the data. Reference distances from base to rover exceeding twenty-five kilometres entail a considerable reduction of. By transforming the dataset´s physical control points, it is possible to achieve an accuracy within a few centimetres.

The overall conclusion is that at present time, without transformation, this system is not able to deliver data with the necessary absolute quality and accuracy which will be required for future projects.

**Circulation:** 5

**Pages:** 114 (183 including appendix)

**Enclosures:** 1 CD

**Completed:** 7 June 2012

*The contents of the report is free, but any publication (with reference) is subject to the authors' approval. Frontpage picture courtesy of: Photo COWI.*

# Forord

Denne rapport er afgangsprojektet på landinspektørstudiets 4. semester i specialet M.Sc. i Measurement Science(landinspektøruddannelsens 10. semester) ved Institut for Samfundsudvikling og Planlægning ved Aalborg Universitet.
Rapporten er udarbejdet fra; primo februar 2012 til primo juni 2012. Rapporten skal danne grundlag for eksamination og henvender sig derfor primært til censor og vejledere.

*"De studerende skal ved semesterets afslutning kunne:*

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

*[Studievejledning, 2012]*

Med udgangspunkt i ovenstående læringsmål vælges der et emne under temaet *"Mobile Mapping"*.

Der skal lyde en tak til COWI, samt i særdeleshed følgende personer, for at have gjort det muligt at gennemføre afgangsprojektet:

- Morten Thoft
- Jens Ravn Knudsen

I rapporten kan der forekomme anvendelse af engelske udtryk, da det er vurderet, at en oversættelse ikke vil have samme betydning, eller at der ikke findes danske udtryk herfor. Kildehenvisninger er angivet efter Harvard metoden. Det vil sige forfatterens efternavn, årstal for udgivelse samt eventuelt sidetal angives i kantede parenteser, som det fremgår af dette eksempel [Topcon 2012, s.43]. Ved referencer til hjemmesider angives et fortløbende nummer i kantede parenteser, som for eksempel [3], der henviser til et tilsvarende i kildelisten, hvor de forskellige hjemmesider er alfabetisk ordnet efter sidens ejer. Der anvendes "punktum"som decimalseperator i stedet for "komma". Enheden er meter med mindre andet er angivet.

Figurerer, ligninger, tabeller og billeder er nummereret fortløbende i hvert kapitel, for eksempel angives figur 10 i kapitel 6, som 'figur 6.10'. Der er i forbindelse med rapporten udarbejdet et appendiks og en bilags CD. Appendiks er bagerst i rapporten, mens bilags CD'en er placeret i plastlommen bagerst i appendiks. Henvisninger til vedlagte appendiks er angivet som "appendiks A", hvor hvert appendiks er tildelt et bogstav. Første appendiks, appendiks A, indeholder en oversigt over mappestrukturen på bilags CD'en samt en kort beskrivelse af mappernes indhold. På den vedlagte bilags CD er der ligeledes øvrige relevante filer, som for eksempel selve rapporten i PDF-format og appendiksrapporten. Derudover findes på bilags CD'en ligeledes dokumentation for data, beregninger, resultater, billeder, videoklip m.m. Data, der anvendes i projektet, er ikke tilgængeligt, da disse er fortrolige og kun til intern brug.

Gennem projektet benyttes to udtryk for spredning; standard afvigelse (Std. dev.) og RMS:

$$Std.dev. = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(r_i - \bar{r})^2}{n}} \tag{1}$$

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(r_i)^2}{n}} \tag{2}$$

hvor,
$n$ er antallet af observationer
$r_i$ er residualet
$\bar{r}$ er middelresidualet

I forbindelse med udarbejdelse af rapporten er følgende software anvendt:

- GeoClean
- Spatial Factory
- KMSTrans
- MIcroStation
- TerraScan

**Forkortelser**
Der er igennem projektet anvendt en række forkortelser for de hyppigst anvendte ord, som fremgår af nedenstående liste:

- DR - Dead Reckoning
- GCP - Ground Control Points
- GIS - Geografiske Informations Systemer
- GNSS - Global Navigation Satellite System
- GPS - Global Positioning System
- IMU - Inertial Measurement Unit
- LAS - LiDAR Data Exchange Format Standard
- LGO - Leica Geo Office
- LiDAR - Light Detection And Ranging
- MM - Mobile Mapping
- MMS - Mobile Mapping System
- RMS - Root Mean Square
- VD - Vejdirektoratet
- VRS - Virtual Reference Station

# Indhold


**1 Indledning** **1**

**2 Projektmetode** **3**

**3 Initierende problem - Mobile Mapping** **5**

**4 Foranalyse** **7**
4.1 Mobile Mapping . . . 7
4.1.1 Topcon IP-S2 HD . . . 10
4.2 Præsentation af data . . . 16
4.2.1 Grundlag . . . 16
4.2.2 Dataindsamling . . . 16
4.2.3 Udførelse . . . 18
4.2.4 Databehandling . . . 18
4.3 Uddybning af problemstilling . . . 20
4.3.1 Projekt afgræsning . . . 22
4.3.2 Hastighed . . . 23
4.3.3 Scan samplings frekvens . . . 24
4.3.4 Referencestationer . . . 25
4.3.5 Fikspunkter/paspunkter . . . 26

**5 Problemformulering** **27**

**6 Afgrænsning** **29**
6.1 Præsentation og gennemgang af testdata . . . 29
6.2 Processerings- og beregningsmetode . . . 32
6.2.1 Software . . . 32

**7 Problemanalyse** **35**
7.1 Dataprocessering . . . 35
7.1.1 Postrocessering . . . 36
7.1.2 Dataformater . . . 40
7.1.3 Clean af trajectory og eksport . . . 40
7.1.4 Kontrol af data . . . 40
7.1.5 Ground Control Points . . . 41
7.1.6 Matematisk sammenligningsgrudlag . . . 42

7.1.7 Visualisering af afvigelser . . . . . 45
7.2 Indledende test analyser . . . . . 47
7.2.1 Test af funktionen - Clean . . . . . 47
7.2.2 Resultat . . . . . 47
7.2.3 Vurdering - Clean . . . . . 48
7.3 Dataprocessering - Hastighed . . . . . 50
7.3.1 Resultat . . . . . 50
7.3.2 Vurdering - Hastighed . . . . . 56
7.4 Dataprocessering - Scan Sampling Frekvens . . . . . 59
7.4.1 Resultat . . . . . 59
7.4.2 Vurdering - Scan sampling Frekvens . . . . . 69
7.5 Dataprocessering - Referencestationer . . . . . 71
7.5.1 Referencedata . . . . . 74
7.5.2 Resultat . . . . . 75
7.5.3 Vurdering - Referencestationer . . . . . 79
7.6 Transformation over GCP . . . . . 82
7.6.1 Resultat . . . . . 83
7.6.2 Vurdering - Transformation over GCP . . . . . 86

**8 Konklusion** **89**

**9 Perspektivering** **93**

**Kildeliste** **97**

**I Appendiks** **1**

**A Bilags CD** **3**

**B MMS sensorer og funktioner** **5**

**C Topcon IP-S2 HD** **7**

**D Testoversigt 2011** **15**

**E Facts vedr. dataindsamling** **17**

**F Data- analyse- og sammenligningsgrundlag** **19**

**G Mailkorrespondance - Trimble - Geoteam** **21**

**H GPSnet.dk** **25**
H.0.3 VRS - Virtual Reference Station . . . . . 26

**I GeoClean Workstation** **29**
I.1 Workstation . . . . . 29
I.1.1 Step 1: Setting the project Directory . . . . . 30
I.1.2 Step 2: Local Inertial Post-Processing . . . . . 33
I.1.3 Step 3: Point Cloud Generation . . . . . 35
I.1.4 Step 4: PGR Converter . . . . . 36
I.1.5 Step 5: Pics Poser . . . . . 38
I.1.6 Step 6: Point Clod Viewer . . . . . 39

**J Spatial Factory** **43**
J.1 Spatial Factory . . . . . 43
J.1.1 Step 1: Data import . . . . . 44
J.1.2 Step 2: Clean data . . . . . 45
J.1.3 Step 3: Load data . . . . . 46
J.1.4 Step 4: View data . . . . . 48
J.1.5 Step 6: Match . . . . . 51

**K TerraScan - MicroStation** **55**
K.0.6 TerraScan . . . . . 55
K.0.7 Starting TerraScan . . . . . 56
K.0.8 Setting the Project Directory . . . . . 56
K.0.9 Data Import . . . . . 60
K.0.10 View Data . . . . . 62
K.0.11 Control Report . . . . . 64

# Indledning 1

Denne rapport omhandler, som beskrevet i studieordningen for 10. Semester, temaet: *Afgangsprojekt.* Med udgangspunkt i dette tema har jeg besluttet mig for at skrive et afgangsprojekt omhandlende emnet: *Mobile Mapping*

MM(Mobile Mapping) er et af de nyere fænomener indenfor opmåling og kortlægning. I Danmark findes der hos COWI A/S et af disse systemer. MM bygger på et samlet system hvor det er muligt, at montere scanneren på et køretøj og dermed scanne medens scanneren er i bevægelse. Derved optimeres og effektiviseres opmåling og kortlægning væsentligt i forhold til traditionelle metoder. Jeg finder denne metode interessant, idet jeg i tidligere projekter har beskæftiget mig med terrestrisk laserscanning på forskellig vis.

Afgangsprojektet tager udgangspunkt i et samarbejde med COWI A/S omkring undersøgelse af MMS(Mobile Mapping systemet). COWI anvender idag MM indenfor en række opmålings- og kortlægningsopgaver. I den forbindelse vil jeg gerne undersøge, hvor godt dette system egentlig måler. Her tænkes der specielt på datakvaliteten, i form af nøjagtigheden på baggrund af aktualitet og fuldstændighed. Dette undersøges og analyseres gennem en række testkørsler, der er foretaget af COWI i samarbejde med VD(Vejdirektoratet). På baggrund af analyser, indenfor dette felt, er formålet at komme med et kvalificeret bud på optimal og effektiv opmåling og kortlægning ved hjælp af MM.

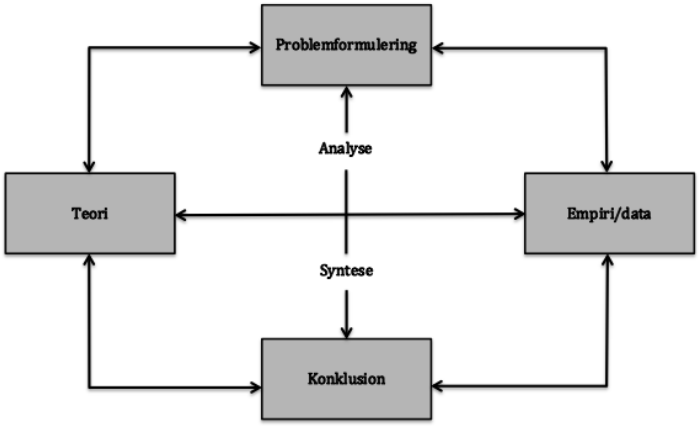
Formålet er at få en forståelse for principperne bag MMS, samt hvilke procedure der har indvirkning på datakvalitet - og derved nøjagtigheden. Der er, i samarbejde med COWI, udvalgt en række emner, som vurderes at kunne have indvirkning på datakvaliteten og nøjagtigheden fra dette system. Gennem projektet påtænkes det at analysere disse emner, for derved at kunne vurdere systemets anvendelighed.

Afgangsprojektet tager udgangspunkt i en praktisk løsningsorienteret fremgangsmåde frem for et decideret teoretisk tilgang. Der tages udgangspunkt i en konkret praktisk problemstilling, der ønskes undersøgt og belyst.

MM er en hurtig og effektiv opmålings- og kortlægningsmetode, som vil kunne effektivisere mange projekter i fremtiden. Dog har dette system og og de anvendte metoder nogle begrænsninger, hvilket vil blive analyseret og vurderet gennem dette projekt.

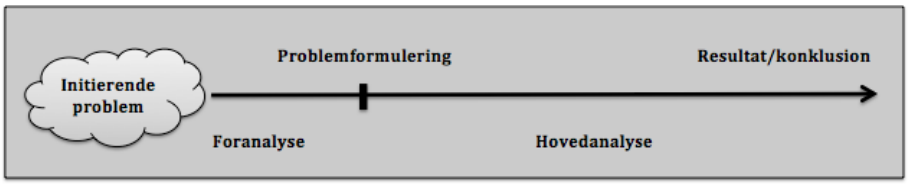
# Projektmetode 2

Rapporten er bygget op omkring den rammeordning, der gælder for problemorienteret projektarbejde på landinspektøruddannelsens overbygning, jævnfør figur 2.1.




**Figur 2.1** – Simplificeret metodestruktur for problemorienteret projektarbejde[Brodersen, 2006].

Rapporten er opdelt i to dele; en foranalyse og en hovedanalyse. Foranalysen indeholder analysearbejdet mod en problemformulering ud fra et initierende problem jævnfør. figur 7.1. Hovedanalysen omfatter problemanalysen, hvor problemformuleringen ønskes besvaret igennem.




**Figur 2.2** – Projektets todeling og projektproces [Brodersen, 2006].

# Initierende problem - Mobile Mapping 3

MM er et af de nyere metoder indenfor terrestrisk opmåling og kortlægning. I udlandet vinder denne opmålingsmetode mere og mere frem, i takt med at teknologierne bag systemet forbedres markant. I Danmark er dette system ligeledes taget i anvendelse da ingeniørfirmaet COWI har investeret i et af disse systemer. Min interesse for dataindsamling via laserscanning teknologier stammer generelt fra studiet igennem undervisning og arbejde med området på overbygningen af landinspektøruddannelsens kandidatdel. Yderligere blev jeg under mit virksomhedsophold hos COWI, gjort opmærksom på dette systems muligheder indenfor opmåling og kortlægning. Gennem projektarbejde, kurser, gæsteforelæsninger, eksterne firmaer og medierne blev jeg opmærksom på de mange spændende og udfordrende opgaver, der kan skabes og løses med denne teknologi. Jeg anser området for værende væsentligt i forbindelse med fremtidsudviklingen, der er store potentialer her indenfor. Jeg finder det interessant og aktuelt, at arbejde med MM, idet jeg mener, at MM vil dominere langt flere områder indenfor terrestrisk landmåling af teknisk karakter og denne holdning er jeg ikke alene om. I en artikel fra avisen "Ingeniøren"understøttes denne holdning af såvel COWI samt VD [5].

Teknikken vil erstatte mange, før omfattende og tidskrævende, opgaver. De væsentlige er større bygge- og anlægsarbejder, detailmåling af f.eks. vej forløb eller større bebyggede områder, hvor det i dag kan være et krav, at opmålingen udføres ved hjælp af scanning og dokumenteres på baggrund heraf, idet der f.eks. er et ønske om fuldstændighed og effektiv dataopsamling.

MM kan anvendes på mange områder på grund af kravet til nøjagtighed, fuldstændighed og tidsforbrug skal gå i spænd. Fordelene ved MM er den hurtige dataindsamling, høj detaljeringsgrad, nøjagtigheden og fuldstændigheden, blot for at nævne nogle af de væsentligste fordele. Udviklingen af MMS tager hastige skridt og flere opgaver ville kunne løses ved hjælp af denne metode i fremtiden. Opmærksomheden og mulighederne herved vinder frem flere steder.

Nedenstående illustrer en række eksempler på de områder, hvor MM kan være anvendelige, efterfølgende er disse kort beskrevet:

- *Roadway Asset Management*
- *Power Transmission and Distribution*
- *Telecommunications*
- *Pipelines*
- *Railways*
- *Homeland Security*
- *Disaster Management*

*[6]*

MM systemet har mange anvendelsesmuligheder, men hvor godt er dette system? Hvilke begrænsninger har systemet i forhold til datakvalitet og nøjagtighed? Hvilke faktorer har indvirkning på datakvaliteten? Og hvilke har den største indvirkning? Producenten har en række nøjagtighedskrav som systemet kan overholde under optimale forhold, dog er disse forhold ikke altid tilstede, og hvad vil systemet i denne situation kunne præstere? Det er procedurerne indenfor dataindsamling og databehandling, der har fanget min interesse. Konkret ønskes der at se på de parametre og forudsætninger, der gør sig gældende i forbindelse med nøjagtighedskravet ved en konkret problemstilling.

Der er mange faktorer, der gør sig gældende for netop datakvaliteten og nøjagtigheden. Dette projekt vil være afgrænset til at have fokus på nogle af systemets begrænsninger ved dataindsamling- og efterfølgende beregningsprincipper og metoder med henblik på stadig effektiv og optimal anvendelse af denne opmålingsmetode.

Formålet er at skabe et overblik over hvilke procedurer og faktorer, der har indvirkning på datakvaliteten ved anvendelse af MMS under normale omstændigheder. Projektet udføres med hovedfokus på egen læring og forståelse for emnet, men ligeledes i samarbejde med COWI, der ønsker større indsigt i, hvordan dette system anvendes optimalt under forskellige forudsætninger.

Projektets initierende problemstilling er:

***Procedurer for optimal og effektiv datindsamling via Mobile Mapping.***

# Foranalyse 4

Foranalysen vil tage udgangspunkt i den initierende problemstilling. Foranalysen skal, for læseren, klarlægge hvilke problemstillinger der arbejdes med i projektet. Her beskrives de forskellige metoder og systemer, der anvendes ved MMS. Der vil være en beskrivelse af dataindsamling og databearbejdning. Der vil være en beskrivelse af generelle rutiner og metoder af den databearbejdning, processering og kvalitetskontrol, der idag anvendes af COWI. Der tages udgangspunkt i COWI´s MMS fra Topcon og dertilhørende software i det omfang, det er anvendeligt og nødvendigt. Foranalysen vil ligeledes lede frem til problemformuleringen, der ønskes besvaret gennem problemanalysen.

## 4.1 Mobile Mapping

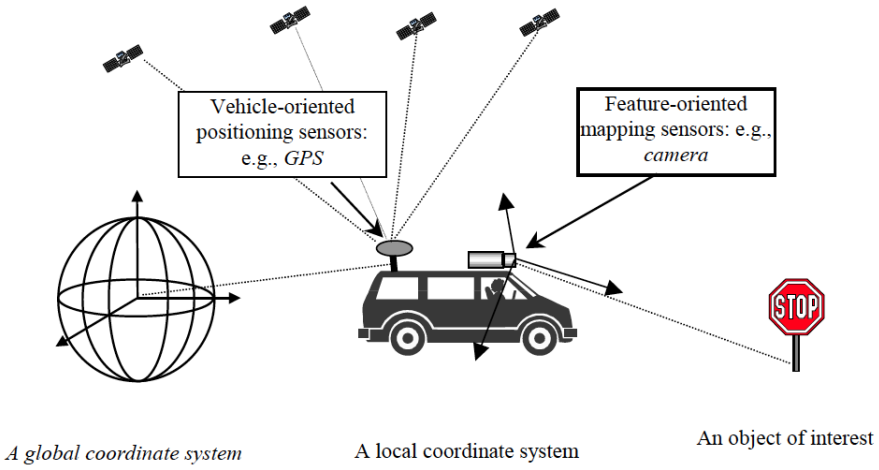
Dette afsnit vil indeholde en beskrivelse af de de generelle metoder og teknikker ved MMS, samt en beskrivelse af det anvendte system i dette afgangsprojekt.

MMS er en af de nyere metoder til fysisk opsamling af data. Det er en relativ ny metode i den forstand at de første systemer blev udviklet i begyndelsen af 1990'erne på Center for Mapping på Ohio State University ved udvikling af GPSVanTM. Efterfølgende blev der ved University of Calgary udviklet et lignende system kaldet VISAT(Video, Intertial, and satellit-GPS )van[1]. Formålet var at udvikle et præcist og økonomisk hjælpeværktøj til indsamling af geodata, idet konventionelle metoder var for dyre og tidskrævende.

Et mobilt kortlægningssystem kan defineres som, "en bevægelig platform", hvorpå flere sensorer/målesystemer er integreret til at skabe tredimensionale kontinuerlige positioneringer af platformen, og samtidig opsamle georefereret data med ingen eller begrænset jordkontrol ved brugen af GPS-basestationer. I sin enkelthed drejer det sig om integration og styrring af forskellige dataindsamlingsenheder, som ved hjælp af databehandling kan anvendes til bestemmelse af rumlige fysiske objekter på jorden. [Rongxing Li, 2011]

[1] VISAT mobile mapping system er en fælles bestræbelse mellem University of Calgary og VISAT Technologies, Inc.

Der er tre grundlæggende instrumenter ved et MMS: GPS(Global Positioning System), IMU(Inertial Measurement Unit) eller anden form af DR ("dead-reckoning") sensor, og et billede, video eller opmålingssystem, i dette tilfælde en laserscanner. De forskellige sensorer bestemmer køretøjets placering og bevægelse på et givent tidspunkt og indsamler positionerings- og orienteringsoplysninger.




**Figur 4.1** – Konceptet bag MMS ved direkte georefererring [C. Vincent Tao, 2000]

MMS er kendetegnet ved anvendelse af flere sensorer, samt integrerede processeringsmetoder. Konkret er der to primære typer af sensorer; positionerings- og kortlægningssensorer:

***Positioneringssensorer:***

- *Environment-dependent external positioning sensors: GPS, radio navigation systems, Loran-C, and cellular positioning devices, etc.*
- *Self-contained inertial positioning sensors: INS or IMU(Inertial Measurement Unit), deadreckoning systems, gyroscopes, accelerators, compasses, odometers, and barometers, etc.*

***Kortlægningssensorer***

- *Passive imaging sensors: Video or digital cameras, multi-spectrum or hyper-spectrum scanners, etc.*
- *Active imaging sensors: Laser range finders or scanners, and synthetic aperture radar (SAR), etc.*

[C. Vincent Tao, 2000, s. 5]

MMS anvender flere sensorer og bygger på begreberne fra kinematisk geodæsi og digital fotogrammetri. Formålet er at skabe, lagre og processere, målbare og nøjagtig data, der beskriver objekter relateret til et geografisk sted på jordens overflade. Geografiske informationer til objekterne hentes direkte ved georefereret kortlægning via sensordata ved at integrere både navigationsdata og sensordata. MMS teknologien har udviklet sig til et brugbart værktøj, som blandt andet giver kortlægnings- og GIS industrien muligheder for at anvende denne metode. Metoden giver stor fleksibilitet og effektiv dataindsamling med fuldstændighed af oplysninger og derved høj produktivitet[C. Vincent Tao, 2000].

> - *Increased coverage capability, rapid turnaround time, and thus, improved efficiency of the field data acquisition.*
> - *Integration of various sensors so that quality spatial and attribute data can be acquired and associated efficiently.*
> - *Simplified geometry for object measurements supported by direct control data from navigation sensors.*
> - *Flexible data processing scheme with original data stored as archive data and specific objects measured at any time.*
> - *Strongly georeferenced image sequences which provide an opportunity for automatic object recognition and efficient thematic GIS database generation.*
>
> [Rongxing Li, 2011, s. 2]

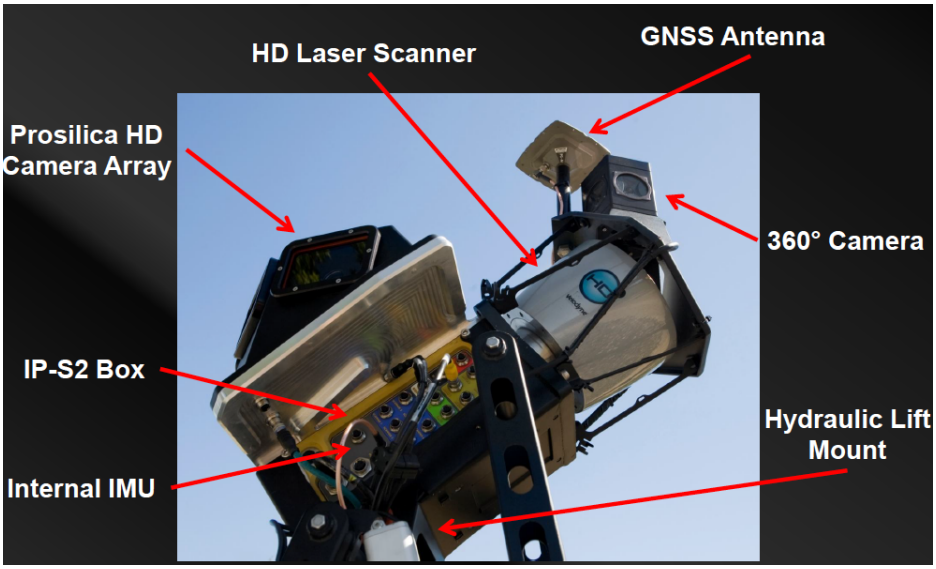
Der findes idag mange forskellige kortlægningsmetoder og principper og ligeledes forskellige typer af MMS. Grundlæggende bygger de på mange af de samme principper hvad angår sensorere og funktioner. Af appendiks B er der et diagram, der viser de typiske sensorere og deres funktioner ved et MMS. I det efterfølgende afsnit vil det MMS der anvendes i dette projekt blive beskrevet.

### 4.1.1 Topcon IP-S2 HD

Dette afsnit vil beskrive det MMS, der anvendes i COWI idag. Det er ligeledes det system, der der danner grundlag for det data, som anvendes gennem projektets analyser.

**Figur 4.2** – COWI´s Mercedes GLK med Topcon IP-S2 HD MMS.[Foto: COWI]

MMS i COWI består af et køretøj og Topcon´s IP-S2 HD MMS. Systemet kan i princippet monteres på et hvilket som helst køretøj. I COWI er dette system monteret på en Mercedes GLK 4matic med automatgear, se eksempel af figur 4.2. Dette sikrer en fleksibel og sikker betjening af såvel køretøjet og udstyret for operatøren. For yderligere indsigt i Topcon IP-S2 HD MMS henvises der til appendiks C.




**Figur 4.3** – Opsætning på Topcon IP-S2 HD[Foto: Topcon].

COWI´s MMS består af følgende syv sensorer:

**Positioneringssensorer:**

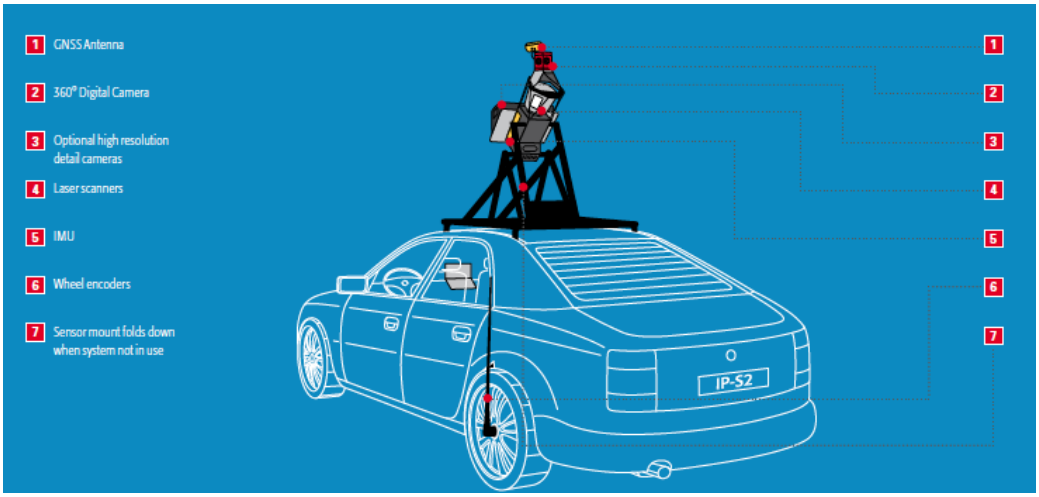
- 1 GNSS modtager
- 1 IMU
- 2 odometriske hjulsensorer

**Kortlægningssensorer:**

- 1 Scanner
- 2 Kamera

Systemet er monteret på et teleskopstativ, der er monteret på køretøjets tag, se figur 4.3, undtagen de to hjulsensorer, som er monteret på hver side af køretøjets bagerste aksel, som det fremgår af eksemplet af figur 4.4.

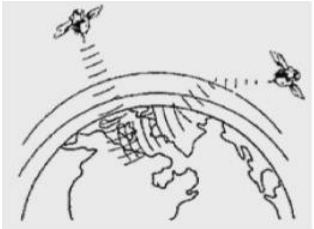
Topcon IP-S2 HD er sammensat af en række tidligere nævnte sensorer. Systemet er sammensat af forskellige komponenter fra forskellige producenter. Systemet bliver betegnet som Mobile Mapping HD, hvor HD betegner en meget høj opløsning i punktskyen.



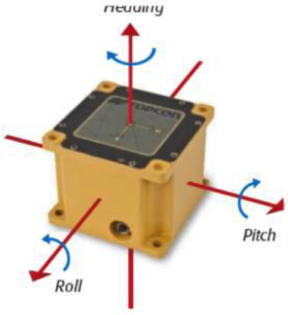

**Figur 4.4** – Eksempel på montering af Topcon IP-S2 HD MMS [6]

**Positionering og orientering**

Positionerings- og orienteringsbestemmelse af MMS køretøjet og data sker ved brug af navigationsdata, fra primært GNSS-modtager eller sekundært fra IMUén og de odometriske hjulsensore. Det er en dobbeltfrekvent GNSS-modtager, der kan anvende både GPS og GLONASS satelitter. GNSS positioner opsamles kontinuert under kørslen. Efterfølgende beregnes den endelige positionering efter endt opmåling ved postprocessering med inddragelse af korrektionsdata, der hentes fra en referencestation. Beregningerne foretages ved post-processering af den kinematisk dataindsamling og i de fleste tilfælde med data hentet til en midlertidig VRS reference placeret centralt i forhold til opmålingsområdet. Ved udfald af GNSS forbindelse anvendes IMU observationer, hvor vinkelændringer og accelerationer(Roll, Pitch and Heading informationer) anvendes til beregning af positionen af køretøjet. Ligeledes anvendes de odometriske hjulsensoreres informationer til bestemmelse af køretøjets tilbagelagte afstand.



**Figur 4.5** – GNSS modtagere levere positionsinformationer.

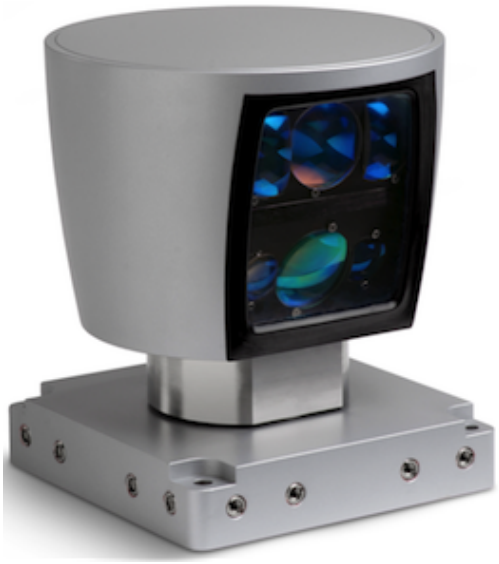



**Figur 4.6** – Supplere systemet med korrektionsdata.

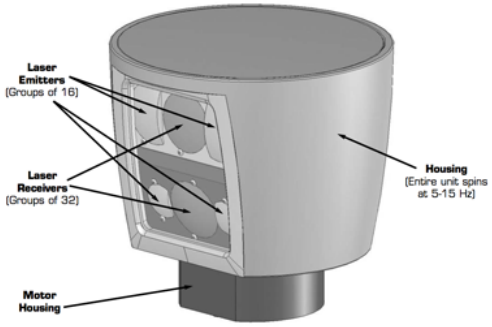
**Figur 4.7** – Estimere hastigheden og positionen baseret på en kendt position.

Positionering og orientering af MMS sker ved post-processering og indragelse af alle tre sensortyper i en form for filtrering og "elastisk"udjævning, for derved at opnå den mest korrekte positionerings- og kortlægningsnøjagtighed. Fra producenten oplyses det, at der kan opnåes en nøjagtighed på 2-5 cm i 3D jævnfør appendiks C.

**Scanneren**
Laserscanneren, der anvendes ved dette system, er en Velodyne High definition Lidar(HDL64E S2), der benytter sig af en 64 hovedet pulsbaseret scanningsteknologi, der udsendes i en vifte hvert femte nanosekund. Scanneren kan i teorien udsende og modtage 1.333 millioner punkter i sekundet. Laserscannerens field-of-view(FOV) er på 360 grader horisontalt(HFOV) og 26.8 grader vertikalt(VFOV). Laserscanneren har en rækkevide på op til 120 meter ved optimale refleksioner[2]. Dataopsamlingen sker ved rotation af laserscanneren og kan indstilles til mellem 300 og 900 RPM(5-15 HZ). Fra producentens specifikationer oplyses der, at laserscanneren har en nøjagtighed på omkring 2 centimeter. For yderligere indsigt i opbygning og funktioner henvises der til databladet fra producenten [Velodyne, 2010] eller appendiks A.



**Figur 4.8** – Velodyne HDL64E S2 [Velodyne, 2010]




**Figur 4.9** – Velodyne HDL64E S2 opbygning og funktioner [Velodyne, 2010]

[2]Optimal refleksioner defineres ved 80 procents refleksion [Topcon, 2011]

**Kamera**
Der er monteret to digitale stilbillede kameraenheder på dette system:

- Ladybug 3
- Prosilica GC1380

**Ladybug**
Ladybug 3 er et sfærisk digitalt videokamera system med seks Sony to MP(MegaPixel) kameraer linser og anvendes til at skabe sfæriske billeder(panoramabilleder). Kameraet kan indsamle video eller sfæriske billeder for mere end 80 procent af den fulde sfære, hvilket ligeledes også kan skabe 12 MP højopløslige panoramabilleder. Ladybug kameraet anvendes ligeledes til at give laserscanningspunktskyen RGB-farver. For yderligere indsigt i opbygning og funktioner henvises der til databladet fra producenten [Point Grey, 2012] eller appendiks A

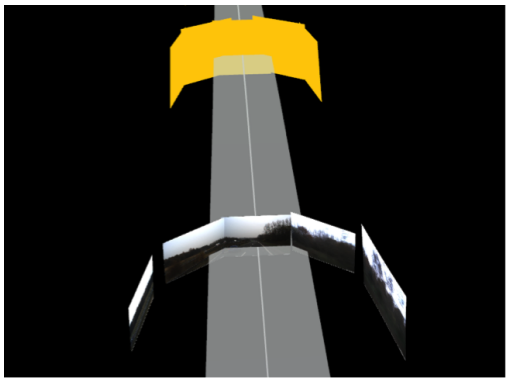
**Figur 4.10** – Illustration af Ladybug 3 [Point Grey, 2012]

**Figur 4.11** – Illustration af sfæriske panoramabillede fra Ladybug 3 [Point Grey, 2012]

**Prosilica**
Prosilica kameraenheden består af fem separate 1.4 MP CCD kameraer, der tager separate billeder, hvor de fire af kameraerne anvender en computar linse. Det femte kamera, der anvendes bruger et vidvinkelobjektiv. Kameraenheden er monteret i et mount, der tager enkelt billeder fremadrette i kørselsretningen. Hvert enkelt kamera er vinklet således, at der opnås en samlet billedesekvens, der dækker et område på omkring 180 grader horisontalt, se eksempel af figur 4.13. Procilica kameraernes "gode"optik, kan

anvendes til identificering af objekter under opmåling og kortlægning i punktskyen med høj nøjagtighed. For yderligere indsigt i opbygning og funktioner henvises der til databladet fra producenten [Allied, 2012] eller appendiks A.

**Figur 4.12** – Illustration af Prosilica GC1380, et af de fem kamera i det samlede kameramount.[Allied, 2012]



**Figur 4.13** – Illustration af opbygning af billedsekvens og metode for Prosilica kameraenhed.

Billeder fra kameraerne kan ligeledes anvendes til at orientere køretøjet, eller anvendes til direkte kortlægning via fotogrammetriske metoder.

**Betjening og datalagring**

Hele systemet kan betjenes via tastatur og skærm, dette er monteret på passagersædet i køretøjet, se illustration af figur 4.15. Bag i bilen er der monteret en computer, hvori der sidder fire 600 GB Solid State Diske harddiske til lagring af de store datamængder,

**Figur 4.14** – Topcon IP-S2 HD. [Foto: COWI]

**Figur 4.15** – Opsætning og betjening af MMS.[Foto: COWI]

## 4.2 Præsentation af data

Dette afsnit vil indeholde en beskrivelse af de tilgængelig datasæt der anvendes i projektet. Der vil være en beskrivelse af grundlaget for dataindsamlingen, metoderne, procedurene, hvorpå dataindsamlingen er foregået. Yderligere vil der være et konkret eksempel på de resultater, der kan forventes ved anvendelse af dette system, data og software.

### 4.2.1 Grundlag

Interessen for MM teknologien har ført til at VD har udpeget en fem kilometer teststrækning på den Fynske Motorvej E20, syd for Odensen, hvilket ses af figur 4.16. VD og COWI A/S har i samarbejde taget initiativ til at gennemføre et forsøg på at indsamle data, der viser de geografiske forhold. Testen har til formål at afdække den absolutte nøjagtighed ved at bruge MM til kortlægning af motorvejstrækninger, da denne teknologi medfører mindre gener for trafikkanterne end traditionel landmåling, hvor motorvejen skal spærres. Formålet med testen var at udføre en mobil scanning, samt vurdere og dokumentere nøjagtigheden af disse data. Langs teststrækningen er der signalerede fikspunkter for cirka hver 200 meter i rabatten i begge sider af motorvejen. Fikspunkterne er signalerede i form af et hvidt påstøbt kvadrat(30x30 centimeter) med fikspunktsafmærkning i midten. Punkterne har en oplyst nøjagtighed af VD på cirka én centimeter i plan og højde. VD´s krav til resultatet af teststrækningen er, at punkter på befæstede arealer(kørebaneafmærkninger og kørebanekanter), har en afvigelse(std. deviation) på 1-2 centimeter i højden og 2-4 centimeter i planen i forhold til fikspunkterne. Det efterfølgende afsnit vil beskrive selve dataindsamlingen med Topcon IP-S2 HD.

### 4.2.2 Dataindsamling

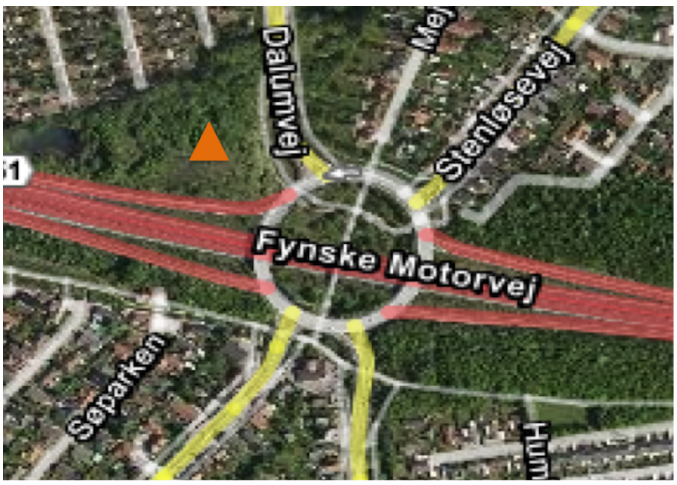
Dette afsnit beskriver metoder, procedure og fremgangsmåden for selve dataopsamlingen med udgangspunkt i beskrivelse af dataindsamlingsområdet og selve udførelsen af dataindsamlingen.

**Teststrækning**
Alle testkørsler er udført på teststrækningen ved Motorvejen syd for Odense, E20 - Fynske Motorvej. En strækning på cirka fem kilometer, fra cirka 700 meter øst for frakørsel 50(Svendborgvej) til frakørsel 52 (Assensvej) mod vest, se illustration af figur 4.16.

**Figur 4.16** – Teststrækning syd for Odense, Fynske Motorvej E20.[Kort fra COWI 2010]

**Fremgangsmåde**

Til testen blev der opstillet en GPS referencestation til efterfølgende postprcessering. Referencestationen blev sat op i umiddelbar nærhed af afkørsel 51, som er placeret cirka midt i testområdet for at sikre god GNSS forbindelse(udsyn til satellitter). Alle datasæt er opsamlet på baggrund af data fra egen referencestation. Referencestationens koordinater bestemmes ved RTK baseret på GPSnet.dk[3]. Referencestationen samler data hvert 1/10 sekund(10 Hz). Referencedata for kørselsperioden beregnes i LGO(Leica Geo Office), hvilket resulterer i en RINEX-fil, der anvendes i de efterfølgende beregninger. Positioneringen af MMS(rover) beregnes efterfølgende på baggrund af postprocessering i forhold til referencedata fra referencen(base). I dette tilfælde blev referencen sat op på skråningen ved rundkørsel ved afkørsel 51, se illustration af figur 4.17.




**Figur 4.17** – Placering af egen GNSS referencestation(orange trekant).[Kort fra COWI 2010]

[3]Middel af flere målinger

### 4.2.3 Udførelse

Testene blev udarbejdet i samarbejde med Daluiso A/S[4], VD og COWI A/S d. 1. november 2011. Teststrækningen blev kørt 10 gange med forskellig hastighed, scanneropsætninger og lysforhold. For yderligere indsigt og facts omkring udførelsen, oversigt over testkørslerne og kort henvises der til appendiks D, hvor der er en detaljeret beskrivelse af hver enkelt udført testkørsel. Af sikkerhedshensyn blev nogle af testene udført ved ledsagelse af en TMA vogn[5] samt varslingsvogn.

Dataindsamlingen er foregået før projektets start og derved har undertegnede ikke selv deltaget i dataindsamlingen, eller haft indflydelse på fremgangsmåder, metoder eller parametre for testkørslerne. Projektet er afgrænset i forhold til de datasæt, der er til rådighed, med de forudsætninger der gør sig gældende, hvilket betyder at parametre af fastlagte og kørslerne ikke kan ændres. Grundlaget for at få et repræsentativt og statistisk grundlag vil kræve kræver yderligere kørsler og flere ændringer af parametrene. Der har været 10 testkørsler til rådighed, men kun de seks har kunne anvendes i forhold til de udførte analyser.

### 4.2.4 Databehandling

Til beregning af GPS referencestationen bruges LGO [7]. Referencestation er en Leica GPS 1200 serie, der som tidligere nævnt loggede med 10Hz igennem hele dataindsamlingsperioden. Beregningerne fortages efter de tre nedenstående principper:

1. Beregning foretages i GeoClean, hvor der beregnes en postprocessering af GPS og IMU data på baggrund af referencedata. Dette resulterer i et positions trajectory[6], hvorefter punktsky og billeder kan beregnes ud fra.
2. Beregning foretages i Spatial Factory[9], hvor funktionen "Clean"anvendes. Denne funktion sammenholder overlappende data og beregner på baggrund heraf et nyt trajectory
3. Beregning foretages i Geoclean, hvor punktsky og billeder beregnes på baggrund af det nye opdaterede trajectory.

En yderligere uddybning af denne beregningsproces vil blive præsenteret i forbindelse med problemanalysen.

[4] Danmarks største producent af færdselstavler.
[5] Truck Mounted Attenuator, følgelastbil med monteret påkørselspuder/affjedring
[6] Et trajectory beskriver i dette tilfælde MMS bevægelsesmønster i forhold til tiden.

**Kontrol af absolut nøjagtighed**
Punktskyen bliver efterfølgende analyseret med henblik på at kontrollere den absolutte nøjagtighed i forhold til kontrolpunkterne(GCP). Dette gøres ved at sammenholde punktskyen med de udleverede kontrolpunkters koordinater fra VD. Kontrolpunkterne kan ligeledes anvendes til at transformere datasættet på plads og derved skabe en bedre absolut orientering. I alt befinder der sig cirka 80 kontrolpunkter indenfor teststrækningen, der kan sammenlignes på. Den absolutte nøjagtighed beregnes udelukkende på baggrund af Z-værdien i COWI idag. Fikspunkterne identificeres i punktskyen på baggrund af koordinaterne til GCP, og der dannes en TIN-model på baggrund af punktskyen. Efterfølgende kan Z interpoleres således der beregnes en dz-afvigelse imellem TIN-modellens og det eksakte GCP udleveret af VD.

**Resultat**
Dette afsnit vil beskrive resultatet af tre udvalgte testkørsler, som er beskrevet i appendiks D, som er beregnet af COWI. Resultaterne anvendes som inspiration og forventningsafstemning i forhold til de fremadrettede analyser og resultater. Afsnittet skal begrunde valget for at analysere videre på de øvrige testkørsler, for at opnå et eventuelt bedre resultat og belyse hvorledes, der med andre faktor, kan forbedres på nøjagtigheden. Facts vedrørende de tre testkørsler, der er regnet på, fremgår af appendiks E. De tre udvalgte testkørsler er beregnet i forhold til den absolutte nøjagtighed ved kontrol af resultaterne i forhold til GCP. Resultatet af de tre testkørsler fremgår af tabel 7.3.

**Testresultater**

| **Testkørsel** | **2** | **3** | **6** |
|---|---|---|---|
| **Hastighed** | **70 km/t** | **40 km/t** | **70/km/t** |
| **Scan Sampling Frekvens** | **50%** | **50%** | **100%** |
| **Kategori** | | | |
| Average dz[m] | -0.009 | -0.011 | -0.015 |
| Minimum dz[m] | -0.110 | -0.110 | -0.110 |
| Maximum dz[m] | +0.080 | +0.060 | +0.060 |
| Average magnitude[m] | +0.029 | +0.026 | +0.032 |
| **RMS[m]** | **+0.039** | **+0.034** | **+0.040** |
| **Std. dev.[m]** | **+0.038** | **+0.032** | **+0.038** |
| Antal GCP | 81 | 80 | 79 |
| Udelukkede GCPs | 0 | 1 | 0 |

**Tabel 4.1** – Resultatoversigt for beregning af testkørsel 2, 3 og 6.

**Vurdering af resultat**
Ved kontrol af den absolutte nøjagtighed i forhold til kontrolpunkterne, er der kun udelukket ét kontrolpunkt(testkørsel 3), da der tilsyneladende er en grov fejl på dette punkt. Der er ikke udelukket yderligere kontrolpunkter, da de største negative- og positive afvigelser i Z er i intervallet fra -0.110 til 0.060 meter, og det vurderes, at der ikke er grove fejl idet Std. deviationen ligger i intervallet fra 0.032 til 0.038 meter.

**Opsummering**
Dataindsamlingen ved de tre testkørsler er foretaget med forskellige opsætninger, systemopstartsprocedure og lysforhold, hvilket betyder at testkørslerne ikke er foretaget med sammen baggrund. Alle dataindsamlingerne er beregnet ud fra den samme referencedata. De tre testkørslers resultater viser at der kan opnås afvigelser der ligger i intervallet 3-4 centimeter i højden. Resultaterne viser, at der kan opnås et fornuftigt resultat ved anvendelse af COWI´s MMS Topcon IP-S2 HD MMS fra COWI.

På baggrund af disse oplysninger og resultater ønskes det at arbejde videre med analyser omkring den datakvalitet og nøjagtigeheder der kan opnås med dette system. I det efterfølgende vil der være en gennemgang af de problemstillinger, der skal lede frem til en problemformulering og efterfølgende analyseres og bearbejdes i problemanalysen.

## 4.3 Uddybning af problemstilling

Dette afsnit har til formål at beskrive og uddybe de problemstillinger, der vil blive behandlet i dette afgangsprojekt. Afsnittet skal klarlægge og give en forståelse af de problemstillinger, og derved udfordringer, der er ved dataopsamling og processering af MM data. Hovedformålet er at lede frem til en problemformulering, der ønskes besvaret igennem problemanalysen.

Afgangsprojektet tager udgangspunkt, i at undertegnede i samråd med COWI ønsker en større indsigt i den betydning udvalgte parametre har for datakvaliteten og nøjagtigheden. MMS anvendes idag på større vejprojekter og lignende i både nationale og internationale projekter. På baggrund af tidligere projekters resultater og erfaringer, viser det sig, at terrestrisk kinematisk opmåling er anvendeligt til MM. Denne metode kan og vil effektivisere mange opmålingsprojekter, set i forhold til et tids- og økonomisk aspekt.

Denne målemetode vil være fordelsagtig, når der kan opnås nøjagtigheder, der er på niveau med de traditionelle målemetoder, som for eksempel terrestrisk laserscanning og GPS opmåling. Hvis nøjagtigheden af det opmålte kommer ned på få centimeters niveau, bliver denne metode effektiv og anvendelig. Dette skal holdes op imod, hvad data skal anvendes til.

Der skabes utrolig meget data, og for at denne metode er effektiv og anvendelig, skal der tænkes på tidsforbruget til planlægning, forarbejde, dataindsamling og til databehandling. Forarbejdet er tidskrævende, omfangsrigt og økonomisk omkostningsfuldt, det der skal sikres, at det opmålte kan refereres(orienteres) og kontrolleres i forhold til fysiske punkter på landjorden.

Dette aspekt har stor interesse og ønskes undersøgt nærmere, da der herved bør kunne skabes et overblik over hvordan MMS anvendes effektivt. Formålet er at finde en effektiv og optimal procedure for dataindsamling og databehandling, som samtidig sikrer god datakvalitet og fornuftig nøjagtighed.

Igennem dette projekt ønskes der at skabe et overblik over nogle af de "fysiske"parametre i form af bevægelse og opsætning på systemet, der har betydning for datakvaliteten ved dataindsamlingen, set i forhold til anvendeligheden og effektiviteten med henblik på et økonomisk perspektiv.

Der er en lang række parametre, der har betydning for kvaliteten og nøjagtigheden af data fra MMS og jeg vil derfor efter samråd med MM afdelingen fra COWI afgrænse mig til at se på nogle af de faktorer, der vurderes at have størst betydning for datakvaliteten og derved nøjagtigheden. Det ønskes undersøgt, hvad der skal til, for at opnå den bedste datakvalitet nøjagtighed uden at ændre på systemets opbygning og funktioner, men i stedet kigge på de fysiske faktorer, der er til stede under dataopsamlingen. I de følgende afsnit vil der være en beskrivelse og uddybning af selve projektafgræsningen, der tages udgangspunk i gennem resten af projektet.

### 4.3.1 Projekt afgræsning

Dette afsnit vil beskrive projektafgræsningen i forhold til emnet, der behandles igennem dette projekt. Et MMS indeholder en lang række procedure, som tidligere nævnt, en række instrumenter til positionering og dataindsamling. Til sammen har de alle indvirkning på hvad der kan opnås af datakvalitet og nøjagtigheder. Nedenstående illustrerer nogle af de faktorer, der har betydning for datakvaliteten og nøjagtigheden af systemet:

- **Opstartsprocedure**
  Aktivering af INS, kørselsprocedure
- **Hastigheder**
  Km/t
- **Scan samplings frekvens**
  Frekvens
- **Data processering**
  Software, parametre, kvalitet(nøjagtighed)
- **Referencestationer**
  GPSnet, afstand mellem base og rover
- **Fikspunkter/paspunkter**
  Antal, størrelse, udformning, orientering/transformation
- **Dataudtynding**
  Nøjagtighed/processering
- **Udstyr**
  GPS, IMU, laserscanner, kamera og odometer
  Kvalitet, nøjagtigheder, begrænsninger

På baggrund af de listede emner udvælges de faktorer, som har med de fysiske parametre at gøre. De er udvalgt på baggrund af hvilke faktorer, der menes at have den største indflydelse, når der overordnet tænkes på datakvalitet og nøjagtighed. Ligeledes er de udvalgt på baggrund af, at de har stor betydning for effektiviseringen også set i et økonomisk aspekt i forhold til anvendelsen af denne målemetode. Derudover er det også emner, som COWI ønsker nærmere kendskab til ,for at have konkrete værktøjer til, hvordan forskellige opgaver skal gribes an i fremtiden, da de har stor betydning for brugen af MMS.

Projektet og analyserne afgrænses derved til at omhandle følgende faktorer:

- **Hastighed**
- **Scan samplings frekvens**
- **Referencestationer**
- **Fikspunkter/paspunkter**

Baggrunden for netop at vælge disse, vil i de efterfølgende afsnit blive uddybet og beskerevet nærmere.

### 4.3.2 Hastighed

MM dataindsamling foregår, som tidligere beskrevet, hurtigt og effektivt takket være de instrumenter, der er monteret på MM køretøjet. Instrumenterne er konfigureret til samtidig med at de er under bevægelse, at kunne opsamle data, men hvilken betydning har hastigheden af denne bevægelse for datakvaliteten. Anvendelsen af MM gør sig virkelig gældende ved større og komplicerede opmålingsopgaver, eller hvor der er behov for regelmæssig og effektiv dataindsamling.

Udgangspunktet er at denne målemetode er effektiv allerede ved meget lave hastigheder set i forhold til traditionelle målemetoder. På den måde spiller hastigheden ikke så vigtig en rolle. Omvendt anvendes dette system i større skala til for eksempel kortlægning af store komplekse vejstrækninger og ligende vil hastigheden have betydning for hvor effektiv dette system er. Det kan dreje sig om flere hundrede kilometers opmåling, hvor en forskel på hastigheden, eksempelvis ved 80 eller 40 kilometer i timen får betydning.

Hastigheden spiller også en rolle i forhold til hvad og hvor, der skal opmåles. Er det for eksempel en motorvejsopmåling er der stramme sikkerhedskrav i forhold til ikke at opretholde den forholdsvis høje fart, hvor der derved skal anvendes skiltevogne og TMA vogn. På det område kan det være et krav at hastigheden holdes forholdsvis høj, og hvordan sikres det da, at data stadig har en brugbar og fornuftig kvalitet og nøjagtighed?.

Dette ønskes undersøgt ved at sammenligne processerede data ved forskellige hastigheder, både visuelt i forhold til trajectory(forløbet), fra inertial postprocessering og på baggrund af kontrol af nøjagtigheden af den genererede punktsky. Formålet er at skabe et overblik over, hvilken betydning hastigheden har for det beregnede data i forhold til absolutte nøjagtighed.

### 4.3.3 Scan samplings frekvens

Den fysiske dataindsamling foretages ved hjælp af tidligere omtalte laserscanner. Denne laserscanner er yderst effektiv, idet den i teorien kan opsamle 1.333 millioner punkter(informationer) i sekundet, hvilket betyder enorme og tunge mængder af data. Der er mulighed for at indstille laserscannerens scan samplings frekvens på forskellige niveauer, og derved bestemme hvor effektiv laserscanneren skal være under de pågældende forhold.

Ved at konfigurere forskellige indstillinger kan datamængden nedbringes, men den antages, at have betydning for kvaliteten og nøjagtigheden af det endelige resultat. På forhånd antages det umiddelbart, at jo højere frekvens desto bedre kan objekter defineres. I takt med for eksempel ændring af hastigheden kan denne frekvens således ændres og stadig give et fornuftigt resultat. Umiddelbart vil tanken være; jo højere hastighed -desto højre scan samplings frekvens. Denne balance kræver et kendskab til, hvilken betydning hastigheden har for scan samplings frekvensen og omvendt.

Derfor ønskes det at undersøge, hvilken betydning hastighed og scan samplings frekvens har i forhold til hinanden og samtidig, se om der kan analyseres frem til en optimal løsning mellem hastighed og scan samplings frekvens. Kontrollen ønskes undersøgt ved at identificere GCP i punktskyen og samenholde dem med de fysisk etablerede og indmålte GCP.

### 4.3.4 Referencestationer

For at MM kan anvendes kræves der kendskab til positionen af MMS på et konkret dataindsamlingstidspunkt. Dette sker, som tidligere nævnt ved hjælp af GNSS. For at opnå den bedste nøjagtighed er GNSS bundet op på en række referencestationer på jorden. Ved kinematisk postprocessering(efter processering) i forhold til en referencestation kan der beregnes en mere nøjagtig positionering MMS.

I dette tilfælde er der etableret egen(midlertidig) referencestation centralt på dataindsamlingsområdet. Denne er etableret på baggrund af GPSnet.dk referencestationer, for at skabe så lille en basislængde[7]. En reference kan i princippet bestemmes på en hvilket som helst placering for eksempel 10, 20 eller 30 kilometer fra opmålingsområdet.

Formålet er at konstatere om, der er forskel på, hvilken afstand der er til referencen, der anvendes. Eller om det er nødvendigt at have egen referencestation tæt ved eller i nærheden af opmålingsområdet. Ved etablering af ny reference, kræves der en ny initialisering og genstart af systemet. Opmålingsstrækning vil derved blive opdelt i forskellige delstrækningen, som evntuelt passer sammen relativt men ikke absolut. Etableringen og indmåling af egne referencer kræver yderligere forarbejde, og mere databehandling. Dette skaber yderligere resourceforbrug, omkostninger, hvilket også sænker effektiviteten.

Derfor ønskes det at undersøge om afstanden til referencestationen har betydning for nøjagtigheden. Ved at anvende referencedata ved forskellige basislængder og derved undlade at skulle etablere og anvende flere referencestationer kan processen eventuelt optimeres. Undersøgelsen skal foretages ved sammenligning af de samme testkørsler ved postprocessering af datasættene ved anvendelse af forskellige basislængder. Der sammenlignes både visuelt på baggrund af GPS positionernes nøjagtighed og i forhold til absolut nøjagtighed på baggrund af GCP, for at konstatere hvilken betydning basislængden har for datakvaliteten og nøjagtigheden.

[7] Afstanden mellem base(referencen) og rover(MMS)

### 4.3.5 Fikspunkter/paspunkter

En yderligere kontrol af den absolutte nøjagtighed sker ved transformation over de etablerede GCP. Nøjagtigheden kan kun kontrolleres ved at anvende fysiske GCP, der er tilstede på opmålingsstrækningen. Til dette formål er der etableret GCP af VD således, at der kan laves en kontrol mellem de virkelige objekter og de beregnede værdier fra dataindsamlingen. Der er mange aspekter der gør sig gældende hvad angår identifikation og indmåling af GCP.

For at kunne transformere datasættene i forhold til kendte punkter skal de identificeres i punktskyens datamasse. Dette gøres ved funktionen "match", som tidligere omtalt i afsnit 4.2.4, hvor GCP udpeges i punktskyen og sammenholdes med oplyste koordinater til GCP. Antallet af GCP og kvaliteten af punktskyen har en betydning for hvor god en transformation, der kan laves. Etablering og indmåling af disse punkter kræver mange ressourcer og er derved ineffektivt og omkostningsfuldt. Der er på testkørselsstrækningen etableret GCP for hver 200 meter, hvilket, ved første antagelse virker af rigtig mange i forhold til hvad der umiddelbart burde være etableret i andre opmålingssammenhænge.

Der ønskes derfor at se på hvilken betydning transformation over GCP har for den absolutte nøjagtighed. Formålet er at konstatere om den absolutte orientering af hele datasættet giver mindre afvigelser, ved at anvende transformation af punktsky i forhold til GCP.

Alle beregninger, sammenligninger og kontroller forudsætter, at alle dataindsamlinger er foretaget under forhold, der kan sammenlignes, hvad angår strækning, kørselsprocedure, scan samplings frekvens, anvendte referencestationer og GCP. Sammenligningen og kontrollen bliver foretaget på baggrund af de etablerede GCP.

# Problemformulering 5

Med udgangspunkt i inspiration og de idéer, der findes anført i den initierende problemstilling, samt på baggrund af de problemstillinger, der findes gennemgået i foranalysen, opstilles følgende problemformulering:

**Har dataindsamlings- og beregningsprocedurer betydning for nøjagtigheden af Mobile Mapping data?.**

Ovenstående problemformulering giver anledning til følgende underspørgsmål, som ligeledes ønskes analyseret og besvaret:

- Hvilken betydning har hastigheden under dataopsamlingen for nøjagtigheden?
- Hvilken betydning har scan sampling frekvensen for nøjagtigheden ved forskellige hastigheder?
- Hvilken betydning har afstanden til anvendt referencestation i forhold til nøjagtigheden?
- Hvilken betydning har transformation af trajectory over GCP for nøjagtigheden?

De fire ovenstående emner vil ligeledes indeholde underspørgsmål og analyser for at nå til et anvendeligt resultat. Det efterstræbes, at det endelig resultat vil give anledning til optimale og effektive procedurer for dataindsamlings- og beregningsprocedurer af MM data, hvor fokus er på at bibeholde metoderne og stadig opretholde nøjagtigheder på få centimeters niveau.

I dette projekt analyseres og vurderes der kun på Z-koordinaten, da det ikke har været muligt at kontrollere XY-koordinaterne, på baggrund af datakvaliteten, softwaren og tidsforbruget, yderligere forklaring kommer igennem problemanalysen.

For at undersøge, hvorvidt det er muligt at finde optimale procedure for dataindsamling og dataprocessering af MM data, er der søgt inspiration i tidligere rapporter/undersøgelser omkring MM, udtalelser, erfaringer fra COWI, vejledere, samt de erfaringer der er opnået gennem studieforløbet.

Ved anvendelse af MM målemetoderne er det ikke udførelsen af dataindsamlingen, der er tidskrævende og omkostningsfuld. Det er forarbejdet, etablering og indmåling af fikspunkter, opstilling og indmåling af egen referencestation. Efterfølgende er det bearbejdning og beregning af data, der kræver resourcer. Derfor ønskes det at skabe procedurer for, hvad der er nødvendigt for en given situation i forhold til hvilken kvalitet og nøjagtighed, der ønskes at opnå.

Ved at analysere de 10 forskellige testkørselsdatasæt dannes et billede af hvad, der opnås ved anvendelse af forskellige procedure ved selve dataindsamlingen. Efterfølgende er det endvidere vigtigt at se på, om nogle af procedurerne har betydning for dataprocesseringen. Kan der opnås bedre resultater ved at ændre på dataindsamlingsprocedurerne? Og kan omfanget af forarbejde nedbringes?

Analyserne skal belyse med hvilke procedurer, der opnås den bedste nøjagtighed, samtidig med at effektiviteten i målemetoden bibeholdes. Projektet vil være afgrænset i forhold til de opstillede emner fra afgræsningen der ønskes analyseret, vurderet og dokumenteret. Dette gøres for at konkretisere for læserens skyld, idet MM i sig selv er et omfangsrigt område. Ligeledes er det de fokusområder, COWI ønsker belyst og har interesse i, for derved at have et bedre grundlag for at anvende MM.

# Afgrænsning 6

Gennem problemanalysen søger jeg at besvare problemformuleringen. Problemanalysen vil bearbejde de problemstillinger, der er beskrevet i foranalysen kapitel 4. Problemanalysen vil være afgrænset i forhold til tilgængelig datasæt, beregningsmetoder og softwareløsninger , som gennemgås i dette afsnit. Igennem foranalysen blev de overordnede emner præsenteret.

Afgræsningen består i beskrivelse af følgende områder:

- Præsentation og gennemgang af testdata
- Processerings- og beregningsmetode

## 6.1 Præsentation og gennemgang af testdata

Dette afsnit har til formål at gennemgå MM datasæt fra testkørslerne, der anvendes i dette projekt. Afsnittet skal klarlægge hvilke testdatasæt, der anvendes ved de respektive analyser og beregninger samt hvordan og hvorfor de sammensættes for at opnå brugbare analyser og derved fornuftige resultater, således de forskellige tests kan samenlignes. Afsnittet skal skabe overblik over sammensætning af tests og ligeledes lede op til metode for analyse sammensætning og opbygning.

Der er i alt lavet 10 dataindsamlinger på den samme teststrækning, som derved er tilgængelig for analyser og beregning. De respektive dataindsamlinger er udført med forskellige opstartsprocedurer og opsætninger i forhold til hvilken hastighed og scan sampling frekvens der anvendes. Dataindsamlingerne er lavet for at kunne analysere på betydningen af de forskellige metoders indvirkning. For at analyserne bliver troværdige og repræsentative skal der sammenlignes på flest mulige datasæt, dog kan ikke alle datasæt sammenlignes, idet der er forskellige opsætninger fra test til test. Derfor sammensættes de test, der har de samme opsætninger, hvilket vil begrænse sig til seks ud af de 10 testkørsler ved de forskellige analyser og vurderinger. Analyserne sammensættes i forhold til de ønskede områder, der ønskes analyseret indenfor i henhold til afsnit 4.3.1 på side 22. Sammensætningen tager udgangspunkt i den overordnede oversigt over testkørslerne, se appendiks D, hvor hver enkelt testkørsel er udspecificeret.

Den første analyse skal bestemme, om hastigheden ved dataindsamlingen har indvirkning på nøjagtigheden for de processerede data. Til det formål anvendes der tre af de seks anvendte datasæt. Der ønskes udelukkende at se på hastighedens indvirkning og derved er det nødvendigt, at de anvendte datasæt inderholder de samme opsætninger i forhold til dataindsamlingen. Derfor vil scan sampling frekvens og anvendt referencestation være fastholdt og den samme for hvert datasæt, så kun hastigheden ændres. Af tabel 6.1 ses hvilke datasæt, der er udvalgt til at analysere på indvirkningen af hastigheden.

**Hastigheder**

| **Testkørsel Nr.** | **Hastighed Km/t** | **Scan Sampling Frekvens %** |
|---|---|---|
| 4 | 40 | 100 |
| 6 | 70 | 100 |
| 8 | 100 | 100 |

**Tabel 6.1** – Oversigt over testdata, der anvendes til analyser på hastighedsfaktoren.

Den anden analyse skal bestemme, om scan sampling frekvensen ved dataindsamlingen har indvirkning på nøjagtigheden for det processerede data. Til dette formål anvendes der seks datasæt. Der ønskes udelukkende at se på scan sampling frekvensen, og derved er det nødvendigt at de anvendte datasæt indeholder de samme opsætninger i forhold til dataindsamlingen. Derfor vil hastigheder og anvendt referencestation være fastholdt og de samme for hvert datasæt, så det kun er scan sampling frekvensen, der er forskellig. Datasættene sammensættes parvis ved tre forskellige hastigheder, da der kun er to forskellige datasæt i forhold til scan sampling frekvens for hver af de tre hastigheder. Af tabel 6.2 ses hvilke datasæt, der er udvalgt til at analysere på indvirkningen af scan sampling frekvensen.

**Scan Sampling Frekvens**

| Testkørsel Nr. | Hastighed Km/t | Scan Sampling Frekvens % |
|---|---|---|
| 3 | 40 | 50 |
| 4 | 40 | 100 |
| 5 | 70 | 25 |
| 6 | 70 | 100 |
| 7 | 100 | 25 |
| 8 | 100 | 100 |

**Tabel 6.2** – Oversigt over testdata, der anvendes til analyser på samplingsfrekvensfaktoren.

Den tredje analyse skal bestemme, om forskellige afstande til referencen har indvirkning på nøjagtigheden for den processerede datakvalitet og nøjagtighed. Til dette formål anvendes de samme seks datasæt, som anvendes ved scan sampling frekvens, idet de giver et bredt og repræsentativt udtryk i forhold til de individuelle datasæt. Der ønskes udelukkende at se på afstandens indvirkning og derved er det ikke nødvendigt, at de anvendte datasæt inderholder de samme opsætninger i forhold til dataindsamlingen. Hastigheder og scan samplings frekvens vil være forskellige for hvert datasæt, da det kun er den anvendt referenceafstand, der er forskellig ved processering af data. Af tabel 6.3 ses det hvilke datasæt, der er udvalgt til at analysere på indvirkningen af afstanden til referencen.

**Referencestationer**

| Testkørsel Nr. | Hastighed Km/t | Scan Sampling Frekvens % |
|---|---|---|
| 3 | 40 | 50 |
| 4 | 40 | 100 |
| 5 | 70 | 25 |
| 6 | 70 | 100 |
| 7 | 100 | 25 |
| 8 | 100 | 100 |

**Tabel 6.3** – Oversigt over testdata, der anvendes til analyser på anvendelse af reference.

## 6.2 Processerings- og beregningsmetode

Metodeafsnittet vil beskrive og gennemgå beregningsmetoderne på baggrund af den anvendte software. Det vil være en generel beskrivelse af metoderne ved forskellige softwareløsningers funktioner og anvendelsesmuligheder. En komplet beskrivelse af de anvendte softwareløsninger er at finde via de udarbejde manualer i appendiks I, J og K.

### 6.2.1 Software

Dette afsnit vil beskrive og gennemgå den software, der anvendes til selve databehandlingen og processeringen af MM data. Processering og beregning af MM data sker ved postprocessering, hvor der anvendes to typer af software; Geoclean og Spatial Factory. GeoClean anvendes til selve post processeringen i forhold til referencedata til det pågældende område og Spatial Factory anvendes primært som viewer og til "clean"af trajectory i forhold til overlap og uoverensstemmelser i punktskyen. Til kontrol af nøjagtigheden af trajectory og tilhørende punktsky anvendes der efterfølgende TerraScan, hvilket er en plugin-applikation til MicroStation.

**GeoClean**
I Geoclean bestemmes køretøjets orientering ved at integrere GNSS data med IMU og hjulsensordata, således at køretøjet orientering er bestemt i forhold til præcise geografiske placeringer. Processeringen af data foregår ved postprocessering ud fra GNSS observationer på baggrund af referencedata fra en referencestation. Laserscanningsdata og billeder processeres og orienteres på baggrund af det beregnede trajectory. Kombinationen af billeder og punktsky giver mulighed for præcise orienterede billeder og indholdsrige RGB farvede 3D punktskyer. Softwaren kan ligeledes konvertere mellem forskellige koordinatsystemer for eksempel mellem WGS84 koordinater til lokale koordinatsystemer til brug i GIS eller CAD projekter.

Processering af MM data kan opdeles i to hovedtrin, som herunder er listet og forklaret:

- *Spatial Collect Software*
- *Spatial Clean - Post Processing*
  - *Hybrid Analysis for Vehicle Attitude and Location*
  - *Combining Images and Point Clouds*
- *Coordinate Conversion Module*

[Topcon, 2011]

Dataindsamlingssoftwaren giver mulighed for at styre og konfigurere IP-S2 HD boksen[1] med alle tilsluttede sensorer. Ligeledes kan dataopsamlingen følges i forhold til lagring og visning, dette i henhold til den opmålte strækningsforløb. Data processeres i GeoClean Workstation efter følgende fremgangsmåde, hvor der indgår følgende hovedsteps:

1. Setting the Project Directory
2. Inertial Post Processing
3. Point Cloud Generation
4. PGR Converter
5. Pics Poser
6. Point Cloud Viewer

En yderligere beskrivelse af disse funktioner vil være at finde på appendiks I og A.

**Spatial Factory**
Spatial Factory anvendes til at bearbejde billeder og punktskysdata. Softwaren fletter både panoramabilleder og laserscanningspunktsky til en samlet visualiserings- og behandlingsløsning. Panoramabilleder gør det muligt at fortolke objekter. Punktskyen muliggør meget nøjagtige målinger af de samme genstande. Spatial Factory sammensætter billeder og punktsky problemfrit, og giver brugeren mulighed for at anvende det fulde potentiale af alle data, der er til rådighed. Der kan navigeres gennem data på en intuitiv måde, hvor der kan optages punkt-, linje- og objektinformationer, samt måle afstande imellem disse. Derudover er der en række funktioner, der gør det muligt at editere og kontrollere kvaliteten af data i forhold til den fysiske verden. Data kan ligeledes yderligere processeres på baggrund af disse editeringer. Hvor trajectory for eksempel kan flyttes på plads ved anvendelse af funktionen "clean"og "match", hvor data henholdsvis flyttes på plads i forhold til overlap og uoverensstemmelser i data eller udslag fra sensorerne, således data bliver så korrekt så muligt. Trajectory kan ligeledes flyttes på plads i forhold til GCP points ved "match"og derefter processeres igen i GeoClean, for eventuelt at opnå en bedre absolut orientering af data.

Data efterprocesseres i Spatial Factory efter nedstående fremgangsmåde, hvor der indgår følgende hovedsteps:

1. Data import
2. Clean
3. Export til GeoClean
4. Point Gloud Generation
5. Data import
6. Match

En yderligere beskrivelse af disse funktioner vil være at finde af appendiks J og A.

[1] Styrringsenheden på MMS.

**TerraScan**
TerraScan anvendes til beregning og absolut kontrol af fly og mobil Lidar data. Anvendelse af Lidar data indeholder enorme datamængder, og stiller derved høje krav til computer og software kraft. Ved at anvende TerraScan kan data opdeles i specificerede geografiske blokke i forhold til dataområdet, hvilket betyder, at Microstation kan håndtere denne type data. Data opdeles i brugerdefinerede blokke, hvilket sikrer at softwaren kan håndtere de store datamængder. TerraScan kan læse en rå lasserscanningspunktsky i flere forskellige formater; XYZ textfiler eller binære filer som LAS. Dette betyder, at punktskysdata eksporteres via GeoClean til LAS fil-format, efter processeringen og genereringen af punktskyen. Punktskyen kan herefter kontrolleres i forhold til fysiske kontrolpunkter. På baggrund af punktskyen dannes der en TIN-model på datasættet, og herefter kan koordinater til kontrolpunkterne indlæses, hvorefter softwaren laver en kontrol mellem TIN-modellen i forhold til koordinaterne opgivet til kontrolpunkterne. Resultatet udtrykkes via en kontrolrapport, hvori der er foretaget beregninger, der beskriver afvigelserne mellem TIN-model og kontrolpunkterne. På nuværende tidspunkt kan der kun beregnes på Z i forhold til kontrolpunkterne i det XY-planet ikke konkret kan identificeres i punktskyen. Kontrolrapporten beregner ligeledes et samlet estimat i forhold til std. afvigelser og RMS spredninger, dette på baggrund af antallet af anvendte kontrolpunkter.

Data efterprocesseres og kontrolleres efterfølgende i TerraScan plugin i MicroStation, hvor der indgår følgende hovedsteps:

1. Setting the Project Directory
2. Data Import
3. Control Report

En yderligere beskrivelse af disse funktioner vil være at finde af appendiks K og A.

# Problemanalyse 7

Problemanalysen vil indeholde analyser til besvarelse af problemformuleringen. Metoderne og fremgangsmåden til analyserne vil være opbygget efter principperne beskrevet i kapitel 6. Afsnittet vil indledningsvist indeholde en beskrivelse af processeringen og efterfølgende resultatbehandling. Hver af de fire analysers resultater behandles og vurderes efter ens princip. Efterfølgende vil hvert afsnit indeholde en vurdering og diskusion af de opnåede resultater, der leder frem til en samlet konklusionen, hvor resultaterne anført i analysen og vurderingen fremhæves med henblik på en endelig besvarelse af problemformuleringen.

## 7.1 Dataprocessering

Dette afsnit vil beskrive og gennemgå selve processeringen af de respektive datasæt listet i afsnit 6.2. Processeringen opdeles efter de tre hovedemner; hastighed, scan sampling frekvens og referencestationer. Alle processeres efter samme fremgangsmåde og metode som beskrevet i afsnit 6.2. Der vil være en beskrivelse af processeringsmetoden og resultatet samt en vurdering af de opnåede resultater.

Datagrundlaget tager udgangspunkt i teststrækningen præsenteret i afsnit 4.2 og dataprocessering sker efter den overordnede procedure som anvist i appendiks I, J og K. Data processeres ligeledes i forhold til oversigten der fremgår af appendiks F og vil samlet set danne grundlag for struktur og sammenligning.

### 7.1.1 Postrocessering

Traditionelt hentes der referencedata til en VRS[1] på baggrund af centrumkoordinater i forhold til opmålingsområdet, hvilket oplyses i GeoClean, Project Info - Project Statistics. I de to første analyser anvendes egen opsat reference. Observationerne konverteres i LGO, for at skabe en RINEX-fil[2], som anvendes til postprocesseringen, hvilket indbefatter modeller af de atmosfæriske forhold. De rå datapakker udlæst fra MMS importeres og indlæses i Geoclean. De rå datapakker indeholder følgende filer og data:

**Datainformation**

| **Datatype** | **Fil navn** | **Fil størrelse(MB)** |
|---|---|---|
| Logfiler | dssx-output.log | 683.92 |
| GPS observationsfil | gps.ipz | 717.23 |
| GPS positionsfil | gps.kml | 2729.97 |
| Opsætningsfiler | ips_info.json | 0.105 |
| | ips_settings.json | 0.114 |
| Ladybug billeder | ladybug-000000.pgr | 2114241.02 |
| | lb_pics.ips | 0 |
| Prosilica billeder | posed_lb_pics.ips | 488649.55 |
| | posed_pv_pics_01.ips | 89690.67 |
| | posed_pv_pics_02.ips | 95904.50 |
| | posed_pv_pics_03.ips | 99332.10 |
| | posed_pv_pics_04.ips | 80649.87 |
| | posed_pv_pics_05.ips | 86136.15 |
| | pv_pics_01.ips | 89799.52 |
| | pv_pics_02.ips | 96011.26 |
| | pv_pics_03.ips | 99438.67 |
| | pv_pics_04.ips | 80830.69 |
| | pv_pics_05.ips | 86329.24 |
| Laserscanningspunktsky | raw.ips | 971788.98 |
| GPS RINEX-fil | rover.11o | 18142.16 |
| INS positionsfil | rt_poses.ips | 6624.37 |

**Tabel 7.1** – Eksempel på datatype, filstruktur og datapakkestørrelser.

Det fremgår af tabel 7.1, at det er meget store datapakker på flere GigaByte(GB), der arbejdes med inden der påbegyndes beregning og editering af data.

[1] Virtuel Reference Station, se beskrivelse i appendiks H

[2] Receiver Independent Exchange Format, dataudvekslingsformat for rå satellitnavigationssystem data.

Grundet de store datamængder, har de to kameraer; Ladybug og Prosilica været slået fra under de fleste af de tilgængelige testkørsler for at nedbringe datamængden ved dataindsamlingen. Dette betyder desværre, at billeddokumentationen ikke er tilgængelig i dette projekt.

Det er derfor vigtigt at have fokus på tidsforbruget, system og softwarekravene. Tidsforbruget for beregning af en kørsel tager i gennemsnit fire-fem timer, hvilket indbefatter dataimport, beregninger og eksport imellem de tre softwarepakker. Dog kan der ved postprocesseringen i GeoClean sættes flere beregninger igang samtidigt, hvilket effektiviserer processen væsentligt. Det kræver at systemet er opsat fornuftigt, især hvad angår ram og processorkraft, jo flere ram desto hurtigere indlæsning og flytning af data. Spatial Factory og TerraScan har defineret hvor meget og hvor hurtigt data, der kan indlæses og vises i forhold til tilgængelig ram.

Herunder eksemplificeres et grundlæggende udsagn for forbrug af hukommelse i Microstation applikationen TerraScan ved arbejde med laserscanningspunktskyer og beregninger heraf.

Grundlæggende samlede hukommelseforbrug:

- *100-200 MB for Windows operating system*
- *20 MB for MicroStation and design file*
- *20 MB for every million laser points loaded*

[Terrasolid, 2010, s. 88]

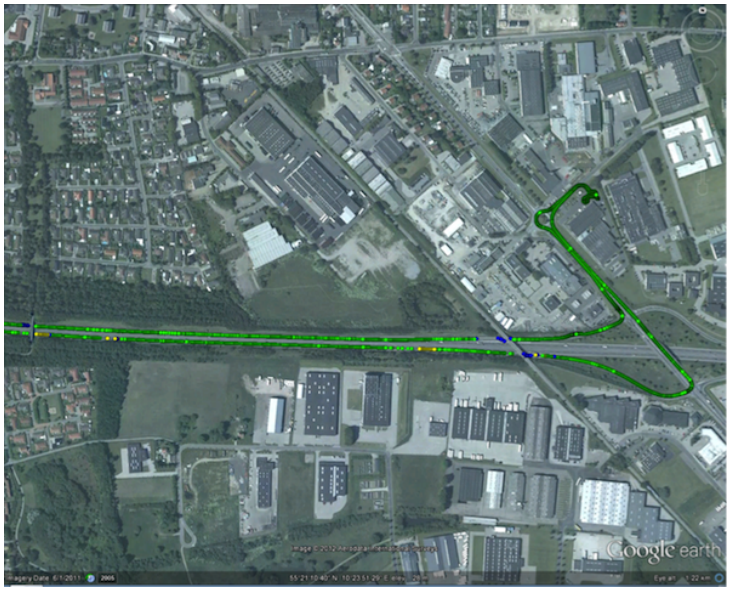
Følgende grundlæggende principper for maksimalt antal punkter, der kan behandles i forhold til tilgængelig hukommelse:

- *8 million points with 256 MB RAM*
- *20 million points with 512 MB RAM*
- *40 million points with 1024 MB RAM*

[Terrasolid, 2010, s.88]

I dette tilfælde arbejdes der med datapakker, der indeholder op imod 800-900 millioner punkter, ved kørsler hvor scan sampling frekvensen er på 100 procent. Ved postprocesseringen anvendes GPS observationerne, som overordnet orientering og positionering.

I de tilfælde hvor GPS observationerne, har været mangelfuld på grund af delvis mistet forbindelse eller dårlig dækning anvendes INS observationerne(IMU og hjulsensorer) til orientering og positionering. Dette sker ved en kombination af observationer fra de forskellige sensorer, hvilket indgår i en datafiltrering og udjævning.

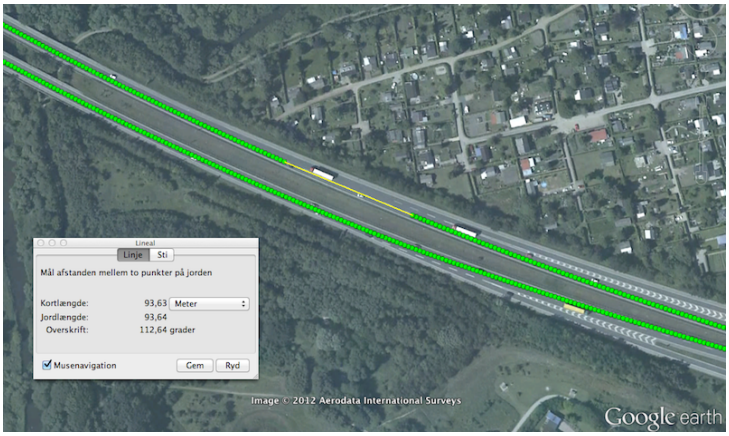



**Figur 7.1** – Illustration af gps.kml fil af GPS positioner og deres kvalitet, eksemplet er fra datasæt kørsel 4.

Af figur 7.1, ses et eksempel på en gps.kml-fil[3] indeholdende GPS positioner og deres kvalitet angivet efter farveskala. Grøn angiver positioner med lav RMS afvigelse. Ligeledes kan det ses, hvor mange GPS positioner, der er foretaget på netop denne kørsel. For yderligere indsigt henvises til gps.kml filerne på appendiks A.

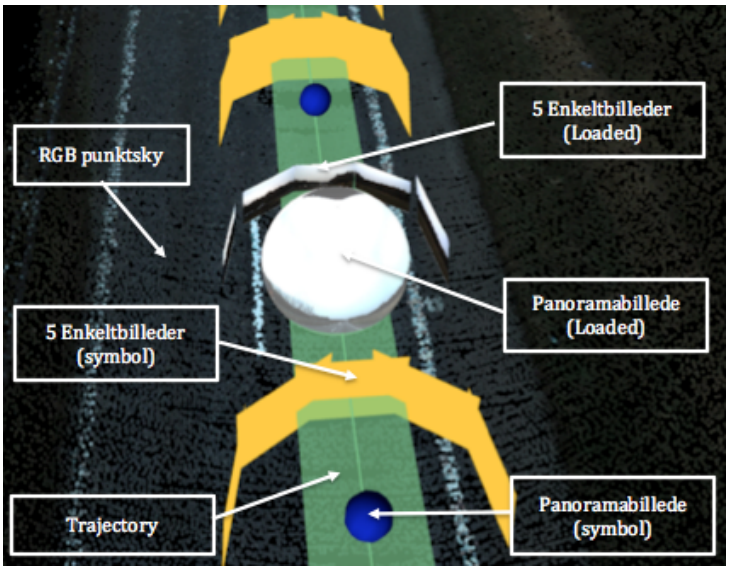
Oplysningerne herfra gør det klart at INS data ligeledes skal inddrages i beregningerne af trajectory. Det kan ses at GPS positionerne er mindre gode på dele af strækningen, hvilket hovedsageligt er aktuelt, når GPS signalet afbrydes ved for eksempel broer og lignende objekter, der genere GPS signalet. På baggrund af at dataindsamlingen foretages kinematisk vil et GPS slip strække sig over et længere stykke afhængig af hastigheden. Det er ikke kun ved broer og lignende, der forekommer GPS slip, hvilket også fremgår af figur 7.2. Her ses det at der er et GPS slip på ca. 93 meter i et ellers forholdsvist åbent område, hvor der ellers skulle være fin forbindelse til satellitterne. Disse oplysninger anvendes til at identificere områder hvor der kræves opmærksomhed i forhold til de kommen resultater og vurderinger.

[3] Filformat, Google Earth anvender til at udveksle geografiske oplysninger.




**Figur 7.2** – Eksempel på GPS slip for kørsel 8.(Markeret med gul streg imellem de grønne GPS observationer).

Processeringen skaber et trajectory for opmålingsforløbet. På baggrund af dette trajectory kan der med udgangspunkt i de forskellige sensorer, genereres data, der tilknyttes dette trajectory. I dette tilfælde genereres der en laserscannings punktsky, panoramabilleder og fem enkeltbilleder. Billeder genereres for hver 10 meter i forhold til kørselsstrækningen, hvilket der illlustreres af figur 7.3.




**Figur 7.3** – Illustration af trajectory, RGB punktsky, panoramabilleder og de fem enkelt billeder.

### 7.1.2 Dataformater

Ved generering af laserscannings punktsky og billeder vælges hvilket koordinatsystem data skal beregnes fra og til, eller hvordan data videre skal efterbehandles. Ved generering af punktskyen angives der hvilket fil-format, og koordinatsystem punktskyen skal relateres til, se appendiks I, afsnit I.9. Her vælges filtype-formatet .ips og og koordinat type sættes til ECEF. Filformatet .ips og koordinatsystemet ECEF vælges i første omgang på baggrund af de efterfølgende beregninger i Spatial Factory, da softwaren kræver dette filformat og koordinatsystem. Efter anvendelse af Spatial Factory og "Clean"af trajectory kan dataformat og koordinatsystem ændres og genberegenes i forhold til det nye trajectory.

### 7.1.3 Clean af trajectory og eksport

Den anden af de tre beregningsprocesser foregår i Spatial Factory, hvor beregningsfunktionen "Clean"anvendes. Her genereres et nyt trajectory på baggrund af genberegning af postprocesseringen(GPS + Inertial Postprocessing). Denne proces sikrer at eventuelle overlap og uoverensstemmelser mellem punktsky og trajectory stemmer overens. Herved skabes et nyt trajectory for forløbet og en genberegning af laserscannings punktsky og billeder er nødvendig i GeoClean. Datasættet indlæses igen i GeoClean, hvor trajectory er opdateret på baggrund af "Clean"funktionen fra Spatial Factory. For at data kan beregnes og kontrolleres yderligere via TerraScan, skal data beregnes/konverteres til følgende formater via GeoClean under generering af punktsky; filformatet ændres til .las og koordinatsystemet bibeholdes i ECEF. Udelukkende på baggrund af at TerraScan kun kan læse las fil-formatet, hvilket sikrer at data kan opdeles i definerede blokke og herved læses og visualiseres. I TerraScan anvendes kun ECEF koordinatsystem ved import af data, da der ved andre koordinatsystemer ikke kommer det rette antal decimaler med. Efterfølgende kan TerraScan anvendes til at transformerer til andre koordinatsystemer, for eksempel WGS84.

### 7.1.4 Kontrol af data

Den tredje og sidste beregning/kontrol foregår i MicroStation plugin - TerraScan, hvor der foretages en kontrol af de opnåede resultater på baggrund af GCP fordelt på opmålingsstrækningen sammenholdt med værdier fra den beregnede laserscanningspunktsky. I TerraScan kan kun Z-koordinaten kontrolleres ved hjælp af funktionen *Control Report*, hvor der sammenlignes på baggrund af en genereret TIN-model i forhold til GCP, hvilket resulterer i en række dz afvigelser. Kontrolrapporten beregner Standard og RMS afvigelser, hvilket indikerer en samlet afvigelse på hele datasættet.

Data importeres og der defineres et projekt, hvor man blandt andet definerer typen af data, størrelsen på grid bloks[4] og hvilket koordinatsystem data skal importeres til.

Størrelsen og opdelingen af grid datablokke sker på baggrund af COWI´s erfaringer fra tidligere projekter, samt set i forhold til punktmængden, softwaren kan håndtere. Datasættet inddeles i grid blokke, der måler 200x200 meter, som det fremgår af figur 7.4. Erfaringer viser at resultatet ikke forbedres ved at vælge grid blokstørrelser, der er mindre end 200x200 meter. Dog kan softwaren begrænse valget, idet hver blok derved vil indeholde væsentligt flere punkter, og herved ikke kan indlæses eller visualiseres.

**Figur 7.4** – Illustration af opdeling af las-filer i grid datablokke på 200x200 meter over dataindsamlingsområdet.[Kort fra COWI 2010]

Efterfølgende kan selve kontrolrapporten udføres på baggrund af koordinaterne til GCP og punktskyen. Kontrolrapporten analyserer i forhold til las- filerne på de oprettede grid blokke, hvilket resultere i en samlet kontrolrapport.

### 7.1.5 Ground Control Points

Kontrol af den absolutte nøjagtighed sker ved, som tidligere nævnt ved at anvende GCP udleveret af VD. I forhold til tidligere er denne koordinatliste reduceret fra at indeholde 81 GCP til 71, fordi der er punkter, der reelt ligger udenfor dataindsamlingsområdet. Dette betyder at punktskyen muligvis ville dække disse områder, men vil være langt fra trajectory og derved give høje afvigelse. De samlede afvigelser vil i den forbindelse være påvirket af disse punkter.

[4] Opdeling af punktskyen i definerede gitter blokke.

Kontrolrapporten anvender kun de grid blokke, der indeholder GCP, i dette tilfælde er det 24 ud af de i alt 52 blokke. Der opstilles parametre for hvornår et punkt ikke skal indgå i kontrolrapporten, se yderligre information herom i appendiks K.

**Figur 7.5** – Illustration af placeringen og fordelingen af kontrolpunkter(GCP)(markeret med hvid signatur) i forhold til dataindsamlingsområdet.[Kort fra COWI 2010]

Af figur 7.5 ses fordelingen af anvendte kontrolpunkter. Af appendiks A - GCP, ses en koordinatliste over GCP.

### 7.1.6 Matematisk sammenligningsgrudlag

Dette afsnit beskriver, hvordan de beregnede resultater vil blive sammenlignet og vurderet igennem problemanalysen. Den matematiske sammenligning sker ved, at sammenligne på standard og RMS afvigelserne fra kontrolrapporten.

$$Std.dev. = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(r_i - \bar{r})^2}{n}} \tag{7.1}$$

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(r_i)^2}{n}} \tag{7.2}$$

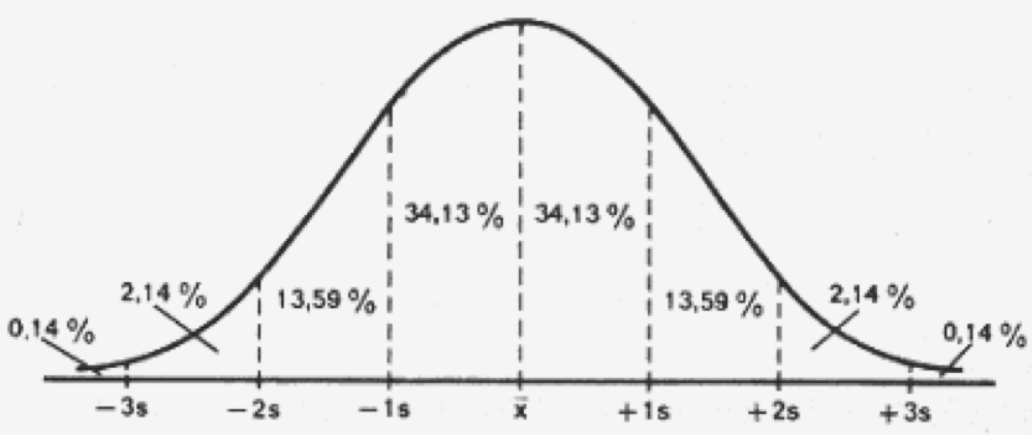
hvor,
$n$ er antallet af observationer
$r_i$ er residualet
$\bar{r}$ er middelresidualet

I dette tilfælde beregnes afvigelserne dz på baggrund af de oplyste GCP koordinater, da de plane XY-koordinater ikke kan defineres, det ikke er muligt at definerer de plane koordinater på baggrund af punktskyens kvalitet og nøjagtighed og GCP definition og udformning i punktskyen[5]

Afvigelserne beregnes ved hjælp af en indbygget funktion i TerraScan. Funktionen beregner en TIN-model på baggrund af punktskyen omkring et defineret område ved hjælp af GCP koordinaterne. Derefter interpoleres en Z-værdi til hvert af kontrolpunkterne på baggrund af punktets XY-koordinat. Den interpolerede Z-værdi kan herefter sammenholdes med kontrolpunktets oplyste koordinater, og der kan beregnes dz afvigelser.

Ud fra af disse afvigelser ses der ligeledes på fordelingen af afvigelser i forhold til fejlteorien igennem statistikken. Dette for at få en identifikation af om fordelingen af afvigelser følger normalfordelingsprincippet, hvilket kan vise om, der er grove og systematiske fejl samt om der er tendenser i forhold til hyppigheden af fejl.

Normalfordelte standardafvigelser tolkes efter følgende principper: En standardafvigelse svarer til at 68% af datapunkterne ligger indenfor gennemsnittet, to standardafvigelser svarer til 95% og tre standardsafvigelser svarer til 99,7 %. Indenfor landmåling anvendes tre gange standardafvigelser, hvilket anvendes i tolkningen af om data er normalfordelte. Tabel 7.6 viser hvor stor en del af data der vil ligge indenfor et givent interval af middelværdien i forhold til ± de beregnede spredninger [Eriksen et al, 2004].



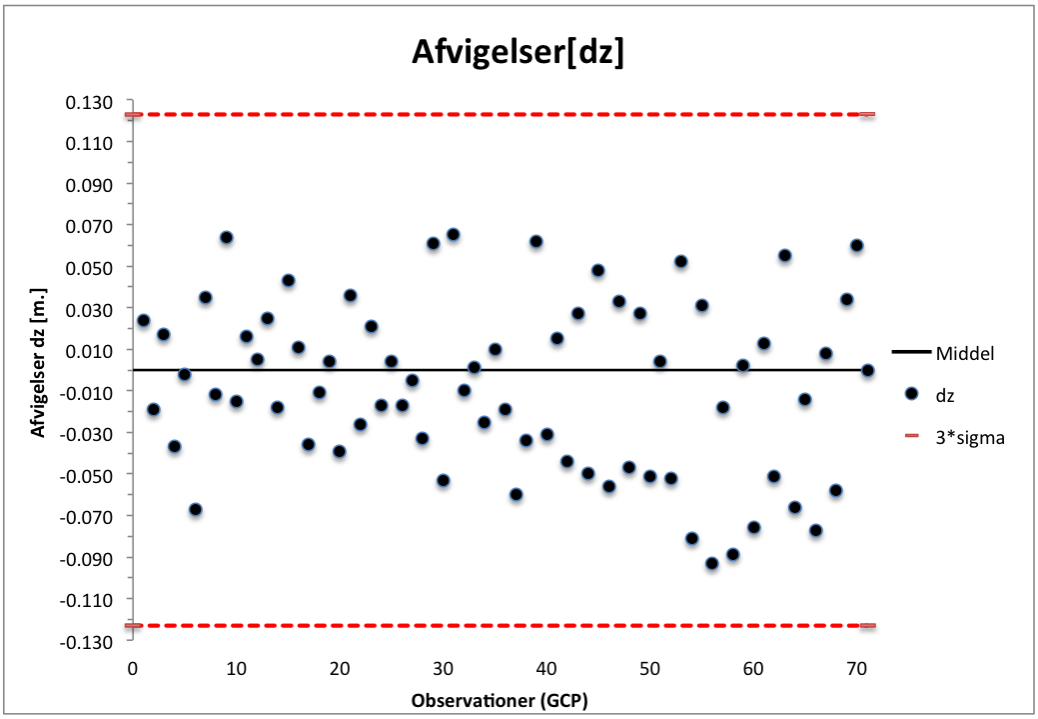

**Figur 7.6** – Normalfordelingen vist med procentvis fordeling af data.

[5] Plan flade på 30x30 centimeter, der ikke er veldefineret i punktskyen.

For at undersøge om der er grove fejl på dz afvigelserne beregnes den maksimale acceptable værdi for afvigelsen:

$$dz_{MAX} = \pm 3 \cdot \sigma_{dz} \tag{7.3}$$

Ved at anvende udtrykket ovenfor, forudsættes det, at data er normalfordelte. Overskrides denne spredning for en observation, skal den udtages fra de endelige beregninger. Spredningerne beregnes i kontrolrapporten fra TerraScan og vil efterfølgende blive illustreret grafisk ved hjælp af grafplot af afvigelserne udarbejdet i Excel. Et eksempel på dette kan ses af figur 7.7



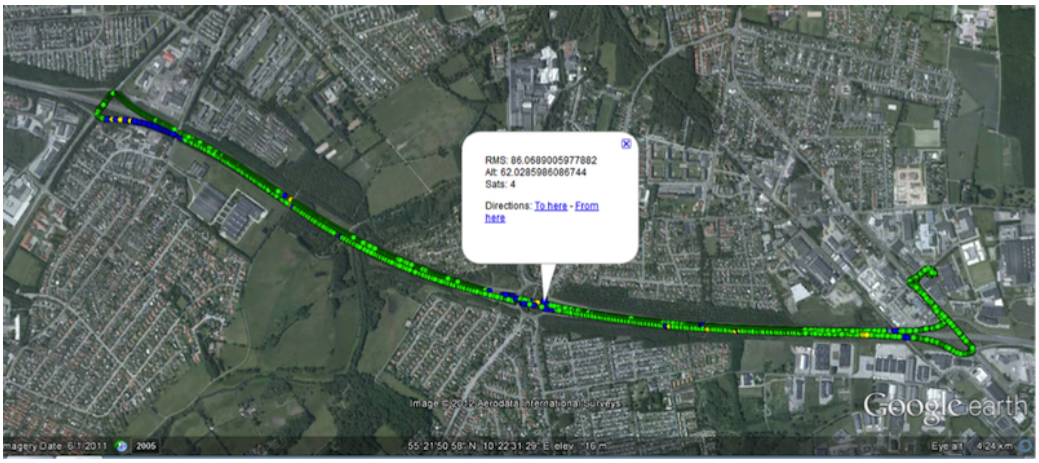

**Figur 7.7** – Illustration af fordelingen af afvigelser i forhold til middel for kørsel 4.

### 7.1.7 Visualisering af afvigelser

Afvigelserne i forhold til GCP visualiseres for at vurdere på afvigelserne i forhold til fysisk placering. For at konstatere om der er sammenhænge imellem placering og størrelsen på afvigelsen, hvor afvigelserne inddeles i farveintervaller efter kvalitet. Resultatet skal først og fremmest vise om, der er sammenhænge og tendenser på afvigelserne i forhold til de fysiske forhold på opmålings lokaliteten, som kan have indflydelse på kvaliteten af data. En anden mulighed ved denne løsning er at påvise, om der er tendenser i forhold til dataindsamlingsforløbet, samt hvordan afvigelserne er fordelt i forhold kørselsretning og forløb.

Endvidere laves en sammenligning imellem GPS positioner fra den absolutte nøjagtighed fra GPS(rover) monteret på MMS. Ud fra dataindsamlingen skabes en kml-fil, der visualiserer GPS positionerne angivet med RMS afvigelser. Ved at sammenholde beregnede afvigelser på GCP og GPS positioner, kan der muligvis udledes tendenser og udpeges områder, hvor GPS signalet har været mindre godt. Der sammenlignes ikke direkte på størrelsen af afvigelser, men på tendenserne, idet GPS positionerne indgår ved post-processering og beregning af trajectory og punktsky.

Af figur 7.8, ses et eksempel på visualisering af GPS positioner fra kørsel 4 fra dataindsamlingen.




**Figur 7.8** – Eksempel på visualisering af GPS positioner via Google Earth.

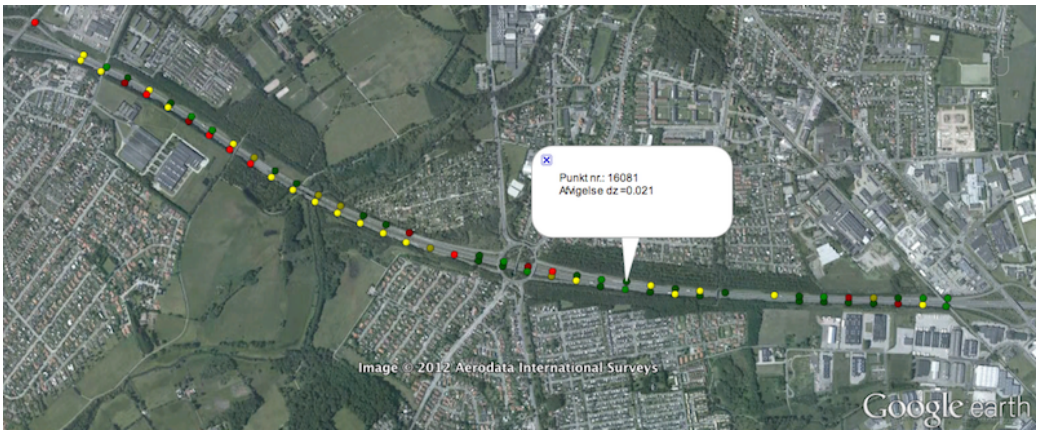
På tilsvarende måde illustreres de opnåede afvigelser på baggrund af kontrol på GCP. Løsningen præsenteres i Google Earth, hvor der dannes en kml-fil, som kan vises i en Google Earth plugin i en webbrowser. Løsningen vil indeholde informationer omkring placeringen af GCP i form af transformation af de oplyste 71 koordinatsæt til geografiske koordinater. Til hvert GCP tildeles informationer omkring afvigelser og de tildeles en farvekode, samt en signatur i forhold til størrelsen på afvigelsen. Der laves en kategorisering på tre niveauer, inddelt efter farvekoder i forhold til det interval afvigelserne ligger indenfor. Inddelingen i kategorier efter farver kan ses af tabel 7.2.

| **Afvigelsesinterval** | |
|---|---|
| **Interval[cm]** | **Farve** |
| ±0-3 | Grøn |
| ±3-6 | Gul |
| ±>6 | Rød |

**Tabel 7.2** – Farveskala interval for afvigelser vist i Google Earth.

Ved den digitale løsning kan der ses information omkring hvert GCP ved at markere(ved at klikke) på et eksakt punkt. Herved vil der åbnes en informationsboks, der indeholder informationer omkring punktnummer og den eksakte afvigelse på det pågældende punkt.

Et eksempel af denne løsning, ses af figur 7.9, hvor afvigelserne på GCP er vist via faveskala fra tabel 7.2.




**Figur 7.9** – Eksempel på visualisering af afvigelser fordelt på GCP via Google Earth.

De to visualiseringsløsninger vil fremgå af resultatbehandlingen og vurderingerne af beregningerne i de efterfølgende afsnit. De digitale løsninger vil ligeledes være at finde på appendiks A.

## 7.2 Indledende test analyser

Der udføres indledningsvist testanalyser i forhold til problemstillingen for at se, hvilke indflydelse funktionen "clean"har på det endelige resultat, da det ikke vides med sikkerhed, hvilke indvirkninger funktionen har. Testanalysen udføres på baggrund af de tre hastighedstestkørsler(fire, seks og otte), således der kan sammenlignes med lignende testkørsler, hvor funktionen er anvendt.

### 7.2.1 Test af funktionen - Clean

Beregningsmæssigt springes ledet omkring Spatial Factory - "Clean"over, således punktskyen genereres direkte til las-filformat i ECEF[6] koordinatsystemet og importeres direkte ind i TerraScan, hvor kontrolrapport funktionen anvendes på dette datasæt, som det fremgår af appendiks I og J.

### 7.2.2 Resultat

Resultatet af denne beregning ses af tabel 7.3. Hvor de endelige resultater af kontrolrapporten er fremhævet og illustreret.

| **Testresultater** | | | |
|---|---|---|---|
| **Hastighed** | **40 km/t** | **70 km/t** | **100/km/t** |
| **Testkørsel** | **4** | **6** | **8** |
| **Kategori** | | | |
| Average dz | -0.007 m | -0.010 m | +0.003 m |
| Minimum dz | -0.101 m | -0.101 m | -0.088 m |
| Maximum dz | +0.079 m | +0.061 m | +0.106 m |
| Average magnitude | +0.033 m | +0.030 m | +0.034 m |
| **RMS** | **+0.040 m** | **+0.037 m** | **+0.041 m** |
| **Std. dev.** | **+0.040 m** | **+0.036 m** | **+0.041 m** |
| Antal GCP | 67 | 71 | 71 |
| Udelukkede GCPs | 4 | 0 | 0 |

**Tabel 7.3** – Resultat oversigt for beregning af testkørsel 4, 6 og 8.

Kontrolrapporterne kan ses af appendiks A - Kontrolrapporter - Test Clean.

[6] Earth-Centered Earth-Fixed, kartessisk koordinatsystem angivet i XYZ.

### 7.2.3 Vurdering - Clean

Ved første antagelse ser det umiddelbart ikke ud til, at der er væsentlige afvigelser, og standard afvigelserne minder meget om de forventede fra afsnit 4.2.4. Standard afvigelserne ligger på nogenlunde samme niveau, dog ses det, at der ved kørsel fire kun er 67 GCP med i beregningen af kontrolrapporten. Dette betyder at fire af GCP er udelukket på baggrund af de opstillede parameter for kontrolrapporten, se appendiks K. Ved at kigge nærmere på kontrolrapporten, kan det ses af tabel 7.4, at der ikke er optaget værdier til punkterne i punktskyen, hvilket betyder at der ikke har været tilgængelig data til at danne TIN-modellen, eller at der ved dannelse af TIN-modellen har været "Max slope"[7]. "Max slope"er sat til maksimalt at må være på 90 grader, hvilket betyder, at der ved første postprocessering ikke har været nok eller brugbar data. Kontrolrapporten kan ses af appendiks A - Kontrolrapporter - Test Clean, hvor der ligeledes er foretaget en beregning hvor alle punkter er taget med i beregningen, hvilket resulterer i væsentlig større afvigelser. appendiks A - Kontrolrapporter - Test Clean.

**Kontrolrapport**

| GCP nr. | Easting | Northing | Know Z | Laser Z | Dz |
|---|---|---|---|---|---|
| 16001 | 588521.122 | 6134829.200 | 64.355 | 0.000 | -64.355 |
| 16002 | 588521.896 | 6134809.482 | 64.737 | 0.000 | -64.737 |
| 16011 | 588421.493 | 6134830.395 | 65.128 | 0.000 | -65.128 |
| 16012 | 588422.191 | 6134810.648 | 65.517 | 0.000 | -65.517 |

**Tabel 7.4** – Udrag fra kontrolrapport på kørsel 4.

Af uddraget fra kontrolrapporten, som fremgår af tabel 7.4, viser at kendt z koordinat overføres direkte som dz. Hvis værdierne indgår i beregningen vil størrelsen af afvigelser have stor indeflydelse på det samlede resultat. Der er desværre ikke tilgængelige billeder til denne kørsel. Havde de været tilgængelige kunne det kontrolleres, om der eventuelt havde været objekter eller lignende, der har generet under dataindsamlingen. Ved at kigge på punkternes placering i forhold til opmålingsforløbet ses det af figur 7.10, at punkterne umiddelbart ligger med frit udsyn til satellitter og afstanden til kontrolpunkterne, i forhold til opmålingsforløbet, ikke burde påvirke dataindsamlingen.

I forhold til figur 7.10 kan fejlen begrundes i, at der har været for stor forskel på trajectory beregnet i den første og anden kørselsretning, hvor scanningen og derved punktskyen vil have overlap. Det er tidligere nævnt at funktionen "Clean"i Spatial Factory undersøger for disse forhold, og derved udligner disse. Derved skabes et homogent datasæt uden forskelle på trajectory og punktsky.

[7] Maximum terrain slope for which an elevation difference will be computed.

**Figur 7.10** – Placering af GCP(16001,16002,16011 og 16012. [Kort fra COWI 2010]

Der er ikke klar dokumentation, for hvilken funktion "Clean"har, men ved at anvende funktionen og lave en ny processering og genberegning af trajectory skabes brugbar og valid data for hele datasættet. Det er derfor nødvendigt at anvende funktionen "Clean", for at sikre et valid datasæt, men der er ikke et entydigt bevis på ,at det er nødvendigt på alle datasæt, da det ses af tabel 7.4, at kørsel seks og otte ikke er behæftede med disse fejl. Funktionen "Clean"anvendes derfor på alle datasæt fremadrettet, for at sikre at data valid og sikre trajectory er kontrolleret og genberegnet.

Sammenlignes resultatet af tabel 7.4 med resultatet fra tabel 7.5, hvilket at foretaget på de samme testkørsler(fire, seks og otte), kan det ses af resultatet af kontrolrapporterne for kørsel fire, at der er anvendt 70 ud af 71 kontrolpunkter i beregningen og resultatet ser fornuftigt ud, hvis funktionen "Clean"er anvendt.

## 7.3 Dataprocessering - Hastighed

Denne analyse skal skabe klarhed over, om hastigheden har indflydelse på kvaliteten og nøjagtigheden af data. Der udføres en processering på baggrund af de tre nævnte hastigheder; 40, 70 og 100 kilometer i timen. Scan samplings frekvensen er den samme, for hver af de tre beregninger(100%). Egen reference er anvendt ved postprocessering og de tre datasæt har gennemført "Clean"i Spatial Factory og efterfølgende genberegnet i i GeoClean, inden data kan eksporteres til TerraScan, og kontrolrapporten kan udføres på baggrund af de 71 GCP.

### 7.3.1 Resultat

Resultatet af de tre beregninger ses af tabel 7.5. Resultatet er fremkommet af kontrolrapporten udført i TerraScan. Sammenligningen foregår på baggrund af en samlet vurdering ud fra spredningerne std. deviation og RMS. På baggrund af afvigelserne ses der også på fordelingen af afvigelser, ved at illustrere hyppigheden af afvigelserne og derved skabes et udtryk for fordelingen af afvigelser, hvilket beskriver om datasættet er homogent og normalfordelt. Resultatet vil ligeledes blive vurderet visuelt, ved at illustrere kontrolpunkternes lokation indeholdende de respektive afvigelsesværdier. Dette for at kunne vurdere, om der er tendenser i forhold til størrelsen af afvigelser med udgangspunkt i den fysisk placering. Resultatet af denne illustreres ved at inddele afvigelserne i kategorier og visualisere dem via et kort med farvescalasignatur efter afvigelsesgrad. Tabel 7.5 viser resultatet af kontrolrapporterne for kørsel fire, seks og otte:

| **Testresultater** | | | |
|---|---|---|---|
| **Hastighed** | **40 km/t** | **70 km/t** | **80/km/t** |
| **Testkørsel** | **4** | **6** | **8** |
| **Kategori** | | | |
| Average dz | -0.009 m | -0.003 m | +0.006 m |
| Minimum dz | -0.093 m | -0.094 m | -0.083 m |
| Maximum dz | +0.065 m | +0.057 m | +0.107 m |
| Average magnitude | +0.035 m | +0.032 m | +0.033 m |
| **RMS** | **+0.042 m** | **+0.037 m** | **+0.040 m** |
| **Std. dev.** | **+0.041 m** | **+0.037 m** | **+0.040 m** |
| Antal GCP | 70 | 71 | 71 |
| Udelukkede GCPs | 1 | 0 | 0 |

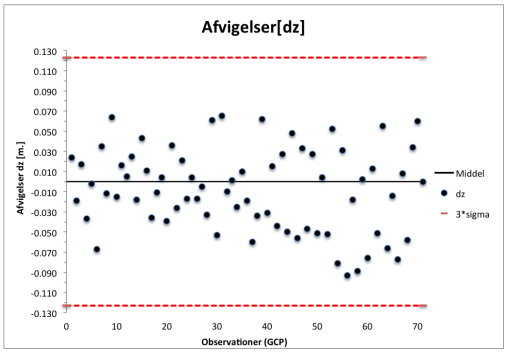
**Tabel 7.5** – Resultat oversigt for beregning af testkørsel 4, 6 og 8.

Kontrolrapporterne kan se af appendiks A - Kontrolrapporter - Hastighed.

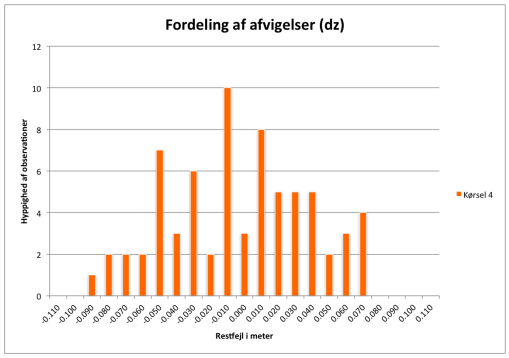
Det fremgår af kontrolrapporten for kørsel fire, at punkt 16343 har en afvigelse der overskrider ±3*$\sigma$, derfor udtages dette punkt og der beregnes en ny kontrolrapport.

For at kontrollere om der er grove fejl i datasættene beregnes den maksimale værdi som ±3*$\sigma$. Dette forudsætter, at data er normalfordelte. Er der spredninger der overskrider denne grænse udelukkes de fra beregningerne, og der foretages en ny beregning. Herunder fremgår spredningerne fra middel i forhold til ±3*$\sigma$ for hastighedsanalyserne beregnet på kørsel fire, seks og otte. Ligeledes vises fordelingen af afvigelser i forhold til normalfordelingen, hvor de observerede afvigelser er opgjort på antal, summeret i intervaller på centimeterniveau, defineret i forhold minimum og maksimums afvigelser.

Størrelse og fordeling af afvigelser i forhold til kørsel fire, kan ses af figur 7.11 og 7.12:

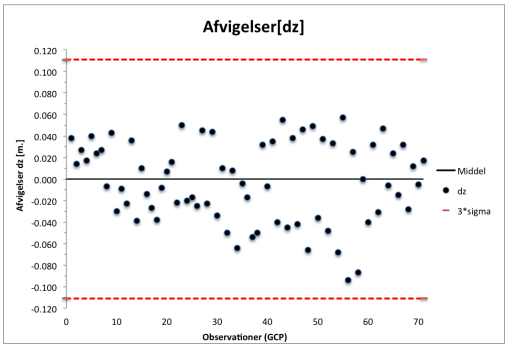



**Figur 7.11** – Illustration af fordelingen af afvigelser i forhold til middel afvigelsen.

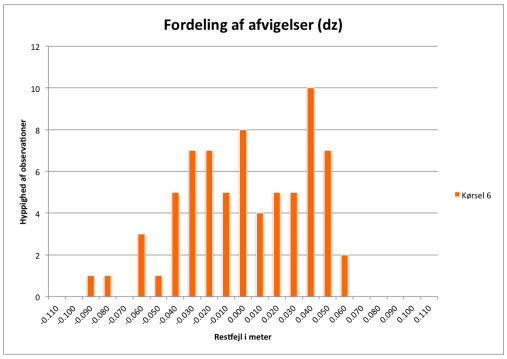



**Figur 7.12** – Illustration af fordelingen af afvigelser i forhold til normalfordelingen.

Størrelse og fordeling af afvigelser i forhold til afvigelser for kørsel fire, kan ses af figur 7.13 og 7.14:

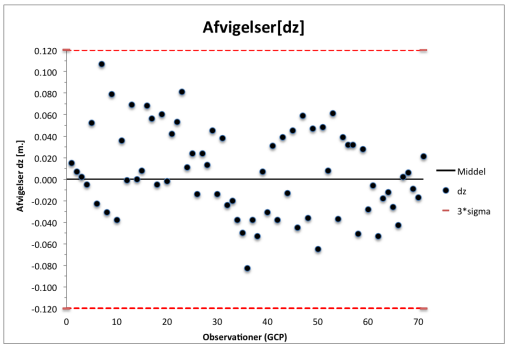



**Figur 7.13** – Illustration af fordelingen af afvigelser i forhold til middel afvigelsen.

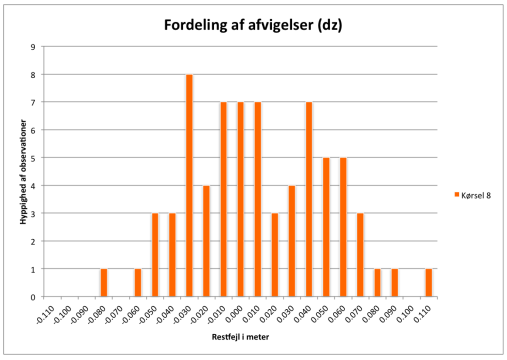



**Figur 7.14** – Illustration af fordelingen af afvigelser i forhold til normalfordelingen.

Størrelse og fordeling af afvigelser i forhold til afvigelser for kørsel fire, kan ses af figur 7.15 og 7.16:




**Figur 7.15** – Illustration af fordelingen af afvigelser i forhold til middel afvigelsen.




**Figur 7.16** – Illustration af fordelingen af afvigelser i forhold til normalfordelingen.

Det fremgår, at der er en fornuftig fordeling imellem afvigelserne, hvilket er et udtryk for, at der ikke er sket systematiske fejl. Der er ikke målinger, hvor spredningerne ligger uden for den maksimale grænse på $\pm 3^{*}\sigma$.Resultatet viser ligeledes, hvilke tendenser der er i forhold til fordelingen af fejl og i hvilke intervaller der hyppigst er afvigelser.

**Visualisering af GPS positioner**
Visualiseringen af GPS positioner i forhold til RMS spredninger anvendes til analyse og som vurderingsgrundlag i forhold til de beregnede resultater. På baggrund af disse positioner undersøges det, om der er sammenhænge imellem GPS positionerne og afvigelserne på GCP. Kan der ses tendenser allerede ved GPS positionerne, hvilket indgår i beregningerne, vil disse resultater have væsentlig indflydelse på de efterfølgende beregnede resultater.

De indsamlede GPS positioner for kørsel fire, seks og otte er herunder visualiseret af figur 7.17, 7.18 og 7.19.

Figur 7.17 er en illustration af GPS positioner med tilhørrende RMS spredning, inddelt efter farveskala.

**Figur 7.17** – Visuel illustration af GPS positioner for kørsel fire.

Figur 7.18 er en illustration af GPS positioner med tilhørrende RMS spredning, inddelt efter farveskala.

**Figur 7.18** – Visuel illustration af GPS positioner for kørsel seks.

Figur 7.19 er en illustration af GPS positioner med tilhørrende RMS spredning, inddelt efter farveskala.

**Figur 7.19** – Visuel illustration af GPS positioner for kørsel otte.

Resultatet vil blive sammenholdt med resultaterne fra afsnit 7.3.1 og vurderet i afsnit 7.3.2.

GPS positionerne i form af kml-filer, kan se af appendiks A - GPS_kml.

**Visualisering af afvigelser på GCP**

Resultatet af denne visualiseringsløsning er illustreret af skærm dumps fra Google Earth, hvilket anvendes som vurderingsgrundlag i forhold til fordelingen af afvigelser. Ligeledes til at vurdere, om der er sammenfaldende tendenser imellem de forskellige kørsler. Af figur 7.20, 7.21 og 7.22 ses en visualisering af de tre kørsler i forhold til analyser omkring hastighed.

Figur 7.20 er en illustration af fordelingen af afvigelser, fordelt på de anvendte GCP, inddelt efter farveskala oprettet i tabel 7.2 for kørsel fire.

**Figur 7.20** – Visuel illustration af afvigelserne fordelt på GCP for kørsel fire.

Figur 7.21 er en illustration af fordelingen af afvigelser, fordelt på de anvendte GCP, inddelt i efter farveskala oprettet i tabel 7.2 for kørsel seks

**Figur 7.21** – Visuel illustration af afvigelserne fordelt på GCP for kørsel seks.

Figur 7.22 er en illustration af fordelingen af afvigelser fordelt på de anvendte GCP, inddelt i efter farveskala oprettet i tabel 7.2 for kørsel otte.

**Figur 7.22** – Visuel illustration af afvigelserne fordelt på GCP for kørsel otte.

De digitale løsninger og større skærm dumps kan ses af appendiks A - GCP_kml.

### 7.3.2 Vurdering - Hastighed

Dette afsnit vil indeholde en vurdering af de opnåede resultater i forbindelse med analyserne omkring hastighedens indvirkning på dataindsamlingen i henhold til nøjagtigheden. Der vurderes på baggrund af tre forskellige resultater; konkrete afvigelser i forhold til GCP ud fra af interpolerede z-værdier imellem GCP og laserscanningspunktsky via genereret TIN-model omkring GCP. Fordeling af afvigelser i forhold til princippet omkring normalfordeling, for at tjekke for systematiske fejl. Efterfulgt af en visuel vurdering ved hjælp af placeringen og fordelingen af afvigelser i forhold til GCP.

**Vurdering - kontrolrapport**
Ved at se på de summerede afvigelser på baggrund af kontrol på de 71 GCP, ses det, at afvigelserne i forhold til std. deviation og RMS ligger på omkring 0.040 meter for de tre kørsler, se tabel 7.5. Der er ikke den store forskel på afvigelserne i forhold til, om der er foretaget dataindsamling med 40, 70 eller 100 km/t. Forskellene ligger på få millimeter, hvilket bekræfter, at hastigheden, som sådan ikke har nogen direkte indvirkning på resultatet. Ved at se på størrelsen af afvigelser, ses det at der er en forholdsvis stor forskel imellem minimum og maksimum dz. Dette betyder, at der er forholdsvis store udsving i størrelsen af fejl. Disse afvigelser er et udtryk for, hvor godt punktskyen har kunnet defineres i forhold til placeringen af GCP. Der kan have været objekter, såsom forbipasserende køretøjer, hvilket kan ses i punktskyen, der har generet dele af dataindsamlingen. Afstanden til GCP kan variere fra 2.5 til 15 meter i forhold placeringen af MM køretøjet, idet der er forskel på, hvilken vognbane opmålingen foretages fra, samt placeringen af nogle af GCP er ved forbipasserende til og frakørsler.

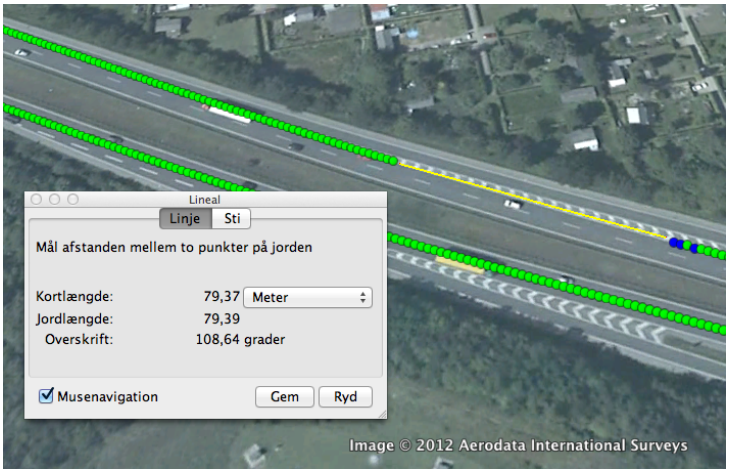
Størrelsen af afvigelserne stammer også fra metoden, hvorpå dataindsamlingen foregår. Metoden er hovedsageligt baseret på GPS og INS positionering. Ved normale omstændigheder opnås der en nøjagtighed ved statisk RTK måling på omkring 2-4 centimeter i højden betinget af en god satellitekonstellation[4]. Ved MM metoden er det ikke en statisk måling, derved må det forventes, at nøjagtigheden af GPS observationer må være væsentlig dårligere. INS systemets funktion er derved at sikre at nøjagtigheden ved dårlig GPS observationer bibeholdes. Det vides at, der også er fejlophobning på dette system, idet INS systemet, IMUén "driver"proportionalt i forhold til tiden [6]. Dette betyder, at INS systemet anvendes til positioneringen, når der er GPS udfald. Der analyseres ikke på, hvornår det ene eller det andet system bestemmer positioneringen, eller hvilke fejlkilder eller størrelser på fejl, der stammer fra hvilket system. Det kan konstateres, at der er afvigelser i størrelsesordenen 0.040 meter, som kan stamme fra GPS og INS unøjagtigheder eller som opstår af en dårlig defineret punktsky.

Størrelsen af afvigelserne stemmer, ligeledes også, godt overens med det forventede niveau, i forhold til tidligere analyser foretaget af COWI, se afsnit 4.2.4. Det må derved konstateres, at forskellighed for hastighed ved dataindsamlingen ikke har direkte indflydelse på nøjagtigheden af beregnet data. Størrelsesordenen af afvigelserne må stamme fra metoden, samt i forbindelse med, at det stemmer overens med de forventede nøjagtigheder. Dette set i forhold til afvigelserne ved statisk RTK måling.

**Vurdering - fordeling**
Tendensen for normalfordelingskurven er tilstede, men der er ikke symmetrien omkring nul, hvilket kan betyde en systematisk fejl. Ved at se på fordelingen af afvigelser ses det, at afvigelserne for de tre kørsler er forholdsvis fordelt i forhold til statistikkens normalfordelings princip. De fleste afvigelser ligger i intervallet -0.050 til +0.070 meter. Hvilket hænger godt sammen med størrelsen på de summerede afvigelser.

**Vurdering - GCP**
Ved at kigge på fordelingen af afvigelser i forhold til placeringen af de 71 GCP, figur 7.20, 7.21 og 7.22 ses der ikke konkrete sammenhænge, eller ligheder imellem de tre kørsler. Dog er der forskellige tendenser, der gentages. De punkter der ikke ligger i nær tilknytning til dataindsamlings trajectory, er behæftet med størrer afvigelser end de punkter der ligger i nær tilknytning. Dette kan skyldes, at der er uoverensstemmelse i laserscanningspunktskyen, da der kan forekomme væsentlige højdeforskelle ved for eksempel til- og frakørselsramper. Dette kombineret med afstanden kan have en indvirkning på resultatet. Øvrige enkeltstående afvigelser kan stamme fra placeringen under kørslen samt forstyrrende objekter.

Generelt for de tre kørsler er der tendens til høje afvigelser, når der køres i østgående retning fra frakørsel 52 til frakørsel 50. De høje afvigelser kan stamme fra følgende; INS på grund af tid og retningsændring, dårlig GPS signal på grund af de mange træer syd for motorvejen - kombineret med kørsel under to broer, hvilket ses af figur 7.17, 7.18 og 7.19. Hastigheden kan påvirke varigheden af GPS udfald. Et eksempel; hvis der køres med 80 kilometer i timen og der ikke er valid data i et sekund svarer det til et dataslip på 22 meter. Det ses også på GPS positionerne, at desto højere fart - desto længere slip. Det fremgår tydeligt af GPS positionerne, hvor der har været dårlig dækning og ligeledes GPS dataslip. Der kan være slip fra 10-20 meter og helt op til 80-100 meter afhængigt af hastigheden, hvor der ikke har været GPS dækning og derved ingen data, se eksempel af figur 7.23. Dette må konstateres at kunne være et problem samt have stor indflydelse på de efterfølgende beregninger.




**Figur 7.23** – Eksempel på GPS dataslip på omkring 80 meter.(markeret med en gul streg.)

Det må derved konstateres, at forskellig hastighed ved dataindsamlingen ikke har direkte indflydelse på nøjagtigheden af processerede data. I det efterfølgende afsnit analyseres der på om scan sampling frekvensen har indvirkning på datakvaliteten ved tre forskellige hastigheder.

## 7.4 Dataprocessering - Scan Sampling Frekvens

Denne analyse skal skabe klarhed over om scan samplings frekvensen har indflydelse på datakvaliteten ved de tre forskellige hastigheder. Ved denne analyse ændres der udelukkende på scan sampling frekvensen på laserscanneren. Hvilket indbefatter scan samplings frekvenser ved henholdsvis 25, 50 og 100%. Egen reference er anvendt ved postprocessering, og de seks datasæt har gennemført "clean"i Spatial Factory og er genberegnet i GeoClean inden data er eksporteret til TerraScan. Kontrolrapporten er udført på baggrund af de 71 GCP. Datasættene er sammensat parvis på baggrund af hastigheden således det kun er scan sampling frekvenserne der er forskellige. Dette betyder, at datasættene kun kan sammenlignes parvis. Samlet set kan de dog godt vurderes i forhold til hinanden, for at se om der er tendenser.

### 7.4.1 Resultat

Resultaterne for de seks beregnede kørsler fremgår af dette afsnit. Der vil være tre tabeller, idet de sammenlignes parvis. Resultaterne vurderes efterfølgende i afsnit 7.3.2. Resultatet er fremkommet af kontrolrapporten udført i TerraScan. Resultatet vil ligeledes blive vurderet visuelt ved at illustrere kontrolpunkternes lokation indeholdende de respektive afvigelsesværdier for at kunne vurdere om der er tendenser i forhold til størrelsen af afvigelser i forhold til fysisk placering.

Resultatet af de to kørsler, hvor hastigheden har været fastholdt til 40 kilometer i timen, kan ses af tabel 7.6.

| **Testresultater** | | |
|---|---|---|
| **Hastighed** | **40 km/t.** | **40 km/t.** |
| **Scansamplingfrekvens** | **50 %** | **100 %** |
| **Testkørsel** | **3** | **4** |
| **Kategori** | | |
| Average dz | -0.001 m | -0.009 m |
| Minimum dz | -0.086 m | -0.093 m |
| Maximum dz | +0.083 m | +0.065 m |
| Average magnitude | +0.029 m | +0.035 m |
| **RMS** | **+0.034 m** | **+0.042 m** |
| **Std. dev.** | **+0.035 m** | **+0.041 m** |
| Antal GCP | 71 | 70 |
| Udelukkede GCPs | 0 | 1 |

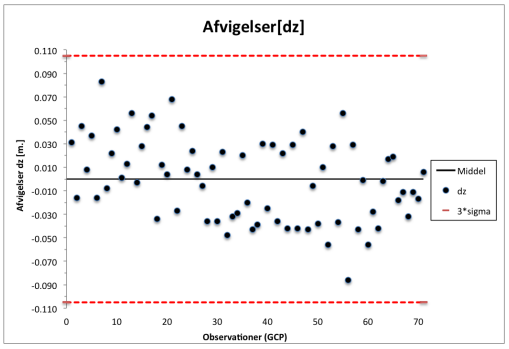
**Tabel 7.6** – Resultat oversigt for beregning af testkørsel 3 og 4.

Kontrolrapporten kan ses af appendiks A - Kontrolrapporter - Scan samplings frekvens.

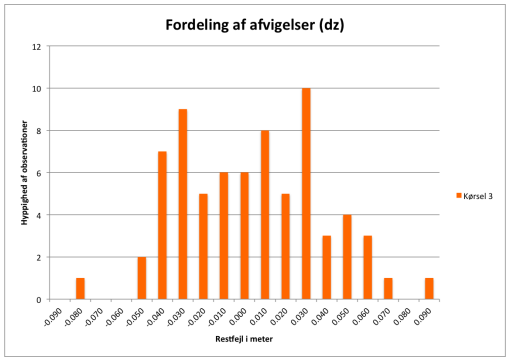
Det fremgår af kontrolrapporten for kørsel fire, at punkt 16343 har en afvigelse, der overskrider $\pm 3^*\sigma$, derfor udtages dette punkt, og der beregnes en ny kontrolrapport. Punktet kan være placeret langt fra trajectory eller have været dækket af et forbipasserende køretøj, hvilket det tyder på, når der ses på punktskyen.

Herunder fremgår spredningerne fra middel i forhold til $\pm 3^*\sigma$, for scan samplings frekvens analyserne beregnet på kørsel tre of fire. Ligeledes vises fordelingen af afvigelser i forhold til normalfordelingen, hvor de observerede afvigelser er opgjort på antal, summeret i intervaller på centimeter niveau, defineret i forhold minimum og maksimums afvigelser.

Størrelse og fordeling af afvigelser i forhold til afvigelser for kørsel tre, kan ses af figur 7.24 og 7.25:

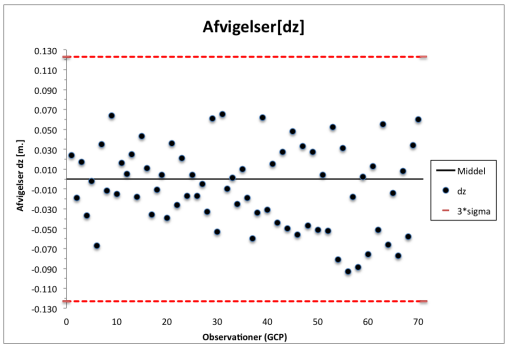



**Figur 7.24** – Illustration af fordelingen af afvigelser i forhold til middel afvigelsen.

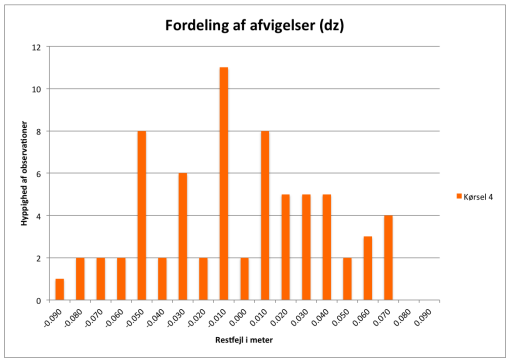



**Figur 7.25** – Illustration af fordelingen af afvigelser i forhold til normalfordelingen.

Størrelse og fordeling af afvigelser i forhold til afvigelser for kørsel fire, kan ses af figur 7.26 og 7.27:




**Figur 7.26** – Illustration af fordelingen af afvigelser i forhold til middel afvigelsen.




**Figur 7.27** – Illustration af fordelingen af afvigelser i forhold til normalfordelingen.

Det fremgår, at der er en fordeling omkring nul imellem afvigelserne, hvilket er udtryk for, at der ikke er sket systematiske fejl. Der er ikke målinger, hvor spredningerne ligger udenfor den maksimale grænse på $\pm 3*\sigma$.Resultatet viser ligeledes, hvilke tendenser der er i forhold til fordelingen af fejl, samt i hvilke intervaller der er hyppigste afvigelser.

Resultatet af de to kørsler, hvor hastigheden har været fastholdt til 70 kilometer i timen kan ses af tabel 7.7.

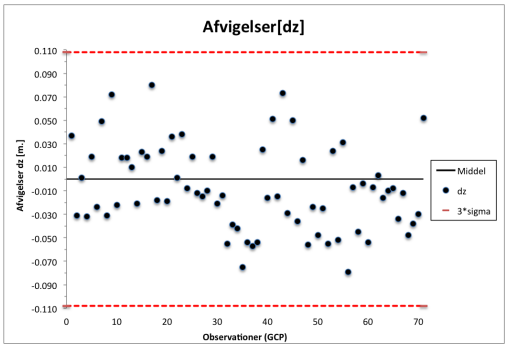
| **Testresultater** | | |
|---|---|---|
| **Hastighed** | **70 km/t.** | **70 km/t.** |
| **Scansamplingfrekvens** | **25 %** | **100 %** |
| **Testkørsel** | **5** | **6** |
| **Kategori** | | |
| Average dz | -0.008 m | -0.003 m |
| Minimum dz | -0.079 m | -0.094 m |
| Maximum dz | +0.080 m | +0.057 m |
| Average magnitude | +0.031 m | +0.032 m |
| **RMS** | **+0.037 m** | **+0.037 m** |
| **Std. dev.** | **+0.036 m** | **+0.037 m** |
| Antal GCP | 71 | 71 |
| Udelukkede GCPs | 0 | 0 |

**Tabel 7.7** – Resultat oversigt for beregning af testkørsel 5 og 6.

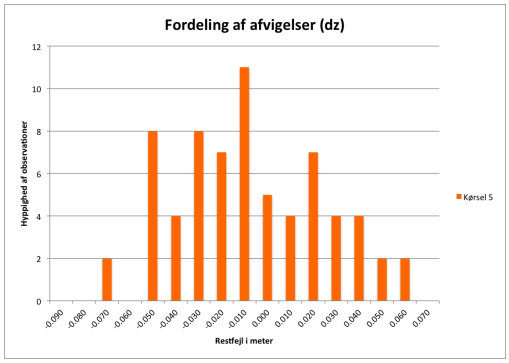
Kontrolrapporten kan se af appendiks A - Kontrolrapporter - Scan samplings frekvens.

Herunder fremgår spredningerne fra middel i forhold til $\pm 3^{*}\sigma$ for scan sampling frekvens analyserne beregnet på kørsel fem til seks. Ligeledes vises fordelingen af afvigelser i forhold til normalfordelingen, hvor de observerede afvigelser er opgjort på antal, summeret i intervaller på centimeter niveau defineret i forhold minimum og maksimums afvigelser.

Størrelse og fordeling af afvigelser i forhold til afvigelser for kørsel fem, kan ses af figur 7.28 og 7.29:

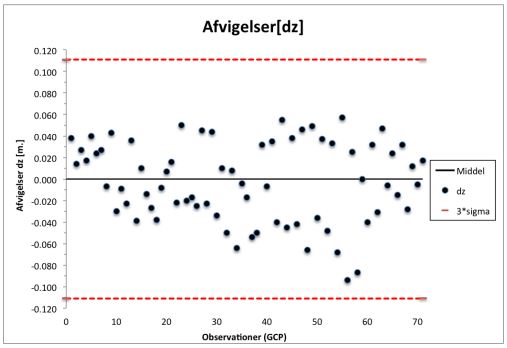



**Figur 7.28** – Illustration af fordelingen af afvigelser i forhold til middel afvigelsen.

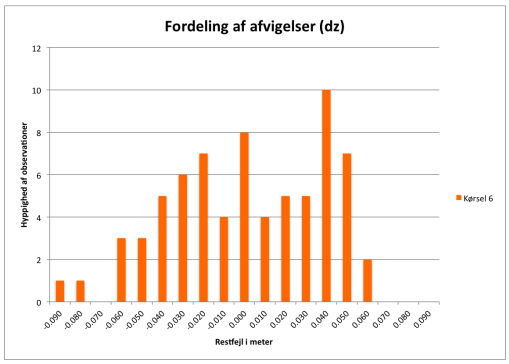



**Figur 7.29** – Illustration af fordelingen af afvigelser i forhold til normalfordelingen.

Størrelse og fordeling af afvigelser i forhold til afvigelser for kørsel seks, kan ses af figur 7.30 og 7.31:




**Figur 7.30** – Illustration af fordelingen af afvigelser i forhold til middel afvigelsen.




**Figur 7.31** – Illustration af fordelingen af afvigelser i forhold til normalfordelingen.

Det fremgår, at der er en fordeling omkring nul imellem afvigelserne hvilket er et udtryk for, at der ikke er sket systematiske fejl. Der er ikke målinger, hvor spredningerne ligger uden for den maksimale grænse på $\pm 3^{*}\sigma$.Resultatet viser ligeledes, hvilke tendenser der er i forhold til fordelingen af fejl, samt i hvilke intervaller der er hyppigste afvigelser.

Resultatet af de to kørsler, hvor hastigheden har været fastholdt til 100 kilometer i timen kan ses af tabel 7.8.

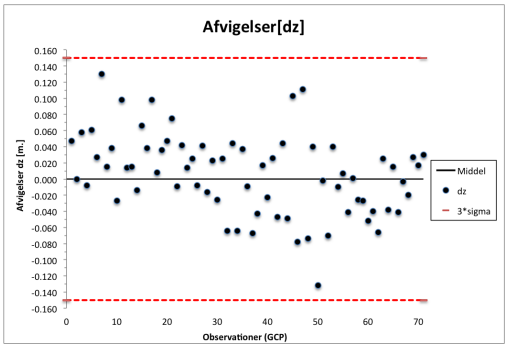
| **Testresultater** | | |
|---|---|---|
| textbfHastighed | **100 km/t.** | **100 km/t.** |
| **Scansamplingfrekvens** | **25 %** | **100 %** |
| **Testkørsel** | **7** | **8** |
| **Kategori** | | |
| Average dz | +0.006 m | +0.006 m |
| Minimum dz | -0.132 m | -0.083 m |
| Maximum dz | +0.130 m | +0.107 m |
| Average magnitude | +0.040 m | +0.033 m |
| **RMS** | **+0.050 m** | **+0.040 m** |
| **Std. dev.** | **+0.050 m** | **+0.040 m** |
| Antal GCP | 71 | 71 |
| Udelukkede GCPs | 0 | 0 |

**Tabel 7.8** – Resultat oversigt for beregning af testkørsel 7 og 8.

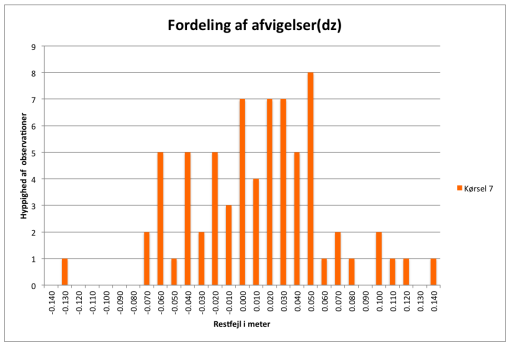
Kontrolrapporten kan se af appendiks A - Kontrolrapporter - Scan samplings frekvens.

Herunder fremgår spredningerne fra middel i forhold til $\pm 3^{*}\sigma$ for scan sampling frekvens analyserne beregnet på kørsel syv og otte. Ligeledes vises fordelingen af afvigelser i forhold til normalfordelingen, hvor de observerede afvigelser er opgjort på antal, summeret i intervaller på centimeter niveau defineret i forhold minimum og maksimums afvigelser.

Størrelse og fordeling af afvigelser i forhold til afvigelser for kørsel syv, kan ses af figur 7.32 og 7.33:

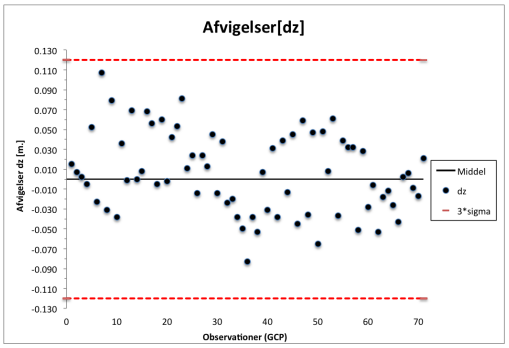



**Figur 7.32** – Illustration af fordelingen af afvigelser i forhold til middel afvigelsen.

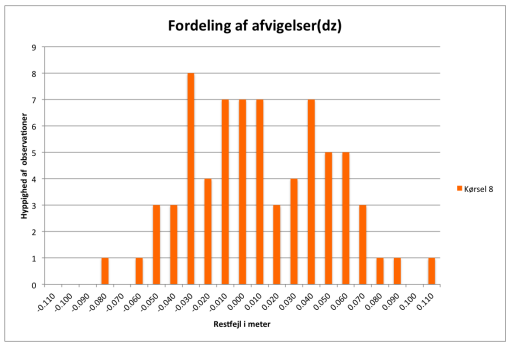



**Figur 7.33** – Illustration af fordelingen af afvigelser i forhold til normalfordelingen.

Størrelse og fordeling af afvigelser i forhold til afvigelser for kørsel otte, kan ses af figur 7.34 og 7.35:




**Figur 7.34** – Illustration af fordelingen af afvigelser i forhold til middel afvigelsen.




**Figur 7.35** – Illustration af fordelingen af afvigelser i forhold til normalfordelingen.

Det fremgår, at der er en fordeling omkring nul imellem afvigelserne, hvilket er udtryk for, at der ikke er sket systematiske fejl. Der er ikke målinger, hvor spredningerne lægger udenfor den maksimale grænse på $\pm 3^{*}\sigma$.Resultatet viser ligeledes, hvilke tendenser der er i forhold til fordelingen af fejl, samt i hvilke intervaller der er hyppigste afvigelser.

**Visualisering af GPS positioner**

Visualiseringen af GPS positioner i forhold til RMS spredninger anvendes til analyse og som vurderingsgrundlag i forhold til de beregnede resultater. På baggrund af disse positioner ønskes det undersøgt, om der er sammenhænge imellem GPS positionerne og afvigelserne på GCP. Kan der ses tendenser allerede ved GPS positionerne, hvilket indgår i beregningerne, vil disse resultater have væsentlig indflydelse på nøjagtigheden af det beregnede trajectory. De indsamlede GPS positioner for kørsel tre, fem og syv er herunder visualiseret af figur 7.36, 7.37 og 7.38. Af afsnit 7.3.1, figur 7.17, 7.18 og 7.19 fremgår kørsel fire, seks og otte, hvilket samlet set danner grundlag for de visuelle resultater for denne analyse.

Figur 7.36 er en illustration af GPS positioner med tilhørende RMS spredning, inddelt efter farveskala.

**Figur 7.36** – Visuel illustration af GPS positioner for kørsel tre.

Figur 7.37 er en illustration af GPS positioner med tilhørrende RMS spredning, inddelt efter farveskala.

**Figur 7.37** – Visuel illustration af GPS positioner for kørsel fem.

Figur 7.38 er en illustration af GPS positioner med tilhørrende RMS spredning, inddelt efter farveskala.

**Figur 7.38** – Visuel illustration af GPS positioner for kørsel syv.

Resultatet vil blive sammenholdt med resultaterne fra afsnit 7.4.1 og vurderet i afsnit 7.4.2.

GPS positionerne i form af kml-filer, kan se af appendiks A - GPS_kml.

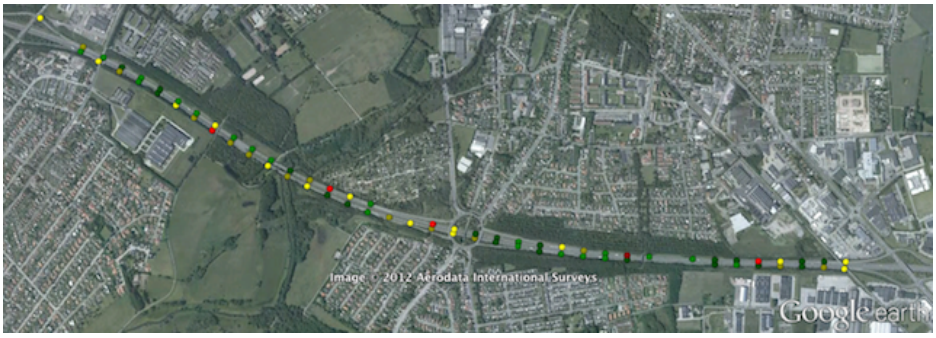
**Visualisering af afvigelser på GCP**

Resultatet af denne visualiseringsløsning er illustreret af skærm dumps fra Google Earth, hvilket anvendes som vurderingsgrundlag i forhold til fordelingen af afvigelser. Ligeledes til at vurdere, om der er sammenfaldende tendenser imellem de forskellige kørsler. Af figur 7.39, 7.40 og 7.41 ses en visualisering af kørsel tre, fem og syv ud af de i alt seks kørsler i forhold til analyser omkring scan sampling frekvens. Af afsnit 7.3.1, figur 7.20, 7.21 og 7.22 fremgår kørsel fire, seks og otte hvilket samlet set danner grundlag for de visuelle resultater for denne analyse.

Figur 7.39 er en illustration af fordelingen af afvigelser fordelt på de anvendte GCP, inddelt i farveskala, oprettet i tabel 7.2 for kørsel tre.

**Figur 7.39** – Visuel illustration af afvigelserne fordelt på GCP for kørsel tre.

Figur 7.40 er en illustration af fordelingen af afvigelser fordelt på de anvendte GCP, inddelt i farveskala, oprettet i tabel 7.2 for kørsel fem.




**Figur 7.40** – Visuel illustration af afvigelserne fordelt på GCP for kørsel fem.

Figur 7.41 er en illustration af fordelingen af afvigelser fordelt på de anvendte GCP, inddelt i farveskala, oprettet i tabel 7.2 for kørsel syv.

**Figur 7.41** – Visuel illustration af afvigelserne fordelt på GCP for kørsel syv.

De digitale løsninger og større skærm dumps kan ses af appendiks A - GCP_kml.

### 7.4.2 Vurdering - Scan sampling Frekvens

Dette afsnit vil indeholde en vurdering af de opnåede resultater i forbindelse med analyserne omkring scan sampling frekvensens indvirkning på dataindsamlingen i henhold til nøjagtigheden. Der vurderes på baggrund af tre forskellige resultater;

- Konkrete afvigelser i forhold til GCP på baggrund af interpolerede z-værdier imellem GCP og laserscanningspunktsky på baggrund af genereret TIN-model omkring GCP.
- Fordelingen af afvigelser på baggrund af princippet omkring normalfordeling, for at tjekke for grove og systematiske fejl.
- Visuel vurdering på baggrund af placeringen og fordelingen af afvigelser.

I denne analyse kan der ikke vurderes samlet på alle seks kørsler, idet de er sammensat parvis, som det fremgår af afsnit 7.5.2. Dog kan størrelsen af afvigelserne godt vurderes som en helhed, for at konstatere hvilket niveau afvigelserne ligger indenfor. I den første del af vurderingen tages der udgangspunkt i de opnåede resultater i forbindelse med kontrolrapporten, hvor der er beregnede summerede afvigelser.

**Vurdering - kontrolrapport**
Ved at kigge på tabel 7.6, 7.7 og 7.8 er der ikke umiddelbare tegn på at scan sampling frekvensen har en decideret betydning, idet der ikke er den store forskel på Std. deviation og RMS afvigelserne. Niveauet omkring afvigelser stemmer godt overens med de opnåede resultater fra afsnit 7.3. Forskellen på afvigelsernes størrelse kan afhænge af hver enkel dataindsamling, da hver kørsel må antages at være uafhængige af hinanden. Intervallet for de summerede afvigelser ligger i mellem 0.030 og 0.050 meter. Afvigelserne i mellem de parvise kørsler, viser at afvigelserne maksimalt ligger på 0.010 meter.

**Vurdering - fordeling**
Ved at se på fordelingen af afvigelser for de seks kørsler, ses det at afvigelserne er jævnt fordelt i forhold til statistikkens normalfordelingsprincip. Dette viser, at fejl er fordelt positivt og negativt, og de fleste afvigelser ligger i intervallet -0.050 til +0.050 meter. Dette hænger godt sammen med størrelsen på de summerede afvigelser. Der er en smule forskel på fordelingen i forhold til de seks kørsler, men tendensen for normalfordelingskurven er tilstede, og der er ved de seks tilfælde tale om rimelig fordeling mellem størrelsen på afvigelser. Statistikken viser, at de tre datasæt ikke er behæftede med systematiske- og grove fejl, samt at datasættene er normaltfordelte.

**Vurdering - GCP**
Ved at kigge på fordelingen af afvigelser i forhold til placeringen af de 71 GCP, figur 7.39 7.20, 7.40, 7.21, 7.41 og 7.22, ses der ikke konkrete sammenhænge eller ligheder imellem de seks kørsler, tværtimod synes kørsel fire og seks at have væsentligt flere afvigelser over de 0.060 meter, hvilket er markeret med rød signatur via kml-filerne.

Det viser ikke, at scan sampling frekvensen har betydning, da netop disse kørsler er kørt med 100 procent sampling frekvens. Af kørsel syv og otte er der en tendens til, at hvis der køres med høj fart skal scan samplings frekvensen tilsvarende stilles op, da det kan ses, at der skabes flere høje afvigelser på kørsel syv end otte.

De samme tendenser fra vurderingen omkring hastighed gentages i denne analyses resultater med henblik på placering af GCP og forstyrrende objekter, der giver støj på såvel GPS samt laserscanningsdata. Det er nogenlunde de samme punkter, der har de største afvigelser, hvilket må betyde, at det er vanskeligt at at få kvalificeret data. Det er som tidligere nævnt de samme områder, hvor der ikke har været tilstrækkelig eller ingen GPS dækning, hvilket betyder at INS systemet har skulle styre positioneringsdelen meget. Det tyder på, at der de steder hvor der er manglende GPS dækningen, hvilket har stor vægt i beregningsmatricen. Det tyder på, at de beregnede afvigelser hænger sammen med de steder, hvor der har været dårlig eller slet ingen dækning i form af GPS slip. Dette betyder samtidig, at punktskyen er dårligt defineret de pågældende steder, som ligger til grund for den endelige absolute kontrol.

Generelt må det vurderes, at det ikke tyder på, at scan sampling frekvensen har en decideret indvirkning på de resultater, der fremkommer ved at kontrollere GCP. Baggrunden for de mindre gode resultater på nogle af punkterne kan tage afsæt i hvor godt trajectory og punktsky passer sammen med de oplyste GCP koordinater. Dette i forhold til hvor og på hvilken flade kontrollen foretages.

For at punktskyen og data kan anvendes i andre sammenhænge er det vigtigt, at der er sammenhæng mellem hastighed og scan samplingsfrekvens, desto højere fart desto højre skal scan sampling frekvensen være. Skal punktskyen for eksempel anvendes til modellering eller objektgenkendelse, så er det nødvendigt at have en høj scan samplings frekvens, da det ses af punktskyen med lav frekvens, at mindre objekter er meget svære at genkende på grund af det lave antal af punkter, der definerer objektet.

Det må derfor konstateres at forskellighed af scan sampling frekvensen ved dataindsamlingen ikke har direkte indflydelse på nøjagtigheden af beregnet data. Størrelsesordenen af afvigelserne må begrundes i metoden, samt at afvigelserne ligger på sammen niveau, set i forhold til afvigelserne ved statisk RTK måling.

Det tyder ikke umiddelbart på, at hastigheden og scan sampling frekvensen har direkte indflydelse på nøjagtigheden af beregnet data opsamlet via MMS. Derfor ses der, i det efterfølgende afsnit, på om metoden ved postprocessering har indvirkning på datakvaliteten, idet der her analyseres på afstanden i forhold til referencestationen.

## 7.5 Dataprocessering - Referencestationer

Denne analyse tager udgangspunkt i, hvilken betydning afstanden imellem MMS(rover) referencen(basen)(basislængden) har i forhold til metoden post-processering og beregning af MM data. Analysen bygger videre på de allerede opnåede resultater og vurderinger, som viste at resultaterne var uafhængig af hastighed og scan sampling frekvens. I denne analyse tages der udgangspunkt i selve metoden; postprocessering ved anvendelse af referencedata fra GPSnet.dk. Tidligere er der anvendt data fra egen referencestation i umiddelbar nærhed til dataindsamlingen. Normalt anvendes der ikke egne basestationer til dataindsamling for postprocessering. I stedet hentes der fasedata til en bestemt lokation i forhold til opmålingsområdet, kaldet en VRS, hvilket anvendes til postprocesseringen [4]. En yderligere beskrivelse af GPSnet.dk og VRS er at finde i appendiks H.

I denne analyse hentes der referencedata[8] til tre forskellige lokationer, i forhold til opmålingsstrækningen. Det ønskes at analysere på, om metoden har begrænsninger i praksis og om anbefalingerne omkring maksimale basislængder skal overholdes. Ligeledes ønskes det at undersøge om kvaliteten af data er afhængig af denne afstand. Samlet set skal analysen anvendes til at bevise, om der kan skabes et overblik over, med hvilken afstand det er nødvendigt at have korrektionsdata(referencedata) i forhold til det geografiske område dataindsamligen foregår over.

Postprocessering af fasedata er ligeledes en integreret del af VRS teknologien. Ved denne anvendelse hentes data enten fra en af de valgte fysiske referencestationer, eller der udpeges et konkret sted, hvor man ønsker at have sin referencestation placeret. Ved disse løsninger bliver data beregnet af GPSnet.dk's servere og kan efterfølgende downloades. Der kan foretages en postprocessering af egne data. Der kan opnås nøjagtigheder på få centimeters niveau, men postprocessering er genstand for mange af de samme begrænsninger og fejlbidrag som ved enkelstations RTK [4].

For at kunne sige noget konkret om, afstanden til referencen(VRS) i forhold til rover(MMS) tages der udgangspunkt i, hvordan teorien beskriver problematikkerne.

> *"Jo længere der er mellem Base og Rover, des større forskel er der på den troposfære og ionosfære, som signalerne går igennem. Brugeren må således regne med, at nøjagtigheden falder med afstanden. Derfor er enkeltstations RTK begrænset på længden af Baseline, ca. 25 km."*
>
> [8]

[8] Fasedata til bestemt lokation i form af en RINEX-fil

Denne påstand bygger på metoden for RTK, ved anvendelse af GPS referencen Leica SmartNet Danmark, hvor der skabes forbindelse imellem faste referencestationer og roveren(MMS).

Anvendelsen af VRS bygger på nogle af de samme principper og metoder. Dog ønskes der her at minske basislængden, ved at lave VRS med maksimal afstand på 10 kilometer. Inden der hentes ny refrenecedata og en ny initialisering er påkrævet, men der er ikke konkrete retningslinjer for maksimale basislængde. Geoteam, der administrerer GPSnet.dk og VRS metoden udtaler følgende:

> *"De teoretiske begrænsninger lægger i, hvor der minimum kan observeres til de samme satellitter fra både base og rover. Yderligere afhænger det af; jordkrumningens indvirkning, elevationsmasken i base og rover, samt satellitkonstellationen på det pågældende tidspunkt, om der kan skabes en acceptabel løsning i dette tilfælde. Disse elementer afgør om, der kan dannes en acceptabel løsning, hvilket også kommer an på hvilke krav, der stilles til nøjagtigheden."*
>
> [Knudsen, 2012, appendiks G]

Disse påstande er igennem de seneste år blevet analyseret og påvist af en række forskere og systemudviklere, der udtaler følgende om de problemstillinger, der gør sig gældende:

> *"These virtual observations enable users to perform cm-level positioning in baseline mode, even with the real reference stations situated in distances of several 10 km".*
>
> [Wanninger Lambert, 2002]

Der er foretaget en del forskning på området indenfor positionering ved hjælp af VRS og kinematisk måling. Blandt andet positionering af fly, hvilket også kan være gældende for MM idet trajectory strækker sig over lange afstande hvor basislængden ønskes længere end de påstande, der herigennem er listet.

> *"However, for long-range airborne GPS positioning, the distance between the aircraft and its reference station can easily reach more than 10 km. As such, the assumption of error cancellation degenerates and the performance of the system degrades. Moreover, decorrelated positioning errors, such as ionospheric and tropospheric effects, limit the ability for centimetre-level kinematic positioning".*
>
> [Hu G.R. et al., 2008]

Dette betyder at de atmosfæriske forhold er en af de afgørende faktorer, for hvor lang en basislængde, der bør forekomme, især de ionosfæriske forhold har stor indflydelse. Omkring dette mener Geoteam følgende

> *"På baggrund af fejlbidraget fra atmosfæriske forhold er det svært at sætte en grænse for den maksimale basislængde. Ved høj ionosfæreaktivitet kan basislængder over fire-fem kilometer være problematiske, mens 40-50 kilometer kan være acceptable ved perioder ved lav ionosfæreaktivitet. Ionosfæreaktiviteten varierer meget, som funktion af tid og sted."*
>
> [Knudsen, 2012, appendiks G]

Følgende parametre kan påvirke nøjagtigheden ved anvendelse af GPS:

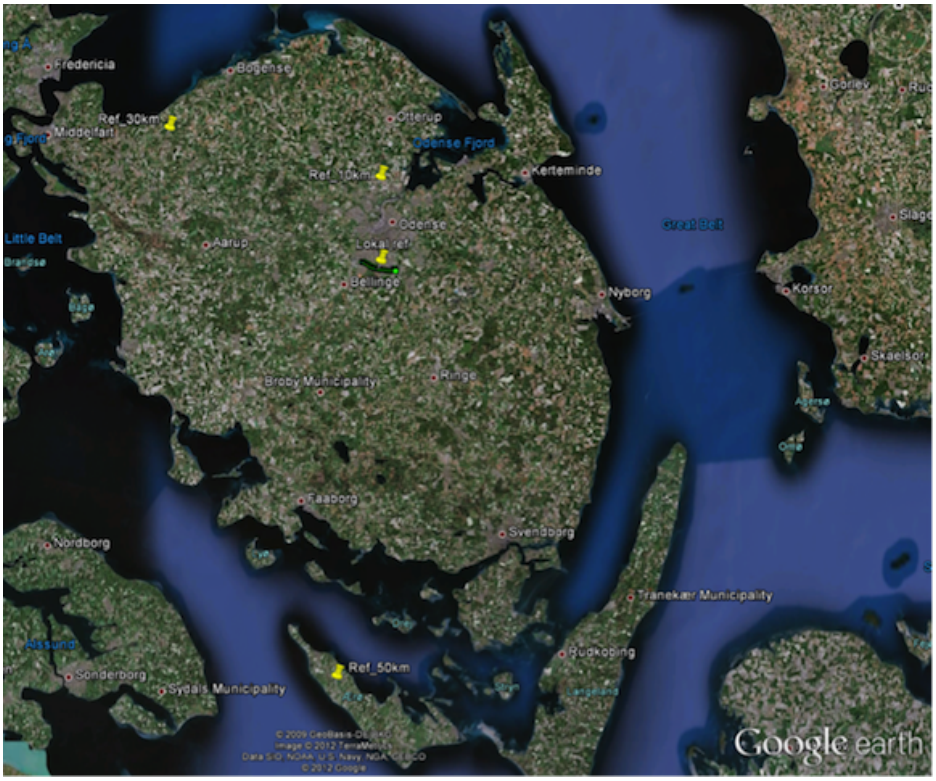
- Grundfejl plus en afstandsafhængig fejl
- Atmosfæriske forhold(Iononfære og troposfære)
- Satellitkonstellationen(min. fem samtidig synlige satelliter)
- Initialiseringstiden

Dette betyder, at der ikke kan siges noget konkret, da det afhænger af flere forskellige faktorer. Dette værende især de atmosfæriske forhold, der vil og kan være meget forskellige, og derved påvirke forskelligt. Ud fra denne antagelse ønskes der at se på, hvilken effekt basislængden har på nøjagtigheden af postprocesserede MM data. Da der ikke findes konkrete eksempler eller resultater, for maksimale basislængde vil der i det efterfølgende laves beregninger, hvor der er forskellige basislængder. Disse svarende til de omstændigheder, der kan gøre sig gældende i forhold til MM. Efterfølgende vil de opnåede resultater blive vurderet i forhold til teorien, og de påstande der herigennem gør sig gældende.

### 7.5.1 Referencedata

Til postprocesseringen kræves der korrektionsdata fra en referencestation. Disse data indhentes ved at skabe en VRS på den ønskede lokation. I dette tilfælde ønskes der at analysere på tre forskellige afstande i forhold til dataindsamlingsområdet. Derfor udpeges der tre afstande i forhold til dataindsamlingsområdet i en afstand på henholdsvis 10, 30 og 50 kilometer. Placeringerne er udelukkende valgt på grund af afstandene i forhold til centrum af opmålingsområdet, det vil sige i forhold til referenceplaceringen, anvendt i de øvrige analyser.

Placeringen af de udvalgte VRS referencestationer er vist med gul markering af figur 7.42.




**Figur 7.42** – Illustration af placeringen af VRS referencestationer i forhold til opmåingsområdet

Koordinaterne til de ønskede VRS referencestationer(base) er optaget direkte fra kort,og anvendes til at indhente korrektionsdata i forhold til det pågældende tidspunkt, hvor dataindsamlingen er foregået. Af tabel 7.9 fremgår den fysiske placering rent koordinatmæssigt, hvilket anvendes ved efterspørgsel på korrektionsdata hos GPSnet.dk - Reference Data Shop.

| **VRS** | | | |
|---|---|---|---|
| **Navn/Afstand.** | **X** | **Y** | **Z** |
| ref_10km | 3566783.054 | 653041.468 | 5229584.1982 |
| ref_30km | 3566440.706 | 627200.050 | 5232956.9422 |
| ref_50km | 3615969.381 | 656503.173 | 5195490.3344 |

**Tabel 7.9** – Oversigt over placering af VRS(base), angivet i kartesiske koordinater.

Ved anskaffelse af data fra GPSnet.dk - Reference Data Shop, er der tre trin for at hente korrektionsdata:

- Angivelse af position for VRS position, enten angivet i kartesiske eller geografiske koordinater.
- Opsætning af dato- og tidsperiode, der ønskes data for, angives ved; dato start tidspunkt, varighed og for hvilket interval, der ønskes data angivet i sekunder. Hvor ét sekund er den højeste frekvens, der kan vælges.
- Kontrol og dannelse af datapakke, der kan downloades indeholdende en RINEX-fil med data for den pågældende periode.

Herefter sker beregningerne som tidligere, kun med ændring af anvendt RINEX-fil under postprocesseringen i GeoClean.

### 7.5.2 Resultat

Resultatet af de tre beregninger for referenceafstande på 10, 30 og 50 kilometer ses af tabel 7.10, 7.11 og 7.12. Resultatet er fremkommet af kontrolrapporten udført i TerraScan, sammenligningen foregår på baggrund af en samlet vurdering i henhold til af afvigelserne std. deviation og RMS, samt maks- og minimum afvigelser i forhold til afvigelser fra middel i henhold til $\pm 3^*\sigma$. Er der punkter der afviger fra $\pm 3^*\sigma$ vil de blive udtaget fra datasættet, og der beregnes en ny kontrolrapport.

Resultatet af kontrolrapporten for beregning af kørsler med VRS reference 10 kilometer fra opmålingsstrækningen, ses af tabel 7.10. Her er de endelige resultater af kontrolrapporten fremhævet og illustreret.

| **Testresultater** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Referencestation 10 km.** | | | | | | |
| **Testkørsel** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** |
| **Kategori** | | | | | | |
| Average dz[m] | -0.160 | -0.120 | -0.139 | -0.171 | -0.138 | -0.198 |
| Minimum dz[m] | -0.219 | -0.246 | -0.228 | -0.359 | -0.219 | -0.504 |
| Maximum dz[m] | -0.091 | -0.051 | -0.064 | +0.004 | -0065 | -0.169 |
| Average magnitude[m] | +0.160 | +0.120 | +0.139 | +0.171 | +0.138 | +0.214 |
| **RMS[m]** | **+0.163** | **+0.131** | **+0.145** | **+0.185** | **+0.141** | **+0.237** |
| **Std. dev.[m]** | **+0.033** | **+0.053** | **+0.042** | **+0.073** | **+0.029** | **+0.131** |
| Antal GCP | 68 | 71 | 68 | 67 | 70 | 71 |
| Udelukkede GCPs | 3 | 0 | 4 | 0 | 1 | 0 |

**Tabel 7.10** – Resultat oversigt for beregning af testkørsel tre til otte ved referenceafstand på 10 km.

Kontrolrapporterne kan ses af appendiks A - Kontrolrapporter - Referencestationer - 10_km.

Resultatet af kontrolrapporten for beregning af kørsler med VRS reference 30 kilometer fra opmålingsstrækningen, ses af tabel 7.11. Her er de endelige resultater af kontrolrapporten fremhævet og illustreret.

| **Testresultater** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Referencestation 30 km.** | | | | | | |
| **Testkørsel** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** |
| **Kategori** | | | | | | |
| Average dz[m] | -0.313 | -0.250 | -0.125 | -0.123 | -0.217 | -0.161 |
| Minimum dz[m] | -0.414 | -0.613 | -0.248 | -0.250 | -0.315 | -0.504 |
| Maximum dz[m] | -0.231 | +0.012 | -0.002 | -0.002 | -0.053 | +0.409 |
| Average magnitude[m] | +0.313 | +0.250 | +0.125 | +0.123 | +0.217 | +0.285 |
| **RMS[m]** | **+0.316** | **+0.288** | **+0.135** | **+0.133** | **+0.226** | **+0.310** |
| **Std. dev.[m]** | **+0.043** | **+0.145** | **+0.052** | **+0.053** | **+0.064** | **+0.267** |
| Antal GCP | 70 | 71 | 71 | 71 | 71 | 70 |
| Udelukkede GCPs | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |

**Tabel 7.11** – Resultat oversigt for beregning af testkørsel tre til otte ved referenceafstand på 30 km..

Kontrolrapporterne kan ses af appendiks A - Kontrolrapporter - Referencestationer - 30_km.

Resultatet af kontrolrapporten for beregning af kørsler med VRS reference 50 kilometer fra opmålingsstrækningen, ses af tabel 7.12. Her er de endelige resultater af kontrolrapporten fremhævet og illustreret.

| **Testresultater** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Referencestation 50 km.** | | | | | | |
| **Testkørsel** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** |
| **Kategori** | | | | | | |
| Average dz[m] | -0.106 | +0.000 | -0.146 | -0.500 | -0.370 | -0.034 |
| Minimum dz[m] | -0.375 | -0.773 | -0.401 | -1.379 | -1.009 | -0.465 |
| Maximum dz[m] | +0.222 | +0.758 | +0.277 | +0.072 | +0.070 | +0.548 |
| Average magnitude[m] | +0.147 | +0.449 | +0.219 | +0.505 | +0.373 | +0.213 |
| **RMS[m]** | **+0.172** | **+0.494** | **+0.233** | **+0.617** | **+0.447** | **+0.264** |
| **Std. dev.[m]** | **+0.136** | **+0.498** | **+0.183** | **+0.364** | **+0.253** | **+0.263** |
| Antal GCP | 71 | 71 | 69 | 71 | 69 | 71 |
| Udelukkede GCPs | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 |

**Tabel 7.12** – Resultat oversigt for beregning af testkørsel tre til otte ved referenceafstand på 50 km..

Kontrolrapporterne kan ses af appendiks A - Kontrolrapporter - Referencestationer - 50_km.

Det fremgik af kontrolrapporterne ved første beregning, at der er GCP der havde afvigelser, der overskred $\pm 3*\sigma$. Hvilket kan skyldes unøjagtigheder i punktskyen på baggrund af den dårlige positionering og derved dårligt defineret trajectory. Derfor udtages disse punkter og der foretages en ny beregning, hvor der udarbejdes en ny kontrolrapport. De udelukkede GCP fremgår af tabel 7.10, 7.11 og 7.12.

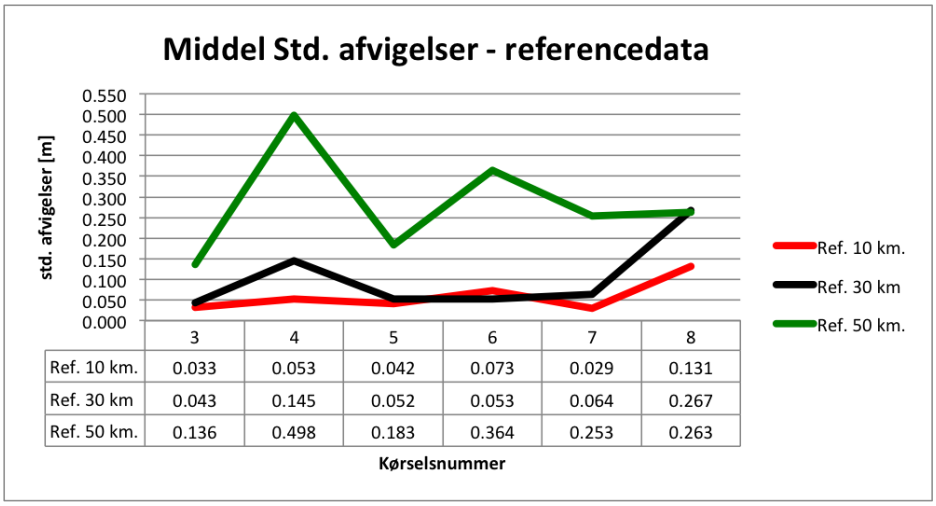
Overordnet ser det ud til, at der er en systematisk fejl, idet alle middelspredninger har en negativ afvigelse, der afviger forholdsvis meget fra værdien nul, hvilket ville være at foretrække. Dette bevirker, at de forskellige kørsler ikke vil passe absolut, men godt kan passe relativt. Dette kan konstateres ved at lave et datum-shift[9] på baggrund af middelspredningen. Denne vil herved være en konstant, ved hver enkelt kørsel som alle afvigelserne korrigeres for. Herefter kontrolleres det igen i forhold til maksimal spredning på $\pm 3*\sigma$, og efterfølgende ved at se på fordelingen af fejl i forhold til normalfordeling. Størrelsesforholdet på afvigelser vil stadig være det samme, dog reduceret i forhold til middelspredning på nul. Denne kontrol er foretaget, og fremgår af appendiks A - Kontrolrapporter Referencestationer - Datumshift. Vurdering af de opnåede resultater vil være at finde i afsnit 7.5.3.

[9] Punktskyen flyttes i forhold til middelspredningen(Average dz).

**Visualisering af GPS positioner**
Visualiseringen af GPS positioner i forhold til RMS spredninger anvendes som vurderingsgrundlag i forhold til de beregnede resultater. På baggrund af disse positioner ønskes det konstateret, om der er sammenhænge imellem GPS positionerne og afvigelserne på GCP. Kan der ses tendenser allerede ved GPS positionerne, hvilket indgår i beregningerne, vil disse resultater have væsentlig indflydelse på de efterfølgende beregnede resultater. De indsamlede GPS positionerne ved referencedataafstande på henholdsvis 10, 30 og 50 kilometer for kørsel tre til otte, fremgår af appendiks A - GPS_kml - Referencestationer. Der er valgt ikke at visualisere alle GPS positionerne, da det ikke er alle der har relevans i forhold til de opnåede resultater. Resultaterne heraf anvendes i afsnit 7.5.3, hvor tendenser og eventuelle fejlbidrag fra dataindsamlingen kan fremvises og diskuteres.

**Simplificering af afvigelser**
Resultatet af beregningerne i forhold til afstanden til referencen er herunder simplificeret af figur 7.43. Her er beregnet en middelafvigelse i forhold til std. afvigelse på Z i forhold til de 71 GCP på baggrund af de tre afstande til referencen.

Figur 7.43 viser den samlede std. afvigelse for hver af de seks kørsler, der indgår i beregningerne af nøjagtigheden. Ligeledes er disse afvigelser summerede og beregnet som et middeltal, således der overordnet kan vurderes på de opnåede resultater.




| | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ref. 10 km. | 0.033 | 0.053 | 0.042 | 0.073 | 0.029 | 0.131 |
| Ref. 30 km | 0.043 | 0.145 | 0.052 | 0.053 | 0.064 | 0.267 |
| Ref. 50 km. | 0.136 | 0.498 | 0.183 | 0.364 | 0.253 | 0.263 |

**Figur 7.43** – Skitsering og fordeling af std. deviation for hver af de tre reference afstande.

Figur 7.43 viser tendenserne i forhold til std. afvigelserne ved anvendelse af referencedata fra tre forskellige referenceafstande imellem base og rover ved dataindsamlingen og efterfølgende postprocesseringsberegning. Resultaterne vurderes i det efterfølgende afsnit. Samlet oversigt kan ses af appendiks A - Datum Shift.

### 7.5.3 Vurdering - Referencestationer

Dette afsnit vil indeholde en vurdering af de opnåede resultater i forbindelse med analyserne omkring afstanden til referencens(basen) indvirkning, på resultatet i forhold til opnået nøjagtighed. Vurderingen bygger på de teoretiske antagelser holdt op imod de opnåede resultater. Resultaterne skal ses i forhold til, hvilken nøjagtighed der ønskes at opnå kontra den afstand, der er til referencen. Der vurderes på størrelsen af afvigelser, samt på tendenser i forhold til afstanden.

**Vurdering - kontrolrapport**
Det fremgår af resultaterne fra tabel 7.10, 7.11 og 7.12, at der er en tendens til systematiske fejl i beregningerne uanset valg af referencedata og afstand. Der er en negativ afvigelse på middelspredningen i størrelsesordenen 0.10-0.50 meter ved samtlige kørsler og beregninger. Størrelsen svinger meget fra kørsel til kørsel på hvert enkelt referencedatasæt, dog mest ved referencedata, der er hentet til referencen 50 kilometer væk. Det er kun lykkedes på en kørsel(kørsel fire - ref. 50 km.) at have en middelspredning omkring nul-værdien. Dog svinger afvigelserne på denne kørsel med omkring ± 0.76 meter.

**Vurdering - datum shift**
Ved at lave et datum shift, på baggrund af middelspredningen, kan det konstateres at alle datasæt ikke indeholder grove fejl på Z, de afvigelserne ikke overstiger $\pm 3*\sigma$, hvilket betyder at der er en relativ sammenhæng i data, men at de ikke passer absolut. Det har ikke været muligt at finde den direkte årsagen til de systematiske fejl, de som tidligere nævnt kan skyldes en lang række faktorer. Ligeledes har der ikke været tid og ressourcer til at gå i dybden med fejlsøgning, da dette ellers havde været at foretrække. Ses der bort fra de systematiske fejl, kan der ud fra de opnåede resultater vurderes følgende.

**Vurdering - referencen**
Herunder af tabel 7.13 er standardafvigelserne for de tre referenceafstande for de seks testkørsler illustreret, samt der er beregnet en middel standardafvigelse på baggrund af de seks kørsler for hver af de tre referenceafstande. Vurderingsgrundlaget tager udgangspunkt i tabellen.

**Std. afvigelser**

| Kørsel/Afstand. | Ref. 10 km[m] | Ref. 30 km[m] | Ref. 50 km[m] |
|---|---|---|---|
| 3 | 0.033 | 0.043 | 0.136 |
| 4 | 0.053 | 0.145 | 0.498 |
| 5 | 0.042 | 0.052 | 0.183 |
| 6 | 0.073 | 0.053 | 0.364 |
| 7 | 0.029 | 0.064 | 0.253 |
| 8 | 0.131 | 0.267 | 0.263 |
| **Middel std. afvigelser** | **0.060** | **0.104** | **0.283** |

**Tabel 7.13** – Oversigt over standardafvigelser for de tre referenceafstande på de seks testkørsler.

Ved basislængder på 10 kilometer, opnås der en middel std. afvigelse på de seks kørsler på omkring 0.06 meter, dog indenfor et middelafvigelsesinterval fra 0.033 til 0.131 meter. Tidligere beregninger, hvor der maksimalt var 2.5 kilometer basislængde, viser at der kunne opnås en middel std. afvigelse på omkring 0.04-0.05 meter. Dette betyder, at der ikke er den store forskel på størrelsen af std afvigelserne. Hertil skal der siges, at der er noget større variation på afvigelserne de respektive kørsler imellem. Middelspredningen ligger ved denne reference på næsten samme niveau omkring 0.15 meter overordnet set.

Ved basislængder på 30 kilometer, opnås der en middel std. afvigelse på de seks kørsler på omkring 0.100 meter, dog indenfor et middelafvigelsesinterval fra 0.043 til 0.267 meter. Fire ud af de seks kørsler har tilsammen en middel std. afvigelse på omkring 0.05 meter, hvilket ligeledes stemmer overens med de tidligere resultater med forholdsvis kort basislængde. Middelafvigelsens størrelse er meget forskellig og varierer med op til 0.15 meter fra hinanden ved anvendelse af referencedata på denne afstand i forhold til referenceafstanden på 10 kilometer, hvor niveauet var meget ens.

Ved basislængder på 50 kilometer, opnås der en middel std. afvigelse på de seks kørsler på omkring 0.280 meter, dog indenfor et middelafvigelsesinterval fra 0.000 til 0.0.500 meter. Ved disse beregninger ses det tydeligt, at datasættene får vidt forskellige resultater, hvor std. afvigelserne varierer fra 0.13 til 0.49 meter. Der er ikke konkrete sammenhænge, og hver kørsel varierer væsentligt fra hinanden.

I forhold til de påstande og anvisninger, der er gennemgået i afsnit 7.5, viser resultaterne tegn på, at der er forhold, der gør at datasættene ikke er sammenhængende og resultarene er meget varierende med henblik på afvigelsernes størrelse. Det er konstateret, i de tidligere analyser af hastighed og scan sampling frekvens, ikke havde den store betydning for resultatet. Derved må det konstateres, at de anbefalede, teoretiske påstande og forhold gør sig gældende, når man bevæger sig længere væk end det anbefalede 25 kilometer.

Generelt er der ikke klare tendenser og størrelsen på afvigelser varierer også meget uregelmæssigt i forhold til hinanden. Størrelsen på afvigelserne stiger samlet set i takt med forøgelse af basislængden, men de er dog indenfor usikkerheden. Enkelte kørsler opnår endda meget fornuftige resultater, set i forhold til afstanden og de øvrige beregninger.

**Vurdering - GPS**
Ved at kigge på GPS positionerne kan der ses store forskelle på baggrund af de beregnede RMS værdier. Jo kortere afstand til referencen desto flere positionsbestemmelser med lav RMS afvigelse på få centimeters niveau, som tidligere nævnt dog bortset fra ved broerne. I takt med at afstanden til referencen øges, stiger RMS afvigelserne væsentligt fra at ligge på få centimeters niveau til at være på op imod 10 meter niveau. Selv på åbne strækninger, hvor der ellers tidligere var god dækning. Ligeledes ses det, at i takt med forøgelse af afstanden bliver der flere og flere GPS slip og afstanden herimellem bliver ligeledes meget længere. Allerede ved basislængder på 30 kilometer er de bedste RMS afvigelserne på 0.25 meter. Dette betyder, at bestemmelsen af postionen allerede fra start er dårligt bestemt i takt med forøgelsen af basislængden.

Det har ikke været muligt at få indsigt GPS og INS positionernes vægtning, men det antages at GPS prioriteres væsentligt højere end INS. I dette tilfælde kunne INS dog muligvis skabe en bedre positionering, og derved forbedre beregningerne væsentligt. Dette er dog blot en personlig antagelse. Yderligere tyder det meget på, at de atmosfæriske forhold kan have en stor betydning for beregningen af positionen. Grundet de systematisk fejl i forhold til middelafvigelsen og at afvigelserne kan varierer så forskelligt. I takt med forøgelsen af afstanden kan der også være forskellige satellitkonstellationer imellem base og rover, hvilket også kan give et fejlbidrag. Basislængden er dårligt bestemt, og det tyder på at dette fejlbidrag skaber store problemer for postionsbestemmelsen.

Der kan ikke konstateres noget konkret om maksimal basislængde i denne sammenhæng, da fejlbidragene ikke er entydige, de kan dermed ikke direkte identificeres. Det tyder på, at i de fleste tilfælde kan opnås fornuftige resultater, hvis ikke basislængden overstiger den anbefalede afstand på under 25 kilometer. Ved basislængder på 10 og 30 kilometer ses det, at størstedelen af datasættene har afvigelser i intervallet 0.030 til 0.050 meter, hvilket stemmer godt overens med de tidligere resultater.

## 7.6 Transformation over GCP

På baggrund af de opnåede resultater ønskes det at teste om resultatet kan forbedres ved transformation af punktsky over GCP. Tidligere resultater er fremkommet ved at lave en kontrol imellem punktskyen og GCP, på baggrund af deres koordinater. Dette er resulteret i, at der for eksempel har været forskel på hvor kontrollen af har været i forhold til den oprindelige placering af GCP. Derfor forsøges der i denne analyse at transformere trajectory på plads i forhold til de 71 GCP. Derved dannes et nyt grundlag for trajectory og derved skabes en ny generering af punktskyen på baggrund af funktionen "Match"i Spatial Factory, hvilket fremgår af appendiks I, afsnit I.9.

For at klarlægge om "match"funktionen i Spatial Factory kan anvendes til at opnå bedre reultater end først antaget testes denne funktion i denne analyse. Testen skal anvendes til at klarlægge, om funktionen er brugbar og effektiv, idet det er en manuel proces, som anvendes til at flytte trajectory(transformation) på plads i forhold til de kendte GCP. Ligeledes skal det konstateres, om transformationen vil forbedre resultatet i forhold til afvigelserne foretaget i afsnit 7.5, hvor denne funktion ikke er benyttet.

Analysen testes på to udvalgte hastighedskørsler seks og otte, da der ved disse kørsler er højst scan sampling frekvens på 100 procent. Ligeledes er der ikke støj i form af andre objekter, der genere i punktskyen. Muligheden for at kunne genkende og udpege de konkrete GCP, vil ved disse datasæt være størst.[10]

Beregningsmæssigt anvendes "match"funktionen i Spatial Factory efter at funktionen "clean"er foretaget og et nyt trajectory er dannet, efter princippet beskrevet i appendiks J. Efterfølgende importeres trajectory i GeoClean. Punktskyen genberegnes på baggrund af det nye trajectory efter principperne angivet i appendiks I, afsnit I.9. Efterfølgende følges principperne for appendiks K i TerraScan.

[10] Flest punkter tilstede til at bestemme fladen for GCP.

### 7.6.1 Resultat

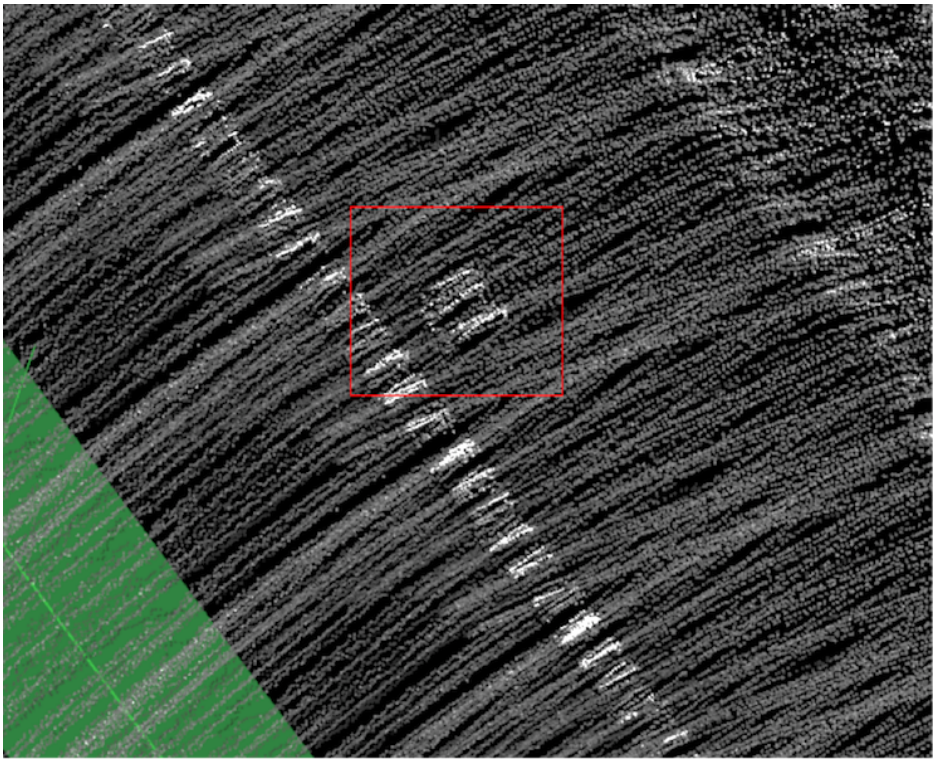
Resultatet af kontrolrapporten for beregning af tre kørsler, hvor der er sket transformation over de 71 GCP, ses af tabel 7.14. Her er de endelige resultater af kontrolrapporten fremhævet og illustreret.

| **Testresultater** | | |
|---|---|---|
| **Match** | | |
| **Testkørsel** | **6** | **8** |
| **Kategori** | | |
| Average dz[m] | -0.016 | -0.004 |
| Minimum dz[m] | -0.057 | -0.036 |
| Maximum dz[m] | +0.031 | +0.019 |
| Average magnitude[m] | +0.018 | +0.007 |
| **RMS[m]** | **+0.024** | **+0.011** |
| **Std. dev.[m]** | **+0.019** | **+0.011** |
| Antal GCP | 69 | 64 |
| Udelukkede GCPs | 2 | 7 |

**Tabel 7.14** – Resultat oversigt for beregning af testkørsel seks og otte.

Kontrolrapporterne kan se af appendiks A - Kontrolrapporter - Test Match.

Ved at transformere trajectory på plads i forhold til GCP, skal GCP udpeges i punktskyen via funktionen "match", Dette betyder, at der manuelt udvælges et punkt i punktskyen, ikke en flade, hvilket repræsenterer den konkrete placering af GCP. GCP er repræsenteret ved en række punkter, der ligger indenfor det 30x30 centimeter kvadrat, der definerer GCP, dog er der kørt med forskellige hastigheder ved de to beregnede løsninger, hvilket betyder, at der har været færre punkter til at definere det eksakte punkt i punktskyen. Både selve GCP er dårligt defineret i punktskyen, og det er bemærket, at der er stor variation i punktskyen, hvilket kan ses af figur 7.44.

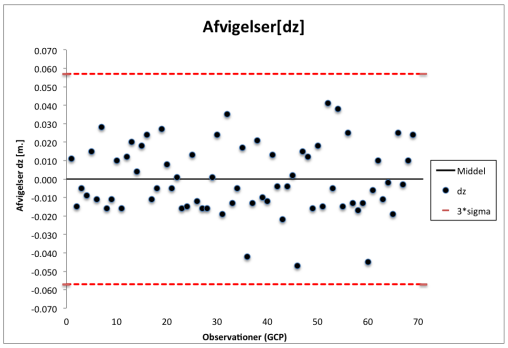


**Figur 7.44** – Illustration af GCP i punktskyen.

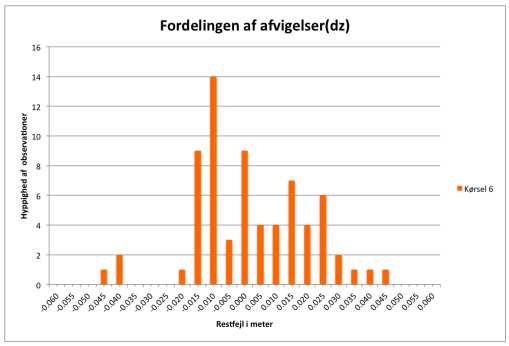
Ved at kigge på definitionen af punktskyen omkring forskellige flader, hvilket burde være på samme niveau, ses det at punkterne i punktskyen er meget uens fordelt. Ved at kigge på et tværsnit konstateres det, at der er nogle punkter der afviger meget fra de andre og medtages disse kan det være en stor fejlkilde. Denne fejlkilde er væsentlig, idet man i "match"funktionen kun udvælger et punkt at transformere over, og derudfra dannes kontrolrapporten på baggrund af en TIN-model omkring netop dette punkts placering.

Det fremgår af tabel 7.14, at der ved disse beregninger forekom GCP, der lå udenfor maksimalafvigelsen på $\pm 3^{*}\sigma$, især ved kørsel otte. Dette skyldes formentlig unøjagtighed i punktskyen, idet punkterne er manuelt udpeget før beregningerne. Herunder vises fordelingen af afvigelser i forhold til normalfordelingen, hvor de observerede afvigelser er opgjort på; antal, summeret i intervaller på halvcentimeter niveau defineret i forhold min- og maksimum afvigelser.

Størrelse og fordeling af afvigelser i forhold til afvigelser for kørsel seks, kan ses af figur 7.45 og 7.46:

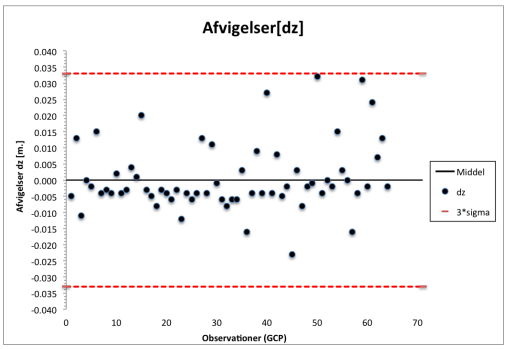



**Figur 7.45** – Illustration af fordelingen af afvigelser i forhold til middel afvigelsen.

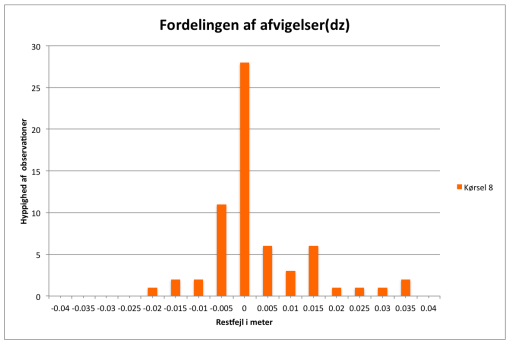



**Figur 7.46** – Illustration af fordelingen af afvigelser i forhold til normalfordelingen.

Størrelse og fordeling af afvigelser i forhold til afvigelser for kørsel otte, kan ses af figur 7.47 og 7.48:




**Figur 7.47** – Illustration af fordelingen af afvigelser i forhold til middel afvigelsen.




**Figur 7.48** – Illustration af fordelingen af afvigelser i forhold til normalfordelingen.

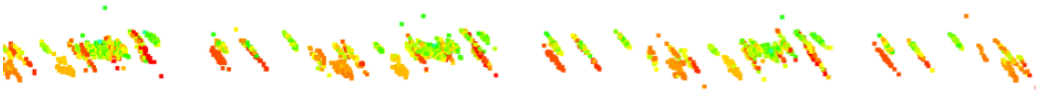
Det fremgår, at der er en fordeling centreret omkring nul imellem afvigelserne, men at middelafvigelsen er på 0.016 meter ved kørsel seks hvilket er udtryk for, at der er en systematiske fejl. Dette kunne have været løst med et datumshift, hvilket resulterer i en dårlige absolut nøjagtighed. Der er ligeledes målinger for kørsel otte, hvor afvigelserne ligger udenfor den maksimale grænse på $\pm 3*\sigma$.Resultatet viser ligeledes, hvilke tendenser der er i forhold til fordelingen af fejl, samt i hvilke intervaller der er hyppigste afvigelser. Her ses det at der en en skæv fordeling af afvigelserne, hvilket betyder at datasætte ikke er normalfordelt.

### 7.6.2 Vurdering - Transformation over GCP

Dette afsnit vil indeholde en vurdering af de opnåede resultater i forbindelse med analyserne omkring transformation af trajectory over GCP i henhold til nøjagtigheden. Der vurderes på baggrund af to forskellige resultater; konkrete afvigelser i forhold til GCP på baggrund af interpolerede z-værdier imellem GCP og laserscanningspunktsky på baggrund af genereret TIN-model omkring GCP. Fordelingen af afvigelser på baggrund af princippet omkring normalfordeling, for at tjekke for systematiske fejl.

**Vurdering - kontrolrapport**
Det fremgår af tabel 7.14, at der ved transformation af trajectory på GCP kan opnås en forbedring af nøjagtigheden i forhold til tidligere beregninger på de samme kørsler. Afvigelserne i form af std. deviation og RMS er forbedret med omkring 0.010 til 0.030 meter. Det skal dog nævnes, at der ved denne test er udelukket en række GCP på grund af størrelsen på afvigelsen, hvilket svækker repræsentativiteten af analyserne. Det formodes at afvigelsernes størrelse stammer fra punktskyens nøjagtighed, hvilket undersøges i det efterfølgende.

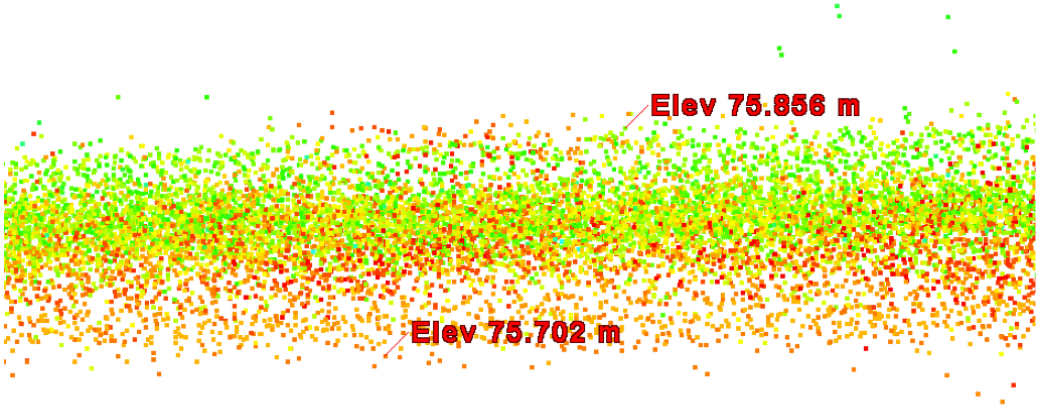
**Vurdering - punktskyen**
Punktskyen er som tidligere nævnt ikke særlig konkret defineret, og derved er det svært at udpege og definere GCP. Selvom de er defineret via en hvid flade på 30x30 centimeter er det meget svært at udpege disse grænser i punktskyen. Det fremgår af figur 7.49 og 7.50, at GCP er meget svære at identificere.



**Figur 7.49** – Eksempel på hvor dårligt defineret punktskyen er på en vej overflade, set fra siden.

Figur 7.49, ligger digitalt på appendiks A - Figurer og billeder.

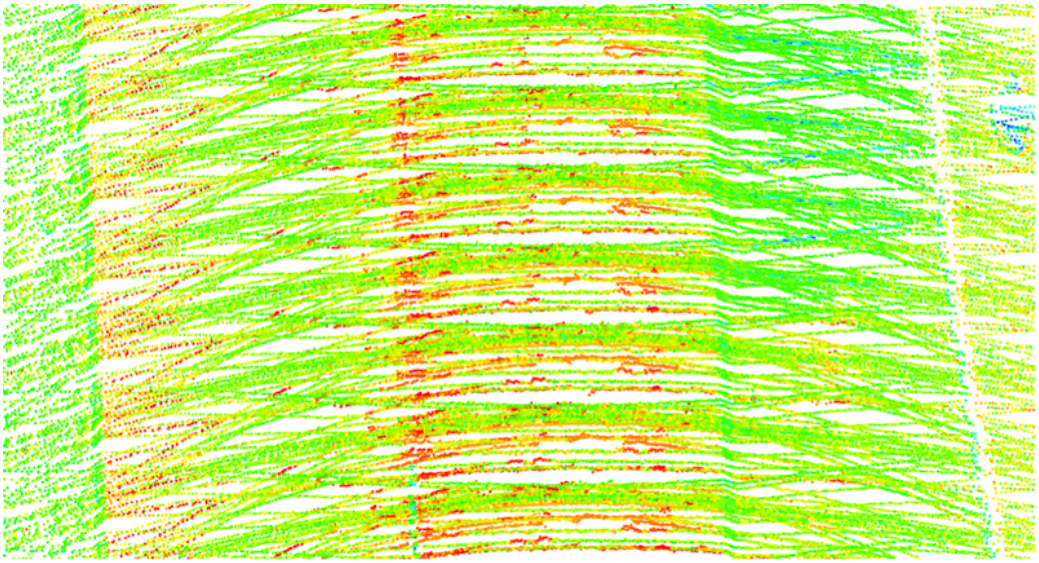
Ved "match"funktionen udpeges der kun et punkt til transformationen, hvor det havde været en fordel at udpege flere punkter og derved danne et middeltal for Z-værdien. Ved nærmere anvendelse af funktionen "match", ved udpegelse af GCP i punktskyen antages det at punktskyen har meget varierende Z-værdier, altså at punktskyen på flader har forskellige niveauer der gør punktskyen "tyk". Herunder ses eksempler på hvordan punktskyen er defineret på en forholdsvis plan flade i form af en vejflade, set fra siden.




**Figur 7.50** – Eksempel på højdeforskelle i punktskyen, set fra siden.

Figur 7.50, ligger digitalt på appendiks A - Figurer og billeder.

Det fremgår af figur 7.50 at punktskyen ikke veldefineret flade, da der er op til 0.100 meter i afvigelser imellem lavest og højeste punkt på en ellers veldefineret flade. Ligeledes kan det ses af figur 7.51 at punkterne i punktskyen er fordelt meget uens. Der er en tendens til at punktskyen har en form for linje("swipes"), hvor punktskyen er meget tæt, men stadig meget uens i forhold til Z-værdierne. Yderligere kan det ses at punktskyen indeholder områder, hvor der nærmest ikke er punkter til at beskrive fladen, hvilket betyder, at der vil opstå huller i datasættet. Problematikken kan indebære, at der for eksempel ikke tilstrækkeligt brugbar data på et eksakt område, som for eksempel skal anvendes til kontrol eller i andre sammenhænge, hvor man for eksempel ønsker at projekterer eller modellere punktskyen.



**Figur 7.51** – Eksempel på punktskysdækning og fordeling, set fra oven.

Figur 7.51, ligger digitalt på appendiks A - Figurer og billeder.

Dette konstaterer, at det måske mere er et tilfælde hvilket punkt, der udpeges som det repræsentative for Z-værdien for det udvalgte GCP. Ligeledes har forskellen på Z-værdien været en fejlkilde ved generering af TIN-model til interpolation af Z-værdien under beregningerne foretaget i kontrolrapporterne tidligere. Dette i henhold til at TIN-modellen danner trekanter efter princippet Delaunay triangulation - Nearest Neighbors. Ved at danne trekanter på baggrund af nærmeste nabopunkt, hvilket kan indeholde meget forskellige værdier, kan de respektive trekanter, dannet på baggrund af den unøjagtige punktsky, være grundlag for store afvigelser i form dz -værdierne udarbejdet via kontrolrapporten.

På baggrund af at det er meget svært at definere objekter, linjer og flader i punktsky, bevirker det ligeledes at det ikke er muligt at lave en kontrol på XY-koordinaterne, da GCP ikke umiddelbart kan defineres i punktskyen. Kunne den 30x30 centimeter plade, der definerer GCP defineres i punktskyen, så kunne der tilnærmelsesvis dannes og beregnes et centrumkoordinat på baggrund af hjørneskærringerne af fladen og derved laves en kontrol i forhold til de oplyste koordinater til GCP. Dette har ikke været muligt og ville kræve en meget tættere og mere nøjagtig punktsky. Eller en anden type af signalering af GCP, hvor det ikke er en flade, der definerer punktet. Generelt er det meget svært at definere kantafgræsninger på flader i en punktsky, hvis ikke den er meget tæt og veldefineret.

# Konklusion 8

Konklusion udarbejdes på baggrund af de opnåede resultater, der tager udgangspunkt i de fire problemstillinger, der understøtter problemformuleringen. Afsnittet tager konkret udgangspunkt i resultaterne, der er anført i analysen i forbindelse med besvarelsen af problemformuleringen.

På baggrund af foranalysen blev følgende problemformulering opstillet:

**Har dataindsamlings- og beregningsprocedurer betydning for nøjagtigheden af Mobile Mapping data?.**

Følgende problemstillinger understøtter ovenstående problemformulering:

- Hvilken betydning har hastigheden under dataopsamlingen for nøjagtigheden?
- Hvilken betydning har scan sampling frekvensen for nøjagtigheden ved forskellige hastigheder?
- Hvilken betydning har afstanden til anvendt referencestation i forhold til nøjagtigheden?
- Hvilken betydning har transformation af trajectory over GCP for nøjagtigheden?

Dataindsamlingen er foregået før projektets start og derved har undertegnede ikke selv deltaget i dataindsamlingen, eller haft indflydelse på fremgangsmåder, metoder eller parametre for testkørslerne. Projektet er afgrænset i forhold til de datasæt, der er til rådighed, med de forudsætninger der gør sig gældende, hvilket betyder at parametre af fastlagte og kørslerne ikke kan ændres. Grundlaget for at få et repræsentativt og statistisk grundlag vil kræve kræver yderligere kørsler og flere ændringer af parametrene. Der har været 10 testkørsler til rådighed, men kun de seks har kunne anvendes i forhold til de udførte analyser.

Der er analyseret på seks testkørsler ved hastighederne; 30, 70 og 100 km/t. med scan sampling frekvenserne; 25, 50 og 100%. Den absolutte nøjagtighed er kontrolleret på 71 kontrolpunkter.

Ved den første analyser blev følgende resultater opnået:

- Med udgangspunkt i de 3 hastigheder må det konstateres, at hastigheden ikke har indflydelse på den absolutte nøjagtighed

Resultatet af tre beregninger på hastigheden havde en standardafvigelse i intervallet 0.036 til 0.041 meter. Størrelsen af standardafvigelserne lægger i samme interval, som de forventede nøjagtigheder i forhold til tidligere undersøgelser, foretaget af COWI, se tabel 7.3.

Ved den anden analyse blev følgende resultater opnået:

- De tre scan sampling frekvenser har ikke betydning for den absolute nøjagtighed.

Resultaterne af seks beregninger på scan sampling frekvensen havde en standardafvigelse i intervallet 0.035 til 0.050 meter. Størrelsen af standardafvigelserne ligger i samme interval, som de forventede nøjagtigheder i forhold til tidligere undersøgelser, foretaget af COWI, se tabel 7.3.

Ved den tredje analyse blev følgende resultater opnået:

- De tre referenceafstande har betydning for den absolute nøjagtighed.

Der blev konstateret en systematisk fejl på alle seks beregninger, idet middelafvigelserne afvigede væsentligt fra nul. Standardafvigelserne ligger i intervallet -0.100 til -0.500 meter. Den absolutte nøjagtighed er ikke tilstrækkelig, men beregninger stemmer relativt overens, når der laves et datum shift. Det har ikke været muligt præcisere fejlbidraget, men det antages at stamme fra selve GPS positionsbestemmelsen. Middel af standardafvigselen for de seks beregninger, for hver af de tre referenceafstande, viser afvigelserne på henholdsvis; 0.060, 0.104 og 0.283 meter. Enkelte beregninger har fundamentale afvigelser, hvilket betyder, at der ikke er klare tendenser.

Resultaterne viser, at teorien og anbefalingerne omkring den maksimale basislængde ikke må overstige 25 kilometer. Ved basislængde på 10 og 30 kilometer ses det, at størstedelen af kørslerne har en standardafvigelser i intervallet 0.030 til 0.050 meter. Størrelsen af standardafvigelserne ligger i samme interval, som de forventede nøjagtigheder i forhold til tidligere undersøgelser, foretaget af COWI, se tabel 7.3.

Ved den fjerde analyse blev følgende resultater opnået:

- Transformation af MM data har betydning for den absolute nøjagtighed.

Resultatet af to beregninger ved transformation havde standardafvigelserne i intervallet 0.010 og 0.020 meter. Resultatet forbedre den absolute nøjagtighed med omkring 0.020 meter.

Resultaterne skal ses i forhold til beregningsmetoden ved postprocessering af GPS data, og den anvendte metode for kontrol af absolut nøjagtighed ved interpolation af Z i forhold til den beregnede punktsky. Den absolutte nøjagtighed af trajectory og punktsky skal forbedres. Den kinematiske processering har sine begrænsninger i forhold til fejlbidragene fra GPS positionsbestemmelserne.

Det har vist sig at, både positionerings- og kortlægningssensorerne ikke har været tilstrækkelige set i forhold til de nøjagtighedskravet fra VD, se afsnit 4.2.1. Resultaterne skal ses i forhold til hvilken anvendelse, der ønskes af Mobile Mapping. Der kræves udvikling, samt en optimering af de forskellige sensorer og softwareløsninger, hvilket kan sikre bedre datakvalitet med højere nøjagtighed. Skal Mobile Mapping metoden anvendes i opgaver, som denne, hvilket den er tiltænkt, kræves der en optimering og videreudvikling af både systemet og softwaren.

# Perspektivering 9

Afsnittet har til formål at reflektere over det udarbejdede projekt og nogle af problemstillingerne ved anvendelse af Mobile Mapping. Der tages udgangspunkt i mulighederne for, hvorledes problemstillingerne omkring procedurer for dataindsamling og databehandling er foretaget med henblik på, hvilke forudsætninger, parametre og nøjagtighedskrav, der gør sig gældende. Projektets indhold og løsning skal ses i forhold til den tid, der har været tilgængelig, kendskab til emnets og de ressourcer, der skal anvendes til at få kendskab til systemet, softwaren og emmenets mulige problemstillinger.

Perspektiveringen inderholder følgende emner:

- Metoderne
- Systemet
- Softwaren
- Data- og testtroværdighed

**Metoderne**
Metoderne og fremgangsmåderne kan optimeres på forskellig vis, således dette system vil kunne anvendes i andre sammenhænge, hvilket sikrer en optimering med henblik på anvendelse og krav til nøjagtighed. Metoderne er langt fra færdigudviklede, og der er en række områder, hvor dette system skal være bedre, før det kan anvendes til netop de problemstillinger, der gør sig gældende indenfor landmåling -dette værende et nøjagtighedskrav på 1-2 centimeter.

Dataindsamling og databehandling vil også kunne gribes an ved hjælp af andre metoder. En tænkt løsning ville være, at hele dataindsamlingen ville foregå relativt og efterfølgende blive transformeret på plads i forhold kontrolpunkter. Dette vil betyde, at kontrolpunkter skal kunne identificeres i punktskyen, hvilket kræver en væsentlig bedre laserscanning og signalering af kontrolpunkter. Metoden kan sammenlignes med terrestrisk laserscanning. Der er Mobile Mapping Systemer, hvor man anvender netop disse metoder med overlegen kvalitet og nøjagtighed [1].

Metoderne for kontrol af den absolutte nøjagtighed vil også kunne foretages ved hjælp af andre metoder. Hvis kontrolpunkterne bedre kunne identificeres, vil afgrænsningen af fladen muligvis defineres, og derved foretages en beregning for et centrumkoordinat, for hvert enkelt kontrolpunkt. Ligeledes vil det være muligt at kontrollere på de plane koordinater og derved få et udtryk i 3D(XYZ). En anden løsning er også at klippe

data ud fra punktskyen på de pågældende kontrolpunkter, svarende til størrelsen på den flade de er defineret ud fra. Derved kan der dannes et middel ud fra alle tilgængelige punkters Z-koordinater, hvilket ville give et mere repræsentativt billede i forhold til interpolation via en TIN-model. En tredje løsning vil være at opbygge en funktion i softwaren, der kunne identificere kontrolpunkter på baggrund af intensiteten i punktskyen ud fra et begrænset område eller niveau i punktskyen. Denne type af funktioner er en mangelvare i mange andre modellerings- og beregningsmetoder af større datasæt.

**Systemet**
Mobile Mapping System er begrænset i forhold til den type af positions- og kortlægningssensorer, der er tilgængelige holdt op imod resultaterne af de opnåelige nøjagtigheder. Positioneringen af systemet ved hjælp af GPS, begrænser systemet i forhold til de teoretiske- og fysiske begrænsninger. Problematikkerne tager udgangspunkt i de lange basislængder, der opstår imellem base og rover, hvilket betyder, at korrektionsdata ikke stemmer overens i forhold til det pågældende område. Ligeledes ses det, at det ikke er muligt, at bestemme positionen tilstrækkeligt allerede ved forholdsvis korte basislængder. Der er udviklet systemer til semi-kinematisk GPS positionering ved hjælp af VRS [Hu G.R. et al., 2008], hvor VRS-referencen opdateres fra de faste basestationer med korrektionsdata, og efterfølgende følger det pågældende trajectory. Dette betyder, at der er løbende korrektionsdata, og basislængden holdes kort. Systemet er testet ved anvendelse af VRS til positionering af fly, hvilket indbefatter lange trajectory, men resultatet er på få centimeters nøjagtighed [Hu G.R. et al., 2008]. Problemstillingen er den samme ved MM og kan dette integreres vil det kunne effektivisere væsentligt og sikre, at metoden kan anvendes i større udstrækning.

Kortlægningssensorerne i form af kameraer og laserscanner leverer ikke den forventede nøjagtighed og kvalitet i forhold til, hvad producenten garanterer i forhold til tiltænkte projekter. Især laserscanneren leverer en meget ujævn punktsky, selv på forholdsvis plane flader med forskelle på op til 0.100 meter i punktskyen på Z-koordinaterne. Den dårlige nøjagtighed skaber store problemer i den efterfølgende anvendelse i forbindelse med projektering eller modellering. Den unøjagtige laserscanningspunktsky gør det ikke muligt at anvende systemet til de tiltænkte opgaver med nøjagtigheder på 1-2 centimeter.

Hvis systemet skal opdateres kan det være ved at påmontere terrestriske laserscannere, bedre kameraer til dokumentation og fejlsøgning, samt eventuelt et videokamera, hvilket yderliger kan anvendes som dokumentation og kontrol. Billeddokumentation giver mulighed for at skabe en RGB punktsky, og på den baggrund vil der ligeledes lettere kunne identificeres kontrolpunkter og andre objekters afgrænsninger i punktskyen.

**Softwaren**
Ved processering, behandling og kontrol af data har der igennem dette projekt været en afgrænsning i forhold til den software, der har været tilgængelig fra Topcon og COWI. Der findes meget andet software, der kunne have været spændende at teste. De fleste datasæt er standardiserede og vil derved kunne importeres og behandles i de fleste softwareløsninger.

Processeringssoftwaren er tilstrækkelig, dog ville det have været en fordel at have større indsigt i processerne i forhold til parametre og vægtning af de forskellige positionerings- og orienteringssensorer i selve datafiltreringen og efterfølgende udjævning. De valgte softwareløsninger er, som mange andre, "black-box"hvad angår indsigt og mulighed for at præge beregningsmetoderne og resultatet. Kontrol af datakvaliteten i forhold til nøjagtigheden kræver software, der kan håndtere de tunge datasæt, hvilket betyder, at data skal konverteres og tilpasses af flere omgange, hvilket er meget tidskrævende. En klassificering af punktskyen ville have været at foretrække for både at reducere de store datamængder, der arbejdes med og samtidig til at frasortere eventuel støj fra punktskyen. Denne metode ville kræve en ekstra bearbejdningsproces, men kunne eventuelt have forbedret nøjagtigheden af punktskyen i forhold til "ground-level", hvor punktskyen kontrolleres.

**Data- og testtroværdighed**
I dette projekt anvendes der referencedata fra GPSnet.dk ved hjælp af egen basestation og data hentet som VRS. En sammenligning af egen bases korrektionsdata med VRS til samme placering, ville have været at foretrække for at sikre, at VRS og korrektionsdata er entydige. Ligeledes havde det været en fordel, at teste for flere afstande, for at skabe sig et bedre billede af tendenserne og begrænsningerne. Med fordel kunne der opstilles egen reference ved hver test, for at kontrollere basislængden og korrektionsdata.

Projektet har været afgrænset i forhold til et bestemt antal tests og type af datasæt. Ved at begrænse antallet af tests mindskes repræsentativiteten og troværdigheden af analyserne. Hvis projektet skulle være yderligere veldokumenteret, ville det kræve væsentligt flere tests og ligeledes flere forskellige tests. Hastighederne ville kunne testes på flere niveauer og det samme med indstillingerne af scan sampling frekvensen.Ved kontrollen af den absolute nøjagtighed anvendes der et bestemt antal kontrolpunkter, der ligger indenfor dataindsamlingsområdet. Antallet af kontrolpunkter, placering og udformning overvejes kraftigt i forhold til tilgængelighed, afstand og signalering i forhold til dataindsamlingen. For at sikre om antallet er tilstrækkeligt kan der tages udgangspunkt i statistikken, dette med baggrund i spredning på spredning ved hjælp af antallet af overbestemmelser. Dette er et udtryk for hvor stor usikkerhed, der er på de forventede spredninger, hvilket ville give et udtryk for repræsentativiteten.

På baggrund af ovenstående er der mange spændende udfordringer indenfor dette emne. I takt med udvikling af systemet og softwaren vill metoden vinde frem.

# Kildeliste

**Bøger og rapporter:**

[C. Vincent Tao, 2000] C. Vincent Tao. *Mobile Mapping Technology for Road Network Data Acquisition*. Department of Geomatics Engineering, The University of Calgary 2500 University Drive, NW, Calgary, Alberta, Canada T2N 1N4. 8, 9

[Landau Herbert et al., 2002] Herbert Landau, Ulrich Vollath, Xiaoming Chen. *Journal of Global Positioning Systems (2002) - Virtual Reference Station Systems, Vol. 1, No. 2: 137-143*. Trimble Terrasat GmbH. 26

[Hu G.R. et al., 2008] G.R. Hu, O. Ovstedal, W.E. Featherstone, N. Castleden, C.J. Earls, D.A. Abbey. *USING THE VIRTUAL REFERENCE STATIONS (VRS) CONCEPT FOR LONG-RANGE AIRBORNE GPS KINEMATIC POSITIONING*. Survey Review, 40, 307 pp.83-91 (January 2008). Western Australian Centre for Geodesy, Curtin University of Technology, GPO Box U1987 Perth 6845, Australia. Department of Mapping Sciences and Technology, Agricultural University of Norway, PO Box 5003, N-1432 Ås, Norway. AAMHatch Pty Ltd, 23 Hamilton Street, Subiaco WA 6008, Australia. 72, 94

[Rongxing Li, 2011] Dr. Rongxing Li Associate Professor. *Mobile Mapping - An Emerging Technology For Spatial Data Acquisition*. The Ohio State University: Department of Civil and Environmental Engineering and Geodetic Science Columbus, OH 43210. 7, 9

[Wanninger Lambert, 2002] Lambert Wanninger. *Virtual Reference Stations for Centimeter-Level Kinematic Positioning* Best Presentation Award in Session F3. Ingenieurbüro Wanninger, Neuwied, Germany Proc. of ION GPS 2002, Portland, Oregon, 1400-1407. 72

**Artikler, notater, vejledninger og undervisningsmateriale:**

[Allied, 2012] Allied Vision Technologies. *Prosilica GC DataSheet 1380 v2.0.2.*. http://www.alliedvisiontec.com/emea/products/cameras/gigabit-ethernet/prosilica-gc/gc1380.html. Allied Vision Technologies GmbH, Taschenweg 2a, 07646 Stadtroda, Germany. Hentet (altid). 15

[Brodersen, 2006] Lars Brodersen. *Pixivejledning i projektmetode*. http://people.plan.aau.dk/~lars/for_students/pixivejledning_projektmetode.pdf. Institut for Samfundsudvikling og Planlægning, Aalborg Universitet. 3

[Eriksen et al, 2004] Poul S. Eriksen og Steffen L. Lauritzen. *Teknisk Måling - Statistik*. Institut for Matematiske Fag, Aalborg Universitet. 43

[Knudsen, 2012] Mads B. Knudsen. *Mailkorrespondance med Mads B. Knudsen - cand.polyt/ M.Sc. omkring VRS og basislængder.*. Geoteam A/S, Energivej 34, DK-2750 Ballerup. 72, 73

[Point Grey, 2012] Point Grey Research, Inc. *Point Grey - Innovation Imaging - 360 Spherical Camera Catalog.*. http://www.ptgrey.com/products/Point_Grey_spherical_catalog.pdf. Point Grey Research, Inc., 12051 Riverside Way, Richmond, BC, Canada, V6W 1K7. Hentet (altid). 14

[Studievejledning, 2012] Studievejledning 2012 - Afgangsprojekt/Langt afgangsprojekt. *Landinspektøruddannelsen cand.scient.tech.-uddannelsen i landinspektørvidenskab*. L-studienævnet. Aalborg Universitet. Januar 2012. Hentet (altid). III

[Topcon, 2011] IP-S2 HD Brochure. *High Density 3D Mobile Mapping System* http://www.topconpositioning.com/sites/default/files/literature/IP_S2HD_06-21-2011.pdf. Topcon Positioning Systems, Inc. 7400 National Drive, Livermore, CA 94550, U.S.A. Hentet (altid). 13, 32

[Topcon, 2010] Spartial Factory Brochure. *Spatial Factory Office Software*. http://www.topconpositioning.com/sites/default/files/literature/Spatial_Factory_Broch_7010_2060_RevA_V3.pdf. Topcon Positioning Systems, Inc. 7400 National Drive, Livermore, CA 94550, U.S.A. Hentet (altid).

[Terrasolid, 2010] TerraScan User Guide. *TerraScan Users Guide*. http://www.terrasolid.fi/system/files/tscan_2.pdf. Terrasolid Ltd., Kanavaranta 7 B, 00160 HELSINKI, Finland. Hentet (altid). 37, 55, 65

[Velodyne, 2010] Velodyne Datasheet. *Velodyne High definition Lidar HDL-64E S2.*. http://velodynelidar.com/lidar/products/brochure/HDL-64E%20S2%20datasheet_2010_lowres.pdf. Velodyne Lidar, Inc., 345 Digital Drive, Morgan Hill, CA 95037. Hentet (altid). 13

**Internetsider:**

[1] ABA Surveying, 2012. abasurveying.co.uk. *ABA Surveying - Mobile Mapping* http://www.abasurveying.co.uk/. Hentet (30.05.2012). 93

[2] DKTM, 2012. kms.dk. *DKTM/ETRS89 - et system af kortprojektioner til bygge- og anlægsbranchen*. http://www.kms.dk/Emner/Referencenet/Referencesystemer/DKTM_ETRS89/. Hentet (18.02.2012).

[3] GeoClean, 2012. topconpositioning.com. *Topcon Software - Office Application - GeoClean*. http://www.topconpositioning.com/products/software/office-applications/geoclean. Hentet (15.02.2012).

[4] GPSnet.dk, 2012. geoteam.dk. *Navigation: Produkter - GPSnet - Om GPSnet.dk* http://www.geoteam.dk/produkter/gpsnet.html. Hentet (altid). 56, 71, 25, 26, 27

[5] Ingeniøren, 2011. Ing.dk. *Mobile mapping skal gøre landmåling nemmere.*. http://ing.dk/artikel/122020-mobile-mapping-skal-goere-landmaaling-nemmere. Hentet (15.02.2012). 5

[6] IP-S2 HD, 2012. Topconpositioning.com. *IP-S2 HD - Fully Integrated High Density 3D Laser Scanning and Digital Imagery Mobile Mapping System.* http://www.topconpositioning.com/products/mobile-mapping/ip-s2-hd. (Hentet altid). 6, 12, 56

[7] Leica Geo Office, 2012. leica-geosystems.com. *Leica Geo Office - Your Vision: one integrated Office Software.* http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-Geo-Office_4611.htm. (Hentet altid). 18

[8] Referencenet, 2012. Referencenet.dk. *Om GPS-referencen.* http://www.referencenet.dk/GNSS_erfaringer/RTK_tjenester/om_gps_referencen.htm. (Hentet altid) 71

[9] Spatial Factory, 2012. Topconpositioning.com. *Topcon Software - Office Application - Spatial Factory.* http://www.topconpositioning.com/products/software/office-applications/spatial-factory. (Hentet altid). 18

[10] TerraScan, 2012. terrasolid.fi. *TerraScan - For processing airborne and vehicle based laser data.* http://www.terrasolid.fi/system/files/TerraScan_eng_2.pdf. (Hentet altid). 56

[11] Topcon, 2011. Spatial Clean Software. *Products > Satellite Positioning > Mobile Mapping > Spatial Clean Software.* http://www.topcon-positioning.eu/34/Satellite_Positioning/Mobile_Mapping/66/510/Spatial_Clean_Software/product_details.html. (Hentet altid). 29

[12] Topcon, 2011. Spatial Clean Software. *Products > Satellite Positioning > Mobile Mapping > Spatial Factory Software*. http://www.topcon-positioning.eu/34/Satellite_Positioning/Mobile_Mapping/66/511/Spatial_Factory_Software/product_details.html. (Hentet altid). 43

**Programmer:**

[GeoClean. 2012] Topcon - GeoClean 2012. *GeoClean version3.2.0*. http://www.topconpositioning.com/products/software/office-applications/geoclean. Topcon Positioning Systems, Inc, 7400 National Drive, Livermore, CA 94550, U.S.A. (Udleveret).

[KMSTrans. 2010] KMS - KMSTrans 2010. *KMSTrans version 2010*. http://www.kms.dk/Emner/Referencenet/Koordinattransformation/. Kort & Matrikelstyrelsen, Rentemestervej 8, 2400 København NV. (Downloadet).

[Kort fra COWI 2010] COWI 2010. *COWI - Kort fra COWI 1.2.0.38*. Copyright COWI A/S 2010, COWI A/S, DK. (Udleveret). 17, 41, 42, 49, 63, 64, 65, 66, 67, 68

[MicroStation. 2012] MicroStation. *MicroStation ver. V8i*. http://www.bentley.com/en-US/Products/MicroStation/. Bentley Systems, Incorporated. (Udleveret).

[Spartial Factory. 2012] Topcon - Spartial Factory 2012. *Spartial Factory version 1.2.1*.. http://www.topconpositioning.com/products/software/office-applications/spatial-factory. Topcon Positioning Systems, Inc, 7400 National Drive, Livermore, CA 94550, U.S.A. (Udleveret).

[Terrascan. 2012] Terrasolid - TerraScan 2012. *TerraScan version 012.001*. http://www.terrasolid.fi/en/products/terrascan. Terrasolid Ltd., Kanavaranta 7 B, 00160 HELSINKI, Finland. (Udleveret)

TOPCON IP-S2 HD • LiDAR • 3D RGB PUNKTSKY • PANORAMABILLEDER • TERRASCAN • GEOCLEAN • SPATIAL FACTORY

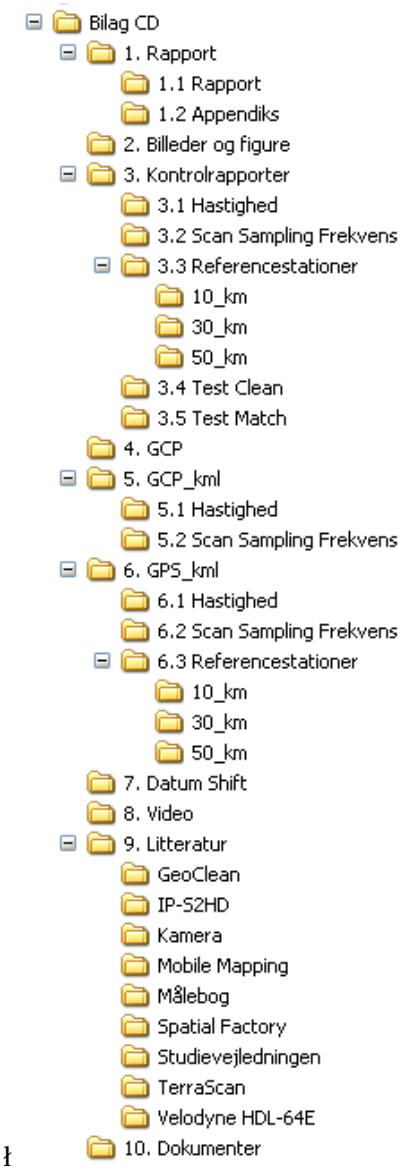
# MOBILE MAPPING

- Datakvalitet og procedurer

# APPENDIKS

# Bilags CD A

Oversigt over indholdet på bilags CD.




**Figur A.1** – Oversigt over indholdet og strukturen på bilags CD.

# MMS sensorer og funktioner B

Nedstående liste illustrerer de hyppigste sensorer og deres funktioner, se tabel B.1.

| **Sensor** | **Funktion** |
|---|---|
| GPS | - Image geoprocessing in 3D<br>- Time synchronization between GPS and INS<br>- Image time tagging<br>- INS error control<br>- Access to the 3D mapping frame through WGS84 |
| INS | - Image orientation in 3D<br>- Supports image georeferencing by:<br>Bridging GPS gaps, and<br>Providing continuous (256 Hz) trajectories between GPS measurement epochs<br>- Supports ambiguity resolution after losses of lock, and cycle slip detection and fixing |
| Camera | - Collects imagery used to derive object position<br>Two (or more) cameras provide 3D coordinates in space<br>- Single camera provides 2D coordinates or 3D if overlapping images are used |
| Laser Range Finder | - Supports feature extraction from the imagery by providing precise distance (typically measuring accuracy is about 2-5 mm) |
| Voice Recording, Touch Screens, Barometer, Gravity Gauge | - Attribute collection sensor |

**Tabel B.1** – MMS sensorer og funktioner.

# Topcon IP-S2 HD C

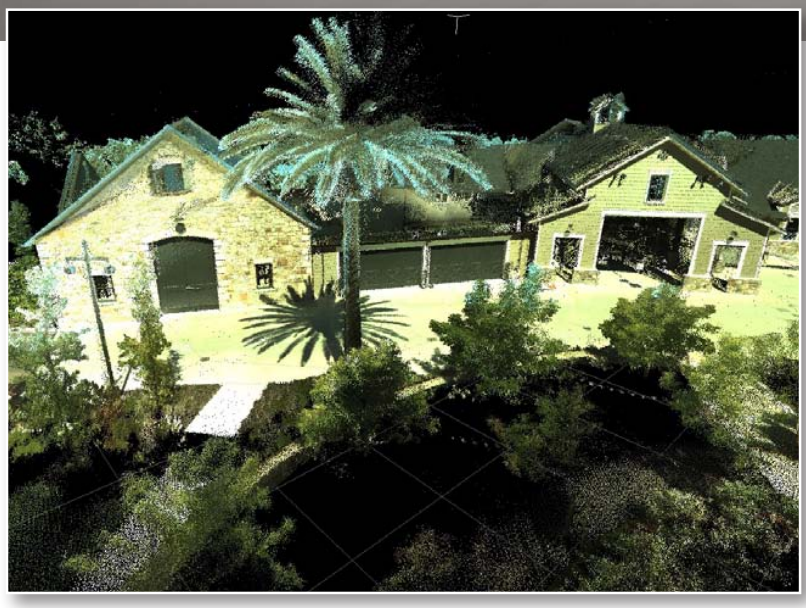
Beskrivelse af Topcon IP-S2 HD

Bilaget kan ses på næste side.

TOPCON

# IP-S2 HD

## High Density 3D Mobile Mapping System



- High Density, Long Range LiDAR sensor for ultimate visual detail
- High Accuracy IMU and DMI Odometry for positional accuracy and reliability
- Geo-referenced, Time-Stamped, Point Clouds and Imagery
- 360 Camera for Spherical Image Capture
- Powered Retractable Mounting System

# IP-S2 HD
## High Density 3D Mobile Mapping System

Topcon's IP-S2 HD Mobile Mapping System overcomes the challenges of mapping 3D features at a high level of accuracy. Accurate vehicle positions are obtained using three technologies: a dual frequency GNSS receiver establishes a geospatial position; an Inertial Measurement Unit (IMU) provides vehicle attitude; and connection to the vehicle or external wheel encoders obtains odometry information. These three technologies work together to sustain a highly accurate 3D position for the vehicle even in locations where satellite signals can be blocked by obstructions such as buildings, bridges, or tree lines.

The standard IP-S2 HD system includes one sensor head of LiDAR containing 65 lasers oriented to cover roadside features up to 100m away. High resolution digital cameras can be added providing 360 degree spherical images at fixed distance intervals. All sensor inputs are recorded and time stamped to a common clock driven by the IP-S2 HD.

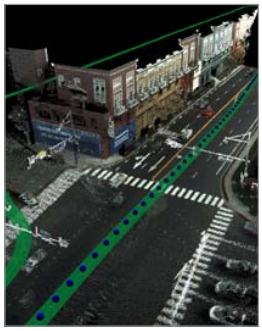
Geoclean, Topcon's powerful software, will post-process the geo-referenced LiDAR and/or digital imaging data into a viewable 3D image representation which can then be exported to industry standard formats. GNSS data can be post-processed against a reference station for higher accuracy. Optional desktop software includes a viewer enabling the user to review geo-referenced point cloud and camera information, label features and assets, make measurements and export data into GIS programs.

The IP-S2 HD quickly provides high accuracy data and dynamic imaging for any mapping project. The vehicle-mounted system can map data at normal travel speeds for roadway surface condition assessments and roadside feature inventories. Safety is increased by removing pedestrians from the travelled lanes. Other applications include pipelines, railways, utility corridors, and waterways. Homeland security and disaster management can benefit from the IP-S2 HD's ability to collect high accuracy GIS information simply and quickly. The IP-S2 HD is the perfect solution for the detail required for 3D street-level city mapping and utility asset management.

### IP-S2 HD Features

- Geo-referenced spherical imagery produced
- Sensor fusion software provides colorized 3D models of the environment
- Viewer software to identify and label assets and features
- Easily export to industry standard GIS formats
- Accurate vehicle position and attitude
- Factory calibrated, integrated system
- Cost effective, turnkey solution
- High density point cloud for ultimate visual detail
- Extended range for additional data acquisition

## IP-S2 HD combines multiple sensors for a high density mapping solution



### High Density Laser Scanner

The IP-S2 HD laser scanner captures high resolution, high density 3D point clouds of roadside features regardless of lighting conditions. Included PC software projects sensor data into 3D global coordinates with accurate time-stamps. Geo-referenced panoramas can be produced for visual inspection and detailed analysis such as time-dependent changes in profile, geometry and location.

### Positioning Component

The mobile mapping positioning component determines precise vehicle position and attitude on a real-time basis using multiple sensors. An integrated dual frequency GNSS receiver tracks both GPS and GLONASS signals expanding the operation area. An inertial measurement unit (IMU) constantly monitors vehicle motion and attitude, allowing the IP-S2 system to track the vehicle position even when driving near obstructions or through tunnels where satellite signals can be blocked.

### Vehicle Wheel Encoders

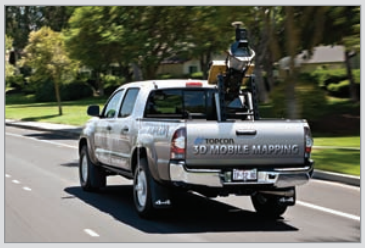
Vehicle wheel encoders further enhance positioning accuracy and reliability. Retrofitted to rear wheel axles, the encoder detects rotation of each wheel. Vehicle attitude can be computed even more accurately by comparing difference in rotation speeds between two wheels.

### Imaging Component

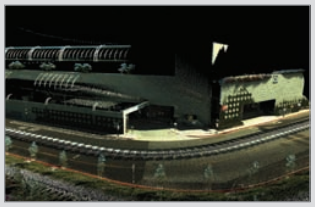
A 360° digital camera continuously captures spherical video imagery. The combination of imagery with point cloud data significantly enhances the quality of the 3D data and the resulting data analysis. The IP-S2 HD can contain additional imagery sensors for enhanced clarity of the scene.

# IP-S2 HD
# Project Workflow

**DATA COLLECTION** ▶▶ **POST PROCESSING** ▶▶




Drive vehicle through route



Full Color Point Cloud

Vehicle Trajectory

## The IP-S2 HD Software Provides User-friendly Data Collection and Processing Solutions

### IP-S2 HD Dashboard-Data Collection Software

The IP-S2 HD Dashboard operates on a PC web browser. This software allows the user to easily control and configure the IP-S2 HD Box with all connected sensors. It also controls field data capture, storage and display.

### Geoclean – Post Processing Software

**GNSS Post Processing**

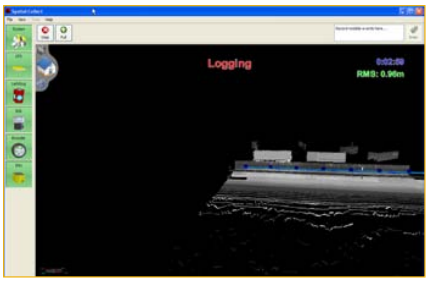
Geoclean determines the vehicle positions by means of continuous kinematic processing using the vehicle mounted GNSS receiver and fixed base station data.

**Hybrid Analysis for Vehicle Attitude and Location**

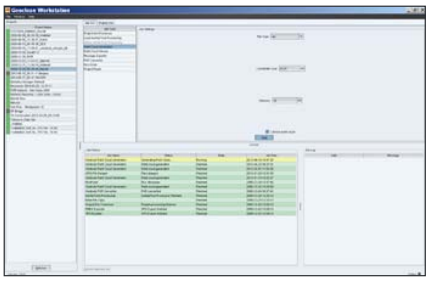
By integrating GNSS data with IMU and wheel encoder data, Geoclean determines a vehicle attitude correlated to accurate geographical locations.

**Combining Images and Point Clouds**

Geoclean software precisely combines imagery and scanned data to generate insightful full-color point clouds.




*IP-S2 HD Dashboard*



*Geoclean Post-Processing Software*

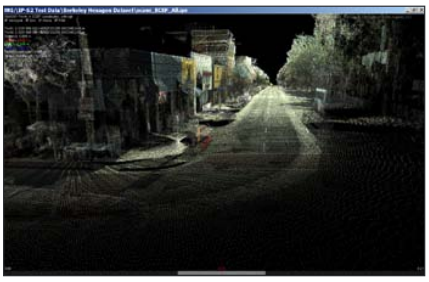


*Image and Point Cloud in Geoclean Software*

## APPLICATIONS

Utilities

GIS Asset Management

Transportation

## Full-color, high-resolution, high-density point clouds dramatically increase efficiencies in the following areas:

### Utilities

Topcon's IP-S2 HD effectively addresses utility infrastructure needs such as mapping electric and telephone grids in both urban and rural areas. In instances where it has been cost prohibitive to collect location and attribute data due to the time consuming, labor intensive nature of traditional data collection techniques, the IP-S2 HD now provides a fast and affordable means to create accurate map data. The amount of ground that can be covered in a day is greatly increased and the number of personnel required to do the job decreases in magnitude. The opportunity for human input error is also greatly decreased. The detail obtained in a high definition point cloud from the IP-S2 HD allow overhead power lines to be captured which may get missed with standard definition mobile mapping systems. As a result, management agencies are able to make accurate and quick maintenance decisions right from the office saving time and costly mistakes.

*Point Cloud with Image Overlay*

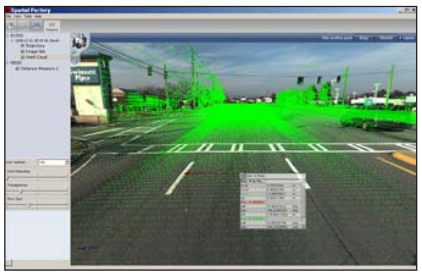
*Point Cloud with Image Overlay*

### GIS Asset Management

Creating a GIS database of assets can be an overwhelming task as the number of items to map can be immense. Topcon's IP-S2 HD can simplify the task by obtaining data on all assets in a particular area as the truck drives through. The high definition point cloud ensures that data on smaller utilities such as water vales is obtained. In addition to location information, asset managers can view descriptive details of the assets using the colorized point cloud image overlay. It is not necessary to predefine the attribute values needed in the GIS database before fieldwork. All information is in the IP-S2 HD database and can be extracted at any time after the field work is complete.

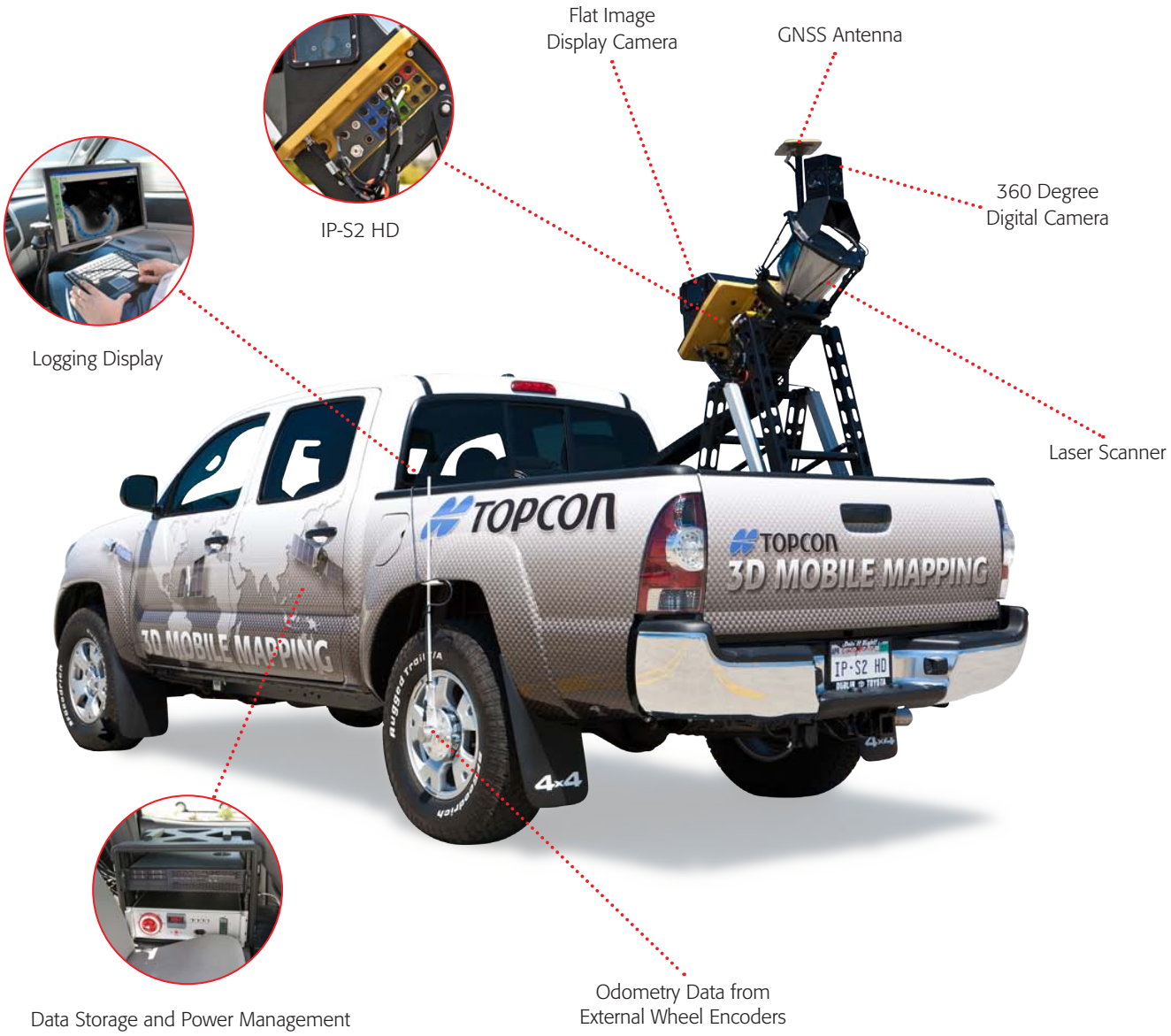
### Transportation

Using GPS alone for data collection of transportation facilities such as roads, highways, tunnels and overpasses can often pose problems as GPS signals are blocked by nearby buildings and structures. Topcon's IP-S2 HD becomes a great solution for transportation mapping as the combination of GPS and IMU sensors allows for continued accurate position updates in GPS outage areas. The IP-S2 HD vehicle can also get data under overpasses and in areas where aerial fly-over methods produce no data. The detailed point cloud from the IP-S2 HD allows for data collection of small objects such as individual rail ties for railway applications. A combination of the high definition laser and the speed and accuracy of the IP-S2 HD make the system a perfect fit for transportation mapping applications such as highways, railways and roads.



*Point Cloud with Image Overlay*

## The IP-S2 HD gives a high density point cloud with colorful image overlay for the ultimate in feature recognition and mapping detail.




### IP-S2 HD Installation

This turnkey solution is delivered fully calibrated and ready to deploy. A retractable mounting system allows the equipment to fold down for easy storage when the system is not in use.

### High Density Laser Scanner

The high density laser scanner included with the IP-S2 HD collects 1.3 million points per second at a range of 100m. The scanner has a 360° horizontal field of view and a 30° vertical field of view to increase data collection coverage and minimize laser shadowing. Coupled with this high definition LiDAR scanner, the IP-S2 HD provides the greatest point cloud density and longest range available in a mobile mapping system today.

# IP-S2 HD SPECIFICATIONS

| | |
|---|---|
| **GNSS COMPONENT** | |
| **Tracking** | 20 satellites, all-in-view, L1 GPS, L1/L2 GPS, L1/L2 GLONASS, L1/L2 GPS + L1/L2 GLONASS, WAAS, MSAS, EGNOS |
| **Low Signal Tracking** | Down to 30 dBHz |
| **Cold Start** | < 60 sec |
| **Warm Start** | < 10 sec |
| **Reacquisition** | < 1 sec |
| **Advanced Firmware Function** | Up to 30 g's of dynamic multipath mitigation Co-Op tracking |
| **Real Time Position & Raw Data** | Up to 20 Hz update rate |
| **RTCM SC104 v2.1, 2.2, 2.3, 3.0** | Input/Output |
| **NMEA 0183 v2.1, 2.2, 2.3 & 3.0** | Output |
| **HIGH-ACCURACY IMU** | |
| **Type** | Honeywell HG1700 |
| **Data Rate** | 100MHz |
| **Gyro Bias/Drift Rate** | 1°/hr, 3°/hr |
| **POWER** | |
| **Input Supply Voltage** | Continuous 12-14 VDC with approximately 50 amp draw. |
| **System power consumption** | Approximately 300W. |
| **PHYSICAL** | |
| **Size** | 56 x 27.5 x 49 in (1422 x 699 x 1245 mm) |
| **Weight** | approx 180 lbs. |
| **ENVIRONMENTAL** | |
| **Operating Temperature** | -10 C to + 40C |
| **I/O PORTS** | |
| **CAN Bus** | OBDII - MOLEX-9 Pin |
| **Encoder** | TTL quadrature input |
| **Ethernet** | 100 Base-T |
| **USB 2.0** | Host input/output |
| **RS-232-/422** | Up to 2 Mb/s |
| **High-speed Digital I/O (x4)** | LVDS 400 Mb/s |

## VELODYNE LASER SCANNER

**Sensor**

- 64 lasers/detectors
- 360o field of view (azimuth)
- 0.09o angular resolution (azimuth)
- 32o vertical field of view (elevation) -+ 6.7o up to 24.87o down with 64 equally spaced angular subdivisions (approximately 0.5o)
- Approximately 2cm distance accuracy (one sigma)
- 50m range for pavement (~0.10 reflectivity)
- 120m range for cars and foliage (~0.80 reflectivity)
- Approximately 1.333 million points per second
- Operating temperature - 10o to 50oC
- Storage temperature - 10o to 80oC

**Laser**

- Class 1 – eye safe
- 4 x 16 laser block assemblies
- 905 nm wavelength
- 5 nanosecond pulse
- Adaptive power system for minimizing saturations and blinding

**Mechanical**

- 15V +/- 1.5V @ 4 amps
- Approximately 29 lbs
- 10" tall cylinder of 8" 0D diameter
- 300 RPM spin rate
- Environmental Protection IP67 Output
- 100 MBPS UDP Ethernet packets

Velodyne® HDL-64E S2

HDL-64E scans both sides of features

**Your local Authorized Topcon dealer is:**

TOPCON
topconpositioning.com
7400 National Drive • Livermore • CA 94550

Specifications subject to change without notice. ©2011 Topcon Corporation All rights reserved. P/N: 7010-2084 Rev. A Printed in U.S.A. 06/11

# Testoversigt 2011 D

Oversigt og beskrivelse af testkørsel med Topcon IP-S2 HD Mobile Mapper ved Odense.

Bilaget kan ses på næste side.

# Testoversigt 2011 - Teststrækning Odense

| Line | Afkørsel | | Speed | Scan Sampling | Bemærk | Estimeret tid | TMA vogn |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| No. | Start | Slut | Km/t | % | | min | |
| 1 | 1 | 1 (via 2) | 40 | 25 | Køres uden 8 tals opstart, direkte opstart på rampen (pkt 1) | 30 | Yes |
| 2 | 1 | 3 (via 2) | 70 | 50 | Køres uden 8 tals opstart, direkte opstart på rampen (pkt 1) | 30 | Yes |
| | | | | | | | |
| 3 | 3 | 3 (via 2) | 40 | 50 | Køres med 8 tal opstart (pkt 3), herefter ned af rampen (pkt 1) | 30 | Yes |
| 4 | 3 | 3 (via 2) | 40 | 100 | -- | 30 | Yes |
| 5 | 3 | 3 (via 2) | 70 | 25 | -- | 30 | Yes |
| 6 | 3 | 3 (via 2) | 70 | 100 | -- | 30 | Yes |
| 7 | 3 | 3 (via 2) | 100 | 25 | -- | 20 | No |
| 8 | 3 | 3 (via 2) | 100 | 100 | -- | 20 | No |
| | Egen Base station konfigureres til 1 Hz log | | | | | | |
| 9 | 1 | 3 (via 2) | 100 | 50 | Køres uden 8 tals opstart, direkte opstart på rampen (pkt 1) | 20 | No |
| 10 | 3 | 3 (via 2) | 100 | 75 | Køres med 8 tal (pkt 3), herefter ned af rampen (pkt 1) | 20 | No |

# Facts vedr. dataindsamling E

Oversigt over facts vedr. dataindsamling på tre udvalgte testkørsler.

Bilaget kan ses på næste side.

# Facts vedr. dataindsamlingen

**Testkørsel 2:**

| Kategori | Resultat |
|---|---|
| Tidspunkt for data indsamling | 1/11-2011 14:20 - 14:50 Lokal tid |
| Temperatur | 11 ºC |
| Skydække | Delvis skyet |
| Start up/Shut down | No trbits (8-tal) |
| Hastighed | 70 km/t |
| Sensor / Udstyr | Procilica kameraer (enabled) |
| | Ladybug (enabled) |
| | Velodyne (enabled 50%) |
| Ref.station (Leica 1200 serie) | 10 Hz |
| | |
| TMAvogn | - |
| Operatør | Jens Ravn Knudsen |

**Testkørsel 3:**

| Kategori | Resultat |
|---|---|
| Tidspunkt for data indsamling | 1/11-2011 11:30 - 12:00 Lokal tid |
| Temperatur | 10-12 ºC |
| Skydække | Delvis skyet |
| Start up/Shut down | Orbits (8-tal) |
| Hastighed | 40 km/t |
| Sensor / Udstyr | Procilica kameraer (disabled) |
| | Ladybug 0.33 FPS (disabled) |
| | Velodyne (enabled 50%) |
| Ref.station (Leica 1200 serie) | 10 Hz |
| | |
| TMAvogn | Robert |
| Operatør | Jens Ravn Knudsen |

**Testkørsel 6:**

| Kategori | Resultat |
|---|---|
| Tidspunkt for data indsamling | 1/11-2011 12:30 - 13:00 Lokal tid |
| Temperatur | 10 ºC |
| Skydække | Delvis skyet |
| Start up/Shut down | Orbits (8-tal) |
| Hastighed | 70 km/t |
| Sensor / Udstyr | Procilica kameraer (disabled) |
| | Ladybug (disabled) |
| | Velodyne (enabled 100%) |
| Ref.station (Leica 1200 serie) | 10 Hz |
| | |
| TMAvogn | - |
| Operatør | Jens Ravn Knudsen |

# Data- analyse- og sammenligningsgrundlag

F

Oversigt over data- analyse- og sammenligningsgrundlag.

Bilaget kan ses på næste side.

# Datagrundlag & analysesammensætning

## Hastighed:

| Line | Afkørsel | | Speed | Scan Sampling | Bemærk | Estimeret tid | TMA vogn | Filnavn/Job |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| No. | Start | Slut | Km/t | % | | min | | |
| 4 | 3 | 3 (via 2) | 40 | 100 | -- | 30 | Yes | 120358 |
| 6 | 3 | 3 (via 2) | 70 | 100 | -- | 30 | Yes | 123410 |
| 8 | 3 | 3 (via 2) | 100 | 100 | -- | 20 | No | 125733 |

## Scan sampling frekvens:

| Line | Afkørsel | | Speed | Scan Sampling | Bemærk | Estimeret tid | TMA vogn | Filnavn |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| No. | Start | Slut | Km/t | % | | min | | |
| 3 | 3 | 3 (via 2) | 40 | 50 | -- | 30 | Yes | 113319 |
| 4 | 3 | 3 (via 2) | 40 | 100 | -- | 30 | Yes | 120358 |
| 5 | 3 | 3 (via 2) | 70 | 25 | -- | 30 | Yes | 132212 |
| 6 | 3 | 3 (via 2) | 70 | 100 | -- | 30 | Yes | 123410 |
| 7 | 3 | 3 (via 2) | 100 | 25 | -- | 20 | No | 135642 |
| 8 | 3 | 3 (via 2) | 100 | 100 | -- | 20 | No | 125733 |

## Referencestationer:

| Line | Afkørsel | | Speed | Scan Sampling | Bemærk | Estimeret tid | TMA vogn | Filnavn |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| No. | Start | Slut | Km/t | % | | min | | |
| 3 | 3 | 3 (via 2) | 40 | 50 | -- | 30 | Yes | 113319 |
| 4 | 3 | 3 (via 2) | 40 | 100 | -- | 30 | Yes | 120358 |
| 5 | 3 | 3 (via 2) | 70 | 25 | -- | 30 | Yes | 132212 |
| 6 | 3 | 3 (via 2) | 70 | 100 | -- | 30 | Yes | 123410 |
| 7 | 3 | 3 (via 2) | 100 | 25 | -- | 20 | No | 135642 |
| 8 | 3 | 3 (via 2) | 100 | 100 | -- | 20 | No | 125733 |

# Mailkorrespondance - Trimble - Geoteam

G

Mailkorrespondance omkring Rover/base afstand.

Bilaget kan ses på næste side.

**Fra:** Mads Bøgvad Knudsen <mbo@geoteam.dk>
**Emne:** SV: Rover/base afstand..
**Dato:** 18. maj 2012 14.34.24 CEST
**Til:** Poul Holm Jensen <PHJE@cowi.dk>, support_trimble <support@geoteam.dk>

1 bilag, 19 KB

Hej Poul

Det lyder som et spændende projekt.

Jeg læser din problemstilling som at fastslå en "max" basislinelængde ved generering af data til Mobile Mapping. Det kan dog blive svært at fastsætte en konkret "max" afstand, da denne er afhængig af en lang række faktorer. Umiddelbart er basisliner bestemt ud fra en VRS position underlagt de samme fejlbidrag som for traditionel enkeltstations-beregning. Det vil sige en grundfejl plus en afstandsafhængig fejl. Dette er mest knyttet til hardware/software på rover-siden.

Derudover kommer der et fejlbidrag fra ionosfæren, som gør det yderst svært at sætte en grænse for maksimal rover-base længde. Ved høj ionosfæreaktivitet kan basislængder over 4-5 km være problematisk, mens 40-50 km kan være acceptabel ved perioder ved lav ionosfæreaktivitet. Ionosfæreaktiviteten varierer desværre meget, både som funktion af tid og sted. Dette er især gældende nu her, hvor vi igen er på vej ind i en periode med øget solpletaktivitet.

Det vigtigste spørgsmål er dog oftest: Hvad er kravet til nøjagtigheden, da det er denne der sætter begrænsningen i afstanden mellem base og rover.

Er der en teoretisk begrænsning? Den teoretiske begrænsning ligger der, hvor der minimum kan observeres til de samme 5 satellitter fra både base og rover. Det er jordens krumning, elevationsmasken i base og rover samt satellitkonstellationen det afhænger af. Om man kan danne en acceptabel løsning i dette tilfælde, kommer kun an på kravet til nøjagtighed.

Som udgangspunkt kan jeg dog oplyse om at GPSnet.dk-brugere der anvender vores VRS RTK service, de får beregnet en ny base når de bevæger sig mere en 10km væk fra den eksisterende base. Dette er sat som et kompromis mellem nøjagtighed og ulempen ved igen at skulle initialisere.

Jeg ligger desværre ikke inde med links til videnskabelige artikler der belyser dit spørgsmål. Jeg lavede i sin tid selv afgangsprojekt fra DTU, med der testede jeg kun real-time data (GPSnet.dk og GPSreferencen/SmartNet).

Hvis du har yderligere spørgsmål er du velkommen til at henvende dig igen.

Med venlig hilsen / Best regards


**Mads Bøgvad Knudsen**
cand.polyt / M.Sc.

GEOTEAM A/S
Energivej 34
2750 Ballerup

Telefon +4577332233
Direkte +4577332165
Mobil +4531639265
Fax +4577332295

E-mail mbo@geoteam.dk

http://www.geoteam.dk
http://www.GPSnet.dk

**Fra:** Poul Holm Jensen [mailto:PHJE@cowi.dk]

**Sendt:** 18. maj 2012 12:55
**Til:** support_trimble
**Cc:** Poul Holm Jensen
**Emne:** Rover/base afstand..

Hej Geoteam

Jeg skriver afgangsprojekt på landinspektørstudiet omkring Mobile Mapping i samarbejde med COWI.

Til beregning af positionen af MM køretøjet anvendes GNSS, ved kinematisk post processering. I den forbindelse anvendes GPSnet.dk VRS tjeneste, således der skabes en referencestation i nær tilknytning til opmålingsstrækningen(korrektionsdata).
Dette betyder at der vil være kort afstand mellem rover(MM) og base(VRS lokationen). Jeg ønsker i den forbindelse at undersøge eller bevise hvor langt der må eller kan være imellem rover og base, da det ønskes at vide noget omkring hvor tæt og hvor ofte der skal oprettes en ny VRS referencestation i forhold til opmålingsforløbet. I de fleste tilfælde kan opmålingen strække sig fra 10-50 km og derved ønsker jeg at vide noget omkring maksimal rover-base længde. Er der en teoretisk begrænsning? Er der tilgængelig dokumentation eller lignende på dette område? Har søgt meget på nettet under videskablige artikler men uden held.

Håber i kan hjælpe

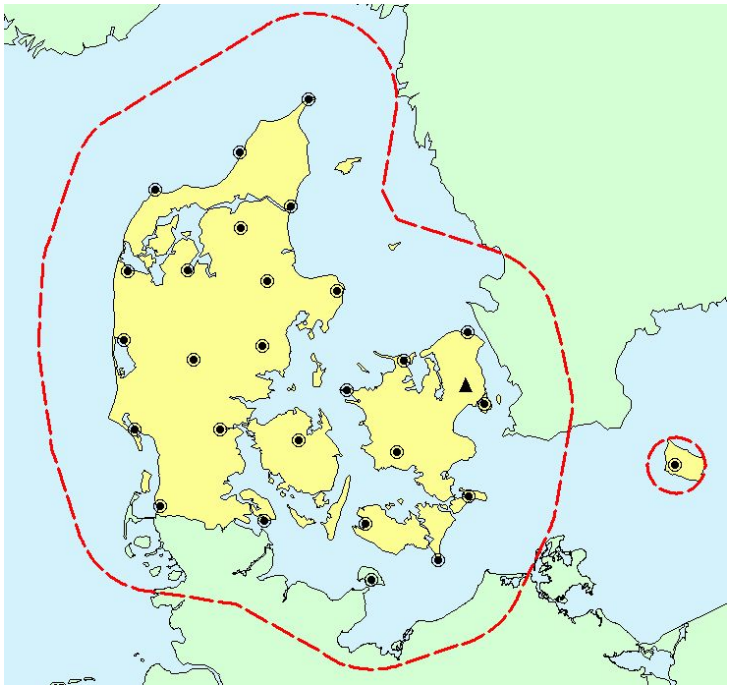
På forhånd tak

Med Venlig Hilsen/ Kind Regards

Poul Holm Jensen
phje@cowi.dk
28783400

# GPSnet.dk H

GPSnet.dk er en RTK-tjeneste udviklet af Trimble, der kombinerer Global Navigation Satellite Systems (GNSS) - GPS og GLONASS til en service, der giver centimeters GPS nøjagtighed. GPSnet.dk fungerer ved, at der sendes data fra 27 Trimble GNSS-modtagere (basestationer) i et samlet netværk til GPSnet.dk centrale servere, der behandler data, hvor outliers fjernes og cycle slips korrigeres, se figur H.1. Efterfølgende beregner serveren ionosfære- og troposfæreforsinkelserne, samt efemeride fejl ved at analysere dobbeldifferencerne. Dette sikrer at disse fejlbidrag fra roveren i netværket kan korrigeres så systematiske fejlbidrag kan reduceres væsentligt[4].



**Figur H.1** – Illustration af placering af GPSnet.dk referencestationer i DK. [4]

*"GPSnet.dk tilbyder flere forskellige services:*

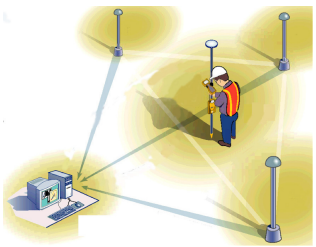
- *RTK - Real Time Kinematic GPS/GNSS. Her får du Real-time korrektioner via GSM eller GPRS. Nøjagtigheden er 1-2 cm i planen og 2-4 cm i højden.*

- *To-frekvente fasedata (GPS og GLONASS) til download og postprocessering. Her kan du via GPSnet.dk's hjemmeside downloade data fra alle de permanente referencestationer, eller du kan danne en virtuel referencestation, hvor du har brug for det.*
- *DGPS - Differentiel GPS. Afhængig af modtagertype kan man opnå en nøjagtighed på 20-50 cm med DGPS-korrektioner. DGPS fra GPSnet.dk er et oplagt alternativ til Beacon og det tidligere SPOT-FM.*
- *Kodedata til download og postprocessering. Hvis du ikke har behov for den store nøjagtighed i marken, kan du indsamle data og postprocessere dem, når du kommer hjem. Så kan du nå nøjagtigheder på 20-50 cm til en meget fordelagtig pris".*

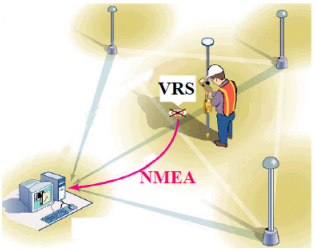
[4]

### H.0.3 VRS - Virtual Reference Station

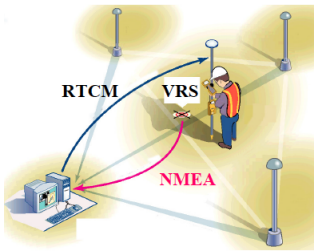
GPSnet.dk anvender VRS (Virtual Reference Station) teknologien. Her etableres en virtuel referencestation i marken, i forhold til hvor brugeren befinder sig. Den virtuelle referencemodtager herved korrektionsdata fra centralen og de 27 basestationer, hvilket sikre ens nøjagtighed i hele landet, uanset afstand til nærmeste fysiske referencestation. Denne teknologi anvendes idag ved RTK, hvor der er forbindelse mellem rover og base(VRS ). VRS etableres præcis, hvor man befinder sig, og der er derved aldrig langt mellem reference og rover [4].



**Figur H.2** – Referece-netværket, hvor de 27 referencestationer indgår. [Landau Herbert et al., 2002]




**Figur H.3** – Rover sender NMEA data for VRS positionen til netværks serveren. [Landau Herbert et al., 2002]




**Figur H.4** – Netværksserveren sender RTCM korrektionsdata til VRS positionen. [Landau Herbert et al., 2002]

*"For at GPSnet.dk kan foretage denne modellering, skal brugeren levere information om sin omtrentlige position. Det sker enten via en GSM- eller GPRS-forbindelse, hvor brugeren sender en standard NMEA GGA-streng. Serveren modtager automatisk denne besked og udfører en geometrisk forskydning til den opgivne position. Serveren interpolerer og tillægger korrektioner for efemeride-, ionosfære- og troposfærefejl og ge-*

*nererer en "virtuel referencestation"for hver individuelle bruger. Derefter dannes et sæt standard korrektionsbeskeder i RTCM-formatet, som om de kom fra den virtuelle referencestation, og korrektionerne sendes via GSM eller GPRS til brugeren. På denne måde indgår alle GNSS-observationer i en samlet "udjævning"til fordel for brugeren".*

[4]

# GeoClean Workstation

Denne manual vil beskrive workflow for dataprocessering i GeoClean Workstation version 3.2.0. Manualen er udarbejdet på baggrund af allerede eksisterende manualer udarbejdet af COWI til brug af GeoClean Workstation til Mobile Mapping data. Manualen tager udgangspunkt i de muligheder og løsningsforslag, der anvendes i dette projekt i forbindelse med dataprocessering.

## I.1 Workstation

Workstation softwaren anvendes til postprocessering ved integration af målinger fra IMU, GPS modtager og hjulsensorer til kontinuerlig og præcis 3D position af et køretøj. I Workstation kan der ligeledes tilføjes billeder til punktskyen, og data kan gemmes i forskellige output formater.

***Key Features:***

- *Imports data recorded by IP-S2 systems, without any conversion*
- *Post processes GNSS, IMU, odometry and wheel sensor data for a higly accurate trajectory*
- *Enhances trajectory computation with base station or virtual reference station data*
- *Post processes imagery and point cloud, for direct use in Spatial Factory*
- *Exports imagery in JPEG format and point clouds in standard LAS or TXT*

[11]

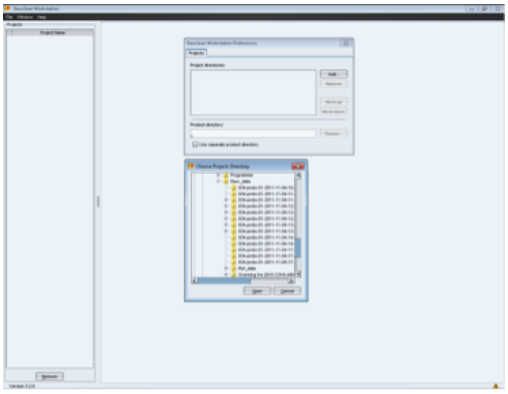
De seks efterfølgende steps vil forklare, hvordan man opsætter projektbibliotek, dataprocessering, punktskys generering, billedkonvertering, samt hvordan punktskyen kan fremvises:

Data processeres i GeoClean Workstation efter følgende fremgangsmåde:

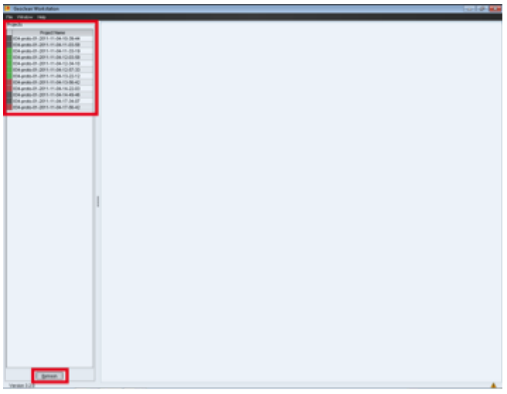
1. Setting the Project Directory
2. Inertial Post Processing
3. Point Cloud Generation
4. PGR Converter
5. Pics Poser
6. Point Cloud Viewer

### I.1.1 Step 1: Setting the project Directory

1. Åben GeoClean Workstation.
2. Gå til: File - Options - Add(Browse to project folder)- open.
3. Data vil herefter være synlig i Projects menuen til venstre.
4. Ved flere eller ved tilføjelse af data til et projekt, gå til projects menuen og tryk på Refresh for at gøre dem aktive.

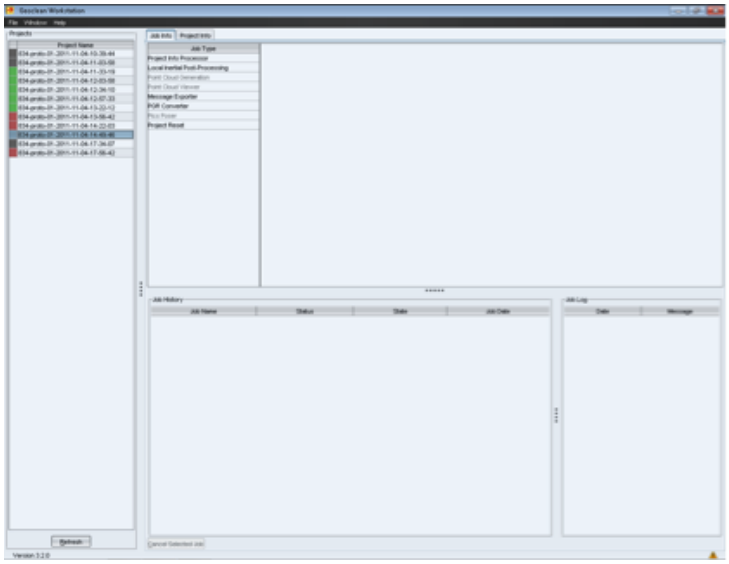


**Figur I.1** – Tilføjelse af job og projektdatabase.



**Figur I.2** – Projects menu og Refresh funktioner.

1. Vælg et projektnavn fra **Project** listen i det venstre panelvindue. **Job info** tab, **Project Info**, og **Project Job History** boks bliver tilgængelige.

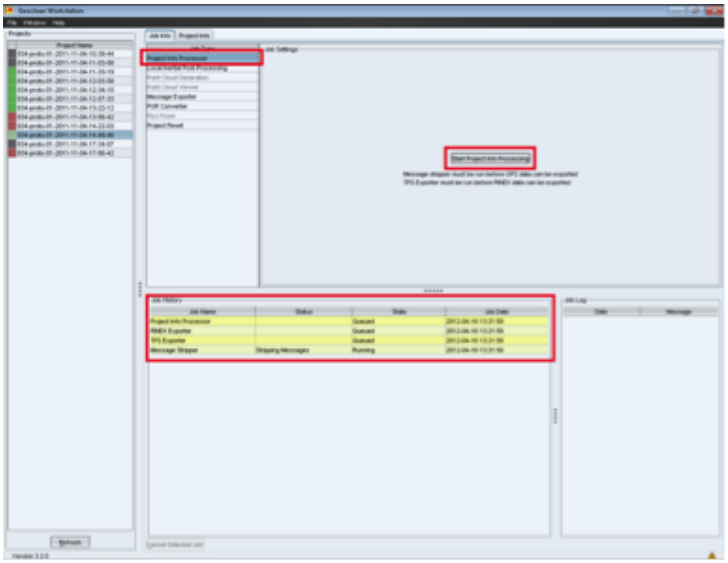


**Figur I.3** – Job og Projekt informationer(ingen job type valgt).

**Job-Processing**

2. Første skridt er at køre funktionen **Project Info Processor** ved at klikke på knappen Start Project Info Processor.

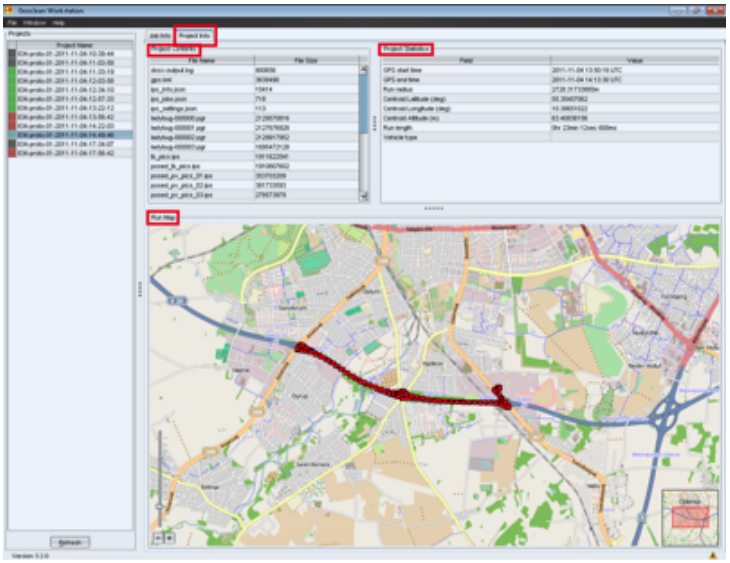
   I menuen **Job History** startes fire processer, project Info processor, RINEX Exporter, TPS Exporter og Message Stripper.



**Figur I.4** – Projectinfoprosessor.

**Project Info**

I denne fane er der tre informations menuer; Project Contents, Project statistics og Run Map. Project Contents viser en oversigt over dataindholdet for det aktuelle job. Project Statistics indeholder informationer omkring selve dataopsamlingen. Run Map viser et kort over, hvor dataopsamlingen har foregået.

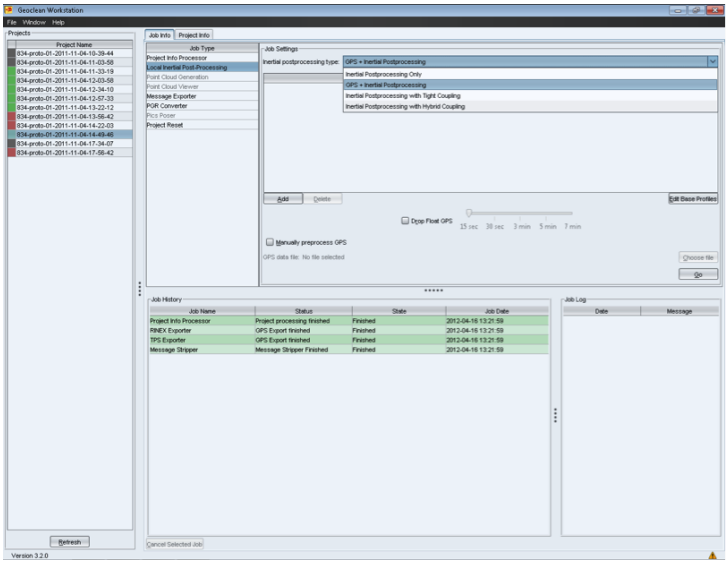


**Figur I.5** – Project Info; Project Contents, Project statistics og Run Map.

### I.1.2 Step 2: Local Inertial Post-Processing

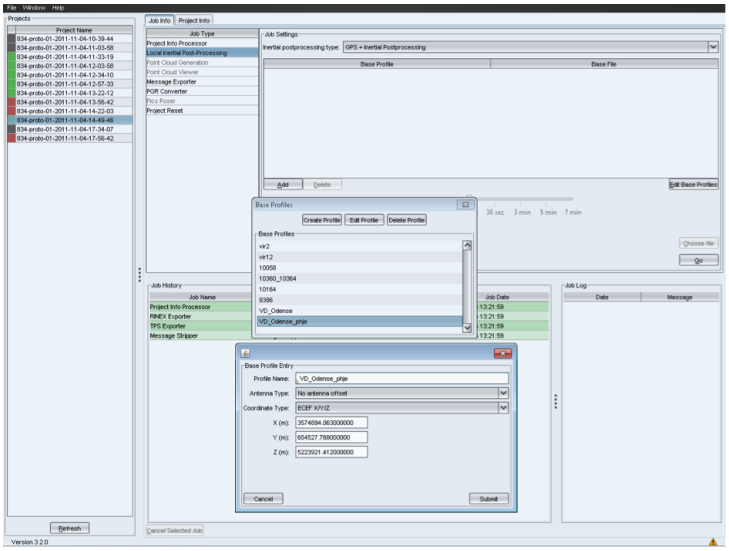
Denne proces integrere inertial og GPS data.

1. Vælg **Job Info** tab, vælg **Local Inertial Post-Processing** som job type.
2. Under **Job Settings** er der følgende muligheder for Inertial post processing typer i drop-down listen:
   - **Inertial Postprocessing Only**
   - **GPS + Inertial Postprocessing**
   - **Inertial Postprocessing with Tight Coupling**
   - **Inertial Postprocessing with Hybrid Coupling**



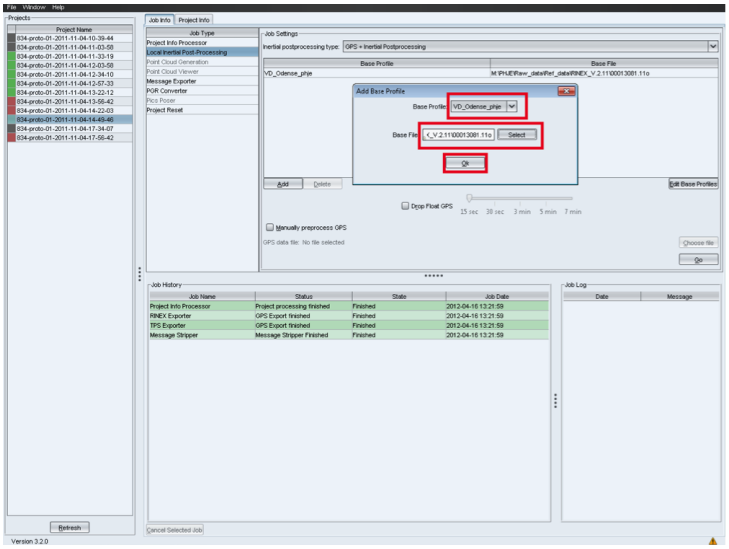
**Figur I.6** – Inertial Post processing, job settings.

3. Her vælges **GPS + Inertial Postprocessing**, denne funktion kræver en baseprofil, denne oprettes og tilføjes.
4. Klik **Edit Base Profiles**. Herunder kan der tilføjes en base profil(Create Profile, Edit Profile og Delete Profile).
5. Vælg en **Base Profile** fra listen eller opret en ny:



**Figur I.7** – Opsætning eller editering af Base Profile informationer.

6. Når **Base Profile** er oprettet vælges **Add**, den ønskede Base Profile og Base File[1]. Herefter trykkes på **Ok**.



**Figur I.8** – Tilføjelse af Base Profile og Base File.

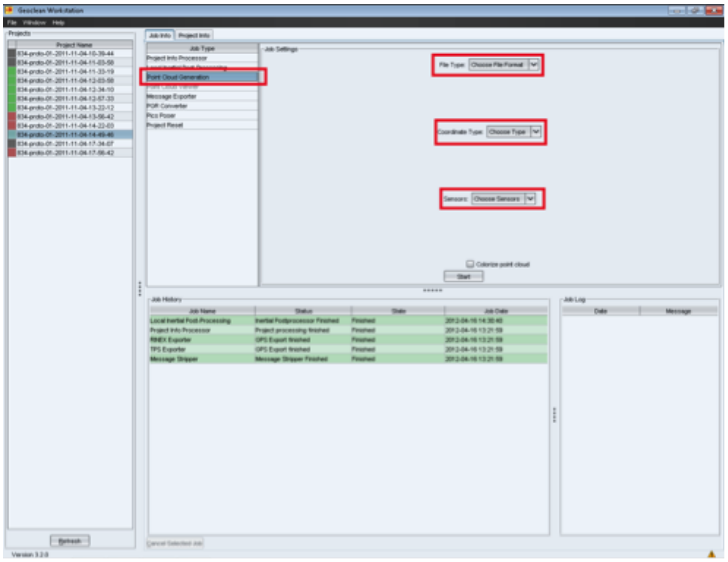
7. Klik **Go**

[1] Referencestationens RINEX-fil.

### I.1.3 Step 3: Point Cloud Generation

Alle punkter i en punktsky er gemt i projekt folderen.

1. Når **Job status** skifter til **Inertial post processor Finished**, bliver **Point Cloud Generation** tilgængelig og kan vælges. Her er der tre tilgængelige drop-down menuer; File Type, Coordinate Type og Sensors.



**Figur I.9** – Point Cloud Generation - Job settings.

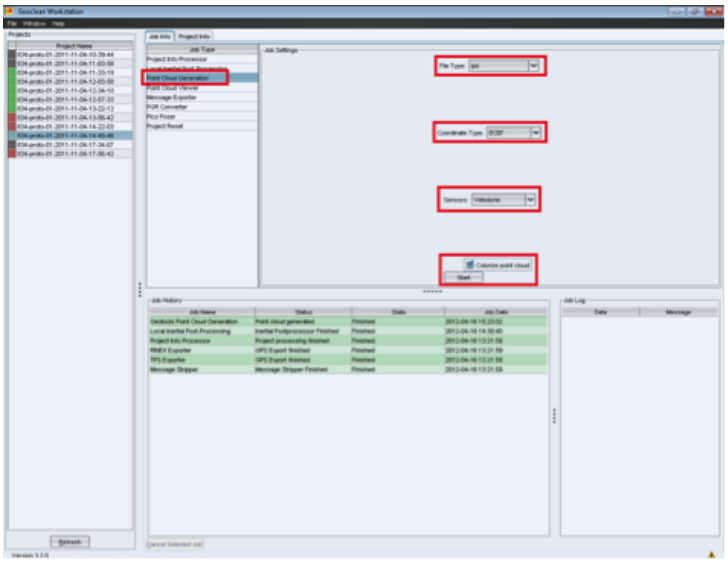
2. I **Job Settings**, vælges først **File Type** drop-down listen, hvilket inkluderer:
   - **ips**(Integrated Positioning System) - binært format anvendt af Workstation point cloud viewer.
   - **ascii**(American Standard Code for Information Interchange) - standard format for ombytningsfiler.
   - **las**(Log ASCII Standard) - format baseret på ASCII kode, brugt til deling af loggede data.
   - **rel** - brugerdefineret binært format.

   Her vælges **ips**, da dette datasæt skal kunne anvendes videre i **GeoClean Workstation** og senere i **Spatial Factory.**
3. Herefter vælges næste trin koordinatsystem, **Coordinate Type** drop-down listen, hvilket inkludere:
   - **ECEF**(Earth-Centered, Earth-Fixed) - Repræsenterer positioner som X, Y og Z koordinater.
   - **NED**(North, East, Down) - Repræsentere et lokalt koordinatsystem.
   - **WGS84**(World geodetic Systems) - Koordinatsystem anvendt blandt andet ved GPS.

Her vælges **ECEF**, da datasættes skal efterbehandles i anden software som kun kan læse dette format.

4. Efterfølgende skal der vælges type af sensorer, **Sensors** drop-down listen, hvilket inkluderer:
   - **All** - Kombinerer alle mærker af sensorer.
   - **SICK** - Et sensormærke anvendt til dataindsamling.
   - **Velodyne** - Et sensormærke anvendt til dataindsamling.
   - **Riegel** - Et sensormærke anvendt til dataindsamling.

   Her vælges **Velodyne**, da det er denne sensortype, der bruges på den anvendte MMS.
5. Til sidst vælges om punktskyen skal have RGB farver fra de tilknyttede billeder, dette gøres ved at sætte kryds i feltet **Colorize point cloud**.
6. Generering af punktskyen startes ved at vælge funktionen **Start**. I Job History kan processen følges, og når status skifter til Finish er punktskyen genereret.



**Figur I.10** – Point Cloud Generation - Job settings.

### I.1.4 Step 4: PGR Converter

Udarbejdelse og tilføjelse af panoramabilleder til trajectory og punktsky på baggrund af billeder fra Ladybug 3 kamera.

1. I **Job Info**, vælges **PGR Converter**.
2. I **Job Settings** er der to drop-down lister, hvilket indbefatter følgende opsætningsmuligheder; Select a panorama stitching resolution, select a color processing algorithm samt en JPEG Compression quality(billedekvalitetsprocent).

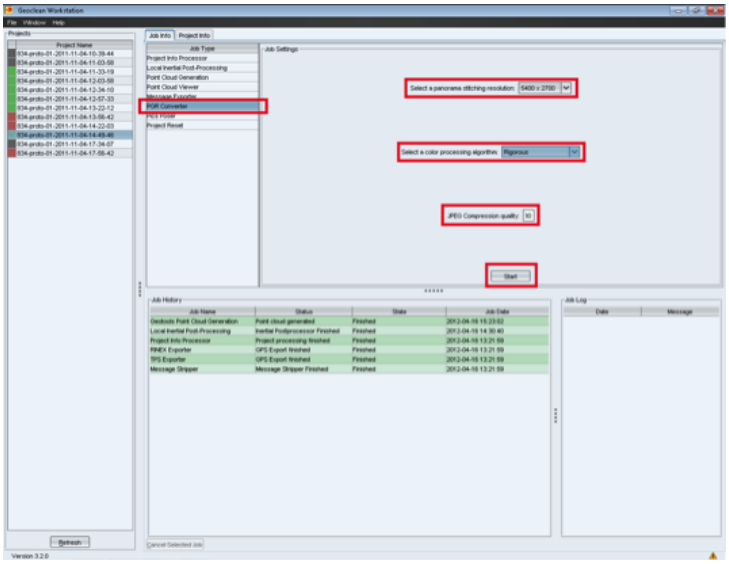
**Panorama stitching resolution**
Følgende opløsnings størrelser er tilgængelige:

- 2048 x 1024
- 4096 x 2048
- 5400 x 2700

**Color processing algorithm**
Følgende farve processerings algoritmer er tilgængelige:

- Downsampling
- Fast nearest neighbor
- nearest neighbor
- High qaality linear
- Rigorous

3. Under de tre opsætningsmuligheder sættes følgende parametre til;
   - Select a panorama stitching resolution: **5400 x 2700**
   - select a color processing algorithm: **Rigorous**
   - JPEG Compression quality: **95**



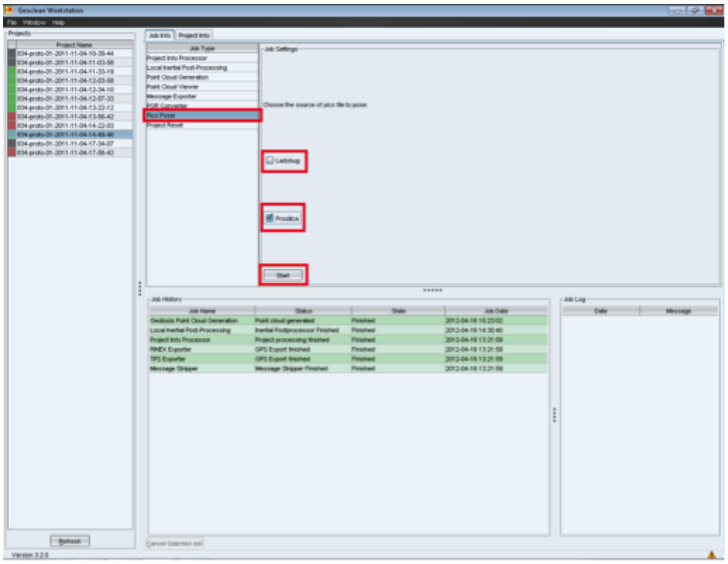
**Figur I.11** – PGR Converter - Job Settings.

4. PGR Converter startes ved at vælge funktionen **Start**. I Job History kan processen følges, og når status skifter til Finish, er panoramabillederne genereret.

### I.1.5 Step 5: Pics Poser

Tilføjelse af orienterede enkeltbilleder til trajectory og punktsky på baggrund af billeder fra Ladybug 3 eller de fem Prosilica kameraer.

1. I **Job Info**, vælges **Pics Poser**.
2. I **Job Settings** er der følgende opsætningsmulighed; choose the source of pics file to pose.
3. Vælg imellem Ladybug eller Prosilica
   Her vælges **Prosilica**, da disse enkeltbilleder har den bedste opløsning
4. Pics Poser startes ved at vælge funktionen **Start**. I Job History kan processen følges og når status skifter til Finish er enten Ladybyg eller Prosilica enkeltbillederne genereret.



**Figur I.12** – Pics Poser - Job Settings.

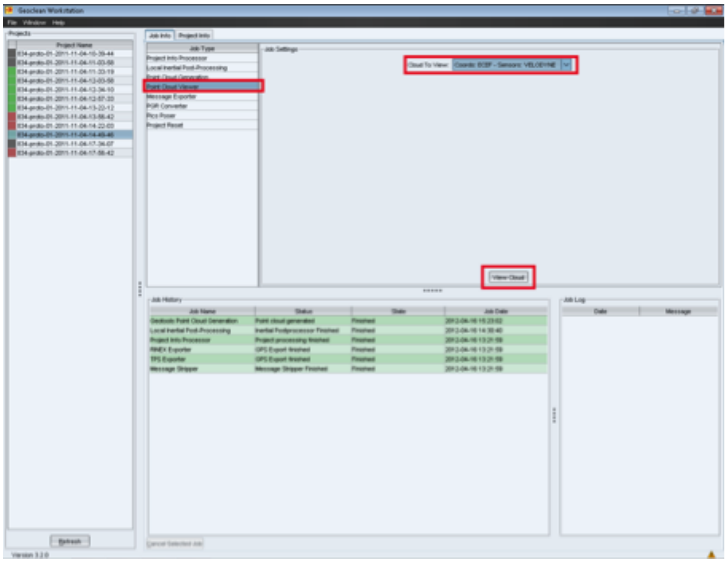
### I.1.6 Step 6: Point Clod Viewer

Point Cloud Viewer kan fremvise alt data i 3D. Følgende fremvisningsmuligheder er tilgængelige ved fremvisningsbevægelse:

- **Orbiting** - Klik og rotér billedet i forhold til et selvvalgt akseomdrejningspunkt.
- **Zooming** - Tryk og hold på mussehjulet, hvorefter der kan zoomes ind og ud ved at bevæge cursor frem og tilbage.

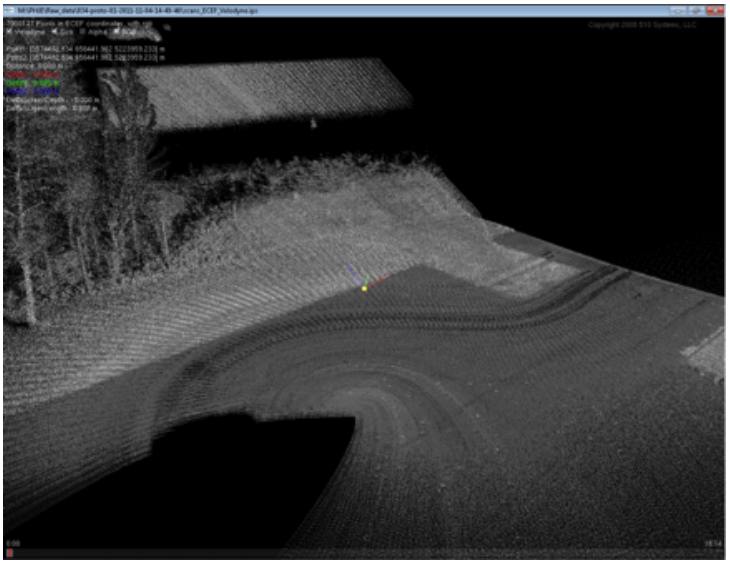
For at se den generede punktsky vælges følgende:

1. I **Job Info**, vælges **Point Cloud Viewer**.
2. I **Job Settings** vælges hvilken punktsky der ønskes fremvist **Cloud To View** i drop-down menuen. Er der lavet punkskyer i forskellige koordinatsystemer, vil de ligeledes værei drop-down listen.



**Figur I.13** – Point Cloud Viewer - Job Settings.

3. Point Cloud Viewer startes ved at trykke på funktionen **View Cloud**. Point Cloud Viewer åbner efterfølgende i et nyt vindue, hvor punktskyen fremvises.

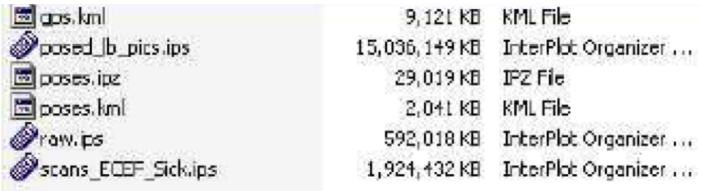


**Figur I.14** – Point Cloud Viewer - Eksempel på fremvisning af punktsky.

4. Højreklik på timeline baren i bunden af displayvinduet og træk til højre, for at øge antallet af punkter. Træk timeline baren til venstre for at minimere antallet af viste punkter.

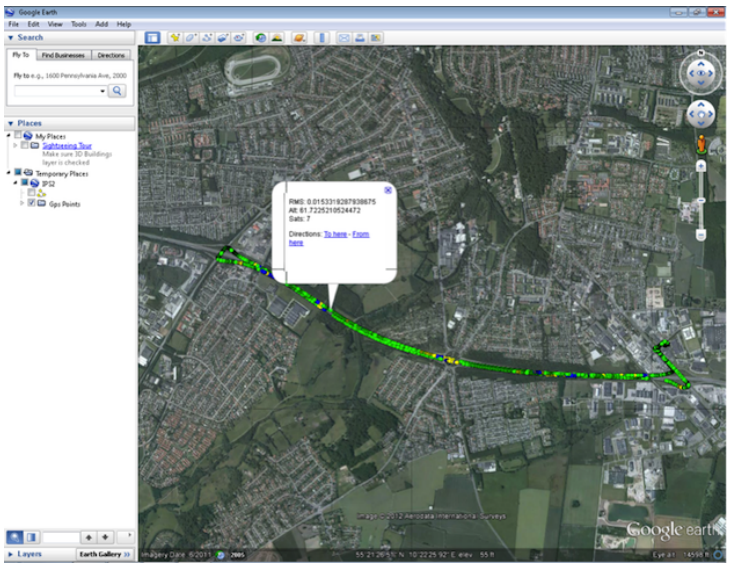
Projektet er nu klar til videre redigering og registrering.

Følgende filer er tilgængelige, og skal anvendes i det videre forløb




**Figur I.15** – Filoversigt over registreringsfiler.

Det fremgår af figur I.15, at der dannes en gps.kml positions fil, hvilket betyder, at trajectory kan vises via Google Earth.




**Figur I.16** – Illustration af trajectory vist i Google Earth.

# Spatial Factory J

Denne manual vil beskrive workflow for dataprocessering i Spatial Factory version 1.2.1. Manualen udarbejdes på baggrund af allerede eksisterende manualer i COWI til brug af Spatial Factory for Mobile Mapping data. Manualen tager udgangspunkt i de muligheder og løsningsforslag, der anvendes i dette projekt i forbindelse med dataprocessering.

## J.1 Spatial Factory

Spatial factory anvendes hovedsageligt som præsentationssoftware, idet både billeder og punktskyer kan visualiseres samtidig: God fortolkning og høj nøjagtighed. Panoramabilleder simplificerer fortolkning af objekter. Spatial Factory fletter problemfrit billeder og punktskyer, hvilket muliggør det fulde potentiale af alle datatyper. De forskellige View muligheder muliggør en intuitiv forståelse hvor der ligeledes kan optages punkt og linie objektinformationer eller måleafstande. Objektinformationer kan ligeledes eksporteres til brug i forskellige GIS miljøer. Ligeledes er der en række editerings værktøjer, der kan optimere resultatet af selve processeringen af data fra GeoClean Workstation.

***Key Features:***

- *Directly load post processed IP-S2 trajectory, panoramic images and point cloud data in a single step*
- *Intuitively navigate through 3D data sets*
- *Measure distances in 3D space*
- *Create 3D point and line objects*
- *Export objects in SHP format to GIS environments*

[12]

De efterfølgende steps vil forklare, hvordan data bearbejdes og videreformidles. Dette omfatter; Import, editering, præsentation samt eksport af data.

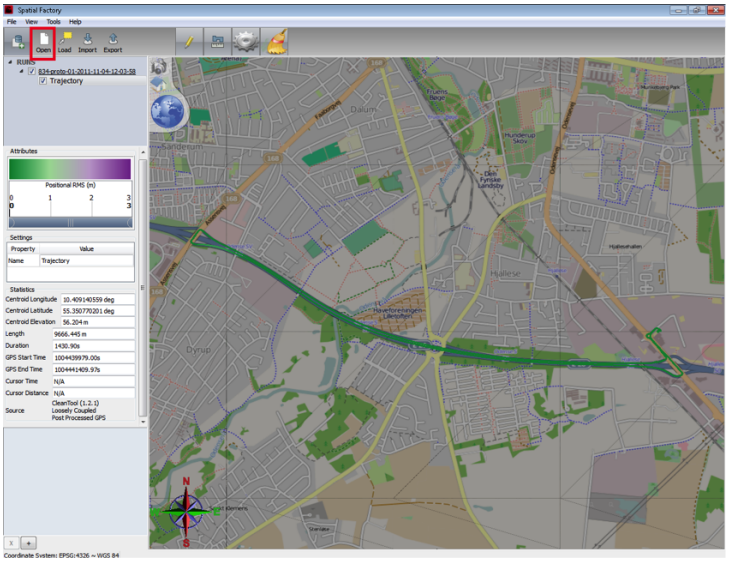
Data importeres og editeres i Spatial Factory efter følgende fremgangsmåde, hvor der indgår fem hoved steps:

1. Import File
2. Clean
3. Load data
4. View data
5. Match

### J.1.1 Step 1: Data import

1. Åben Spatial Factory
2. Gå til **File** - i menuelinien og vælg **Open**.
3. Vælg projektbibliotek **Browse To Folder** - vælg ok.

Når data er åbnet vil trajectory, for mobile mapping opmålingen, vises som en grøn trajectory linje.

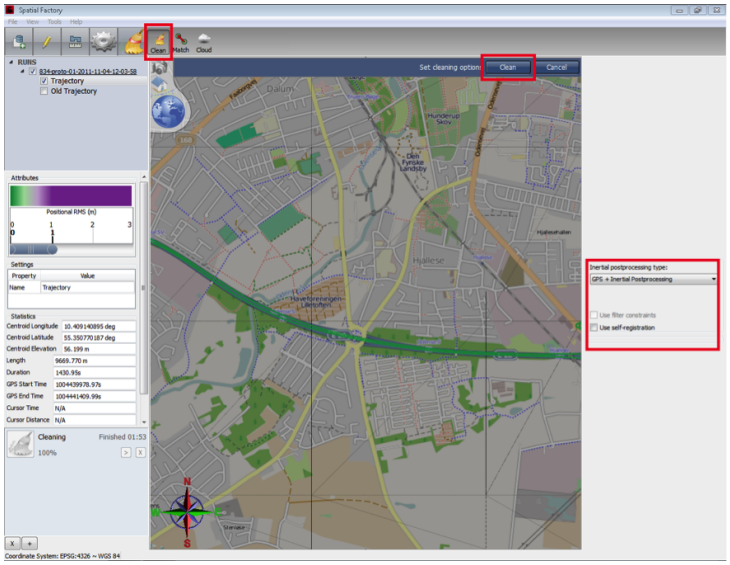


**Figur J.1** – Dataimport og visning af trajectory.

### J.1.2 Step 2: Clean data

Trajectory kan tilpasses ved funktionen **Clean**, således at der ikke er overlap eller unøjagtigheder ved overlappende punktskyer.

1. Gå til **Tools** - i menuelinien og vælg **Clean**.
2. Vælg **Select a Run to Clean** - vælg det grønne trajectory
3. Vælg **Inertial Postprocessing type** i drop-down listen til højre
    - Inertial Postprocessing Only
    - Inertial Postprocessing with Tight Coupling
    - GPS + Inertial Postprocessing



**Figur J.2** – Clean funktionen på trajectory.

4. Her vælges **GPS + Inertial Postprocessing** - mulighed for **self-registration**, vælges ikke
5. Vælg **Clean** i øverste menulinje

Clean funktionen starter herefter og forløbet kan følges løbende på skærmen eller køres i baggrunden **Run in background**, hvis dette ønskes. I venstre menu kan selve processen følges procentvis.

Efterfølgende kan både det gamle og det nyeligt beregnede trajectory ses og gøres aktivt. Ligeledes kan der i menuen til venstre ses informationer omkring kvaliteten i forhold til en visuel identifikation af RMS spredningen.

**Point Cloud Generation**
Ved at anvende funktionen **Clean** bliver der beregnet et nyt trajectory. På baggrund af det nye eller opdatererede trajectory skal punktsky og billeder genberegnes, så det er tilpasset det nye trajectory. Dette udføres efter følgende fremgangsmåde:

1. Datasæt indlæses i **GeoClean Workstation**
2. Følgende procedurer fra appendiks I køres igen:
    - **Step 3: Point Cloud Generation**
    - **Step 4: PGR Converter**
    - **Step 5: Pics Poser**

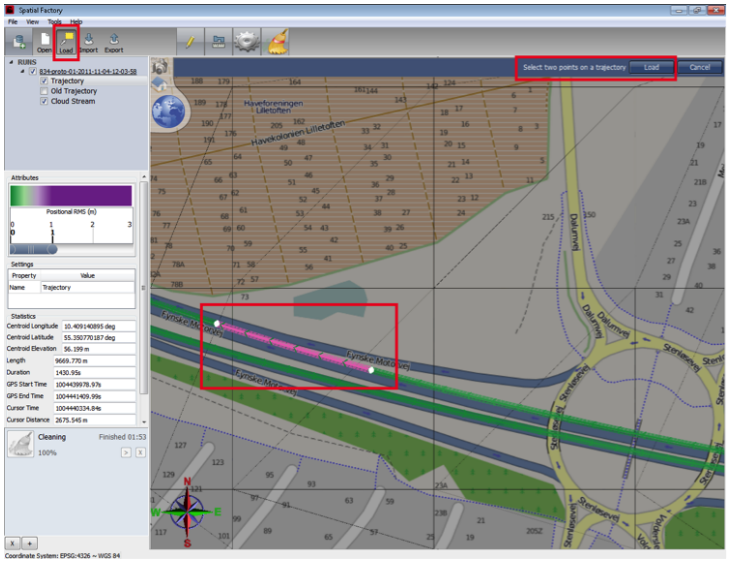
Efterfølgende genindlæses data i Spatial Factory efter proceduren fra **Step 1: Data import**.

### J.1.3 Step 3: Load data

Udgangspunktet for fremvisning af data, foregår ved at visualisere trajectory og baggrundskort, men der er yderligere datafremvisning funktioner. Dette indbefatter åbning og fremvisning af punktsky og billeder placeret på trajectory.

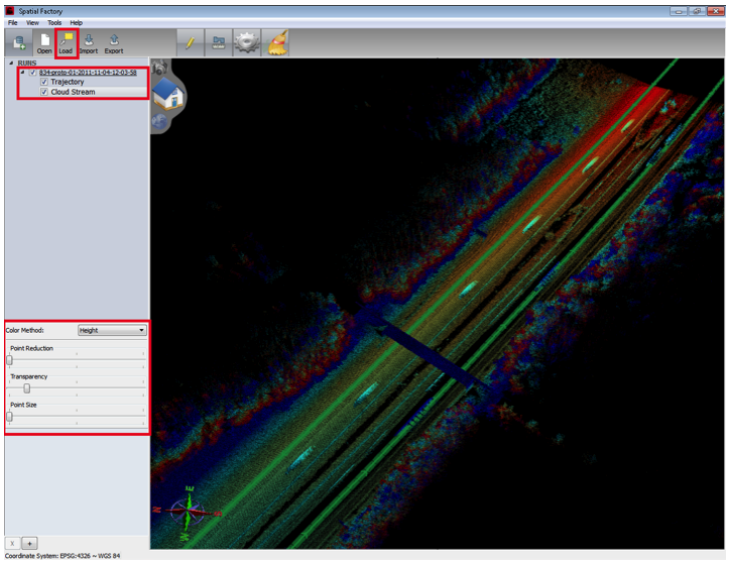
Datamængden er stor og tung - det anbefales derfor ikke at indlæse det komplette datasæt. Det anbefales, at der åbnes en mindre del ad gangen.

1. Zoom ind på et interesse område på trajectory.
2. Gå til **Tools** - i menuelinien og vælg **Load**.
3. Funktionen **Select two points on a trajectory** fremkommer.
4. Markér to punkter med musen, her indenfor ønskes der at se og åbne tilgængelig data.



**Figur J.3** – Load data - billeder og punktsky indlæses for et trajectory udsnit.

5. Herefter benyttes funktionen **Load**, for at starte indlæsningen af billeder og punktsky.



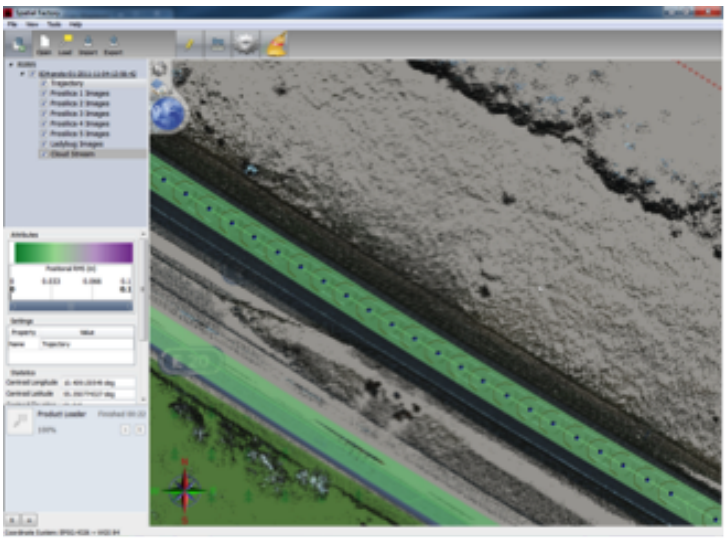
**Figur J.4** – Load data - billeder og punktsky indlæses for et trajectory udsnit.

### J.1.4 Step 4: View data

Efter indlæsning **Load data** kan trajectory, punktsky og billeder ses i Spatial Factory. Punktskyen er indlæst, og centrum for panoramabilleder er markeret på trajectory via blå punkter. Enkelte billeder er vist som enkelt linjer omkring hvert panoramabillede i forhold til optagelse retning og afstand.

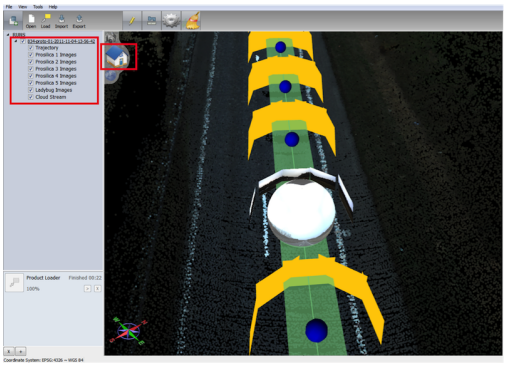
Der er tre typer af view:

- Pano Mode
- 3D Mode
- Map Mode

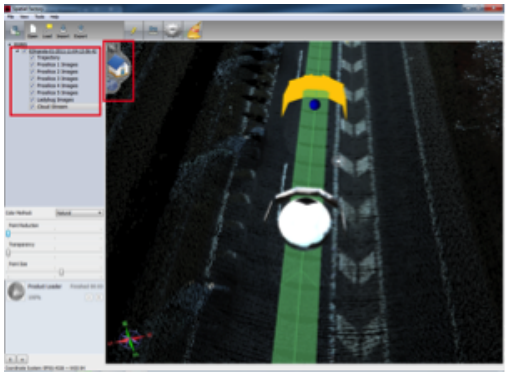


**Figur J.5** – Eksempel på Load og View data funktionen.

1. Punktskyen er indlæst og centrum af billeder er markeret som blå punkter(kugler).
2. For at gå til 3D data, **dobbeltklik** på et af de ønskede blå punkter og et 360 graders panoramabillede vil åbne.
3. Når billedet er åbnet, kan der bevæges frit indenfor det aktuelle billed.

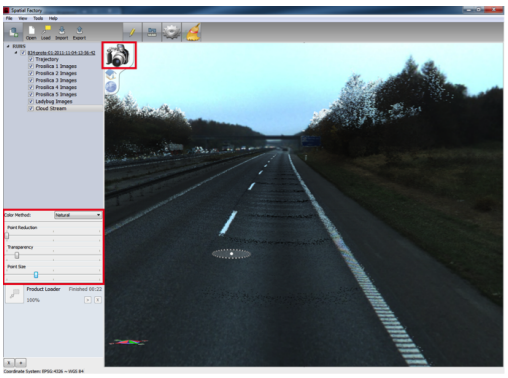


**Figur J.6** – Eksempel på View funktionen - 3D Mode.

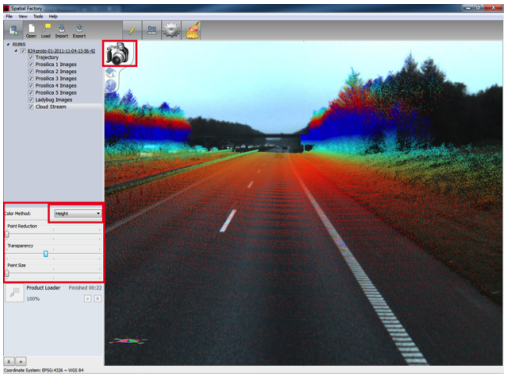


**Figur J.7** – Eksempel på View funktionen - 3D mode.

4. For at flytte frem og tilbage, anvendes enten pilene på tastaturet eller ved dobbelt klik med musen inde i data.
5. Når data er indlæst er punktskyen ikke synlig.
6. Klik på **Cloud Stream** i venstre panel - herved fremkommer et informationsvinduе vist med rødt på billedet, hvor der er forskellige indstillingsmuligheder for visualisering af punktskyen.
7. **Color Method:** drop down list:
    - Flat
    - Natural
    - IR Reflectivity
    - Height

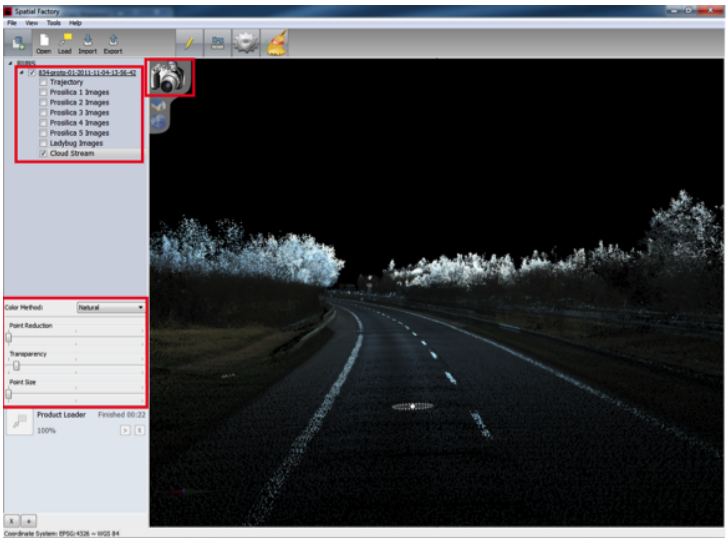


**Figur J.8** – Eksempel på View funktionen - Pano Mode, Color Method - Natural.



**Figur J.9** – Eksempel på View funktionen - Pano Mode, Color Method - Height.

8. Flyt **Tranparency** bar til højre, og se, hvordan punktskyen vil fremkomme i billedet.
9. Der kan anvedes de tre sliders indstillinger under **Cloud Stream**.
    - Point Reduction
    - Tranparency
    - Point Size
10. Hvis det ikke ønskes at se Prosilica eller Ladybug billeder, men kun en punktsky, afmarkér billedfilerne i menuen til venstre.

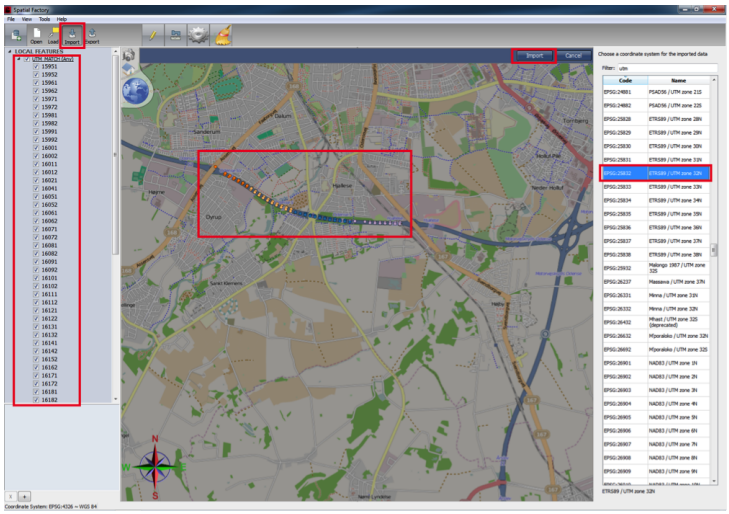


**Figur J.10** – Eksempel på View funktionen - Pano Mode, Color Method - Natural. Hvor det kun er punktskyen med RGB farver der er vist.

### J.1.5 Step 6: Match

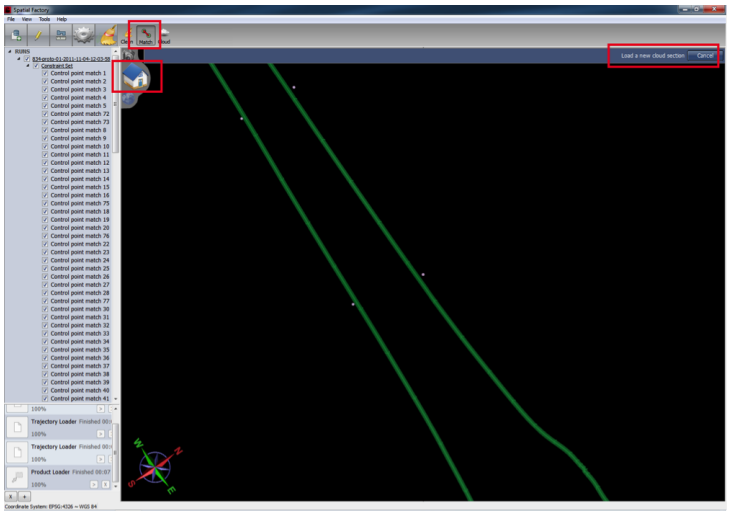
Funktionen "Match"anvendes til at transformere trajectory på plads i forhold til en række kendte punkter. Denne funktion anvendes ved at importere GCP ind i Spatial Factory. Funktionen benyttes efter funktionen "Clean"er foretaget. Det er en manuel proces at udpege transformationerne, i forhold til angivelige GCP placering i laserscanningspunktskyen.

1. Import af transformations kontrolpunkter
    - Gå til **File** - i menuelinien og vælg **Import**.
    - Vælg Import file - txt-fil med informationerne; punkt nr. og koordinater ENH(kommasepareret).
    - Vælg koordinatsystem for importerede data(højre menu) - I dette tilfælde vælges **ETRS89/UTM zone 32N**, da GCP er transformeret til dette system.
    - Herefter vælges **Import** i menulinjen i toppen
    - Herefter importeres og vises Match punkterne på kortet og fremgår ligeledes af menuen(venstre side).



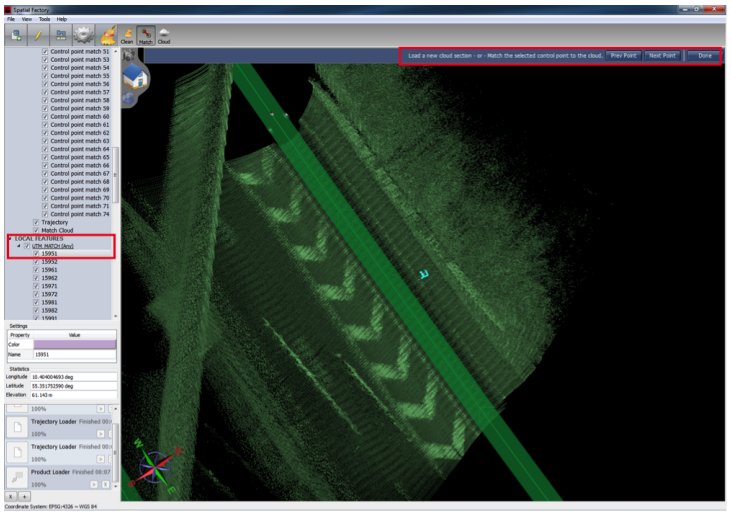
**Figur J.11** – Illustration af import af kontrolpunkter.

2. Import af trajectory efter princippet angivet i afsnit K.17
3. Match funktionen kan nu anvendes
    - Gå til **Tools** - i menuelinien og vælg **Match**.
    - Skift til **3D Mode**



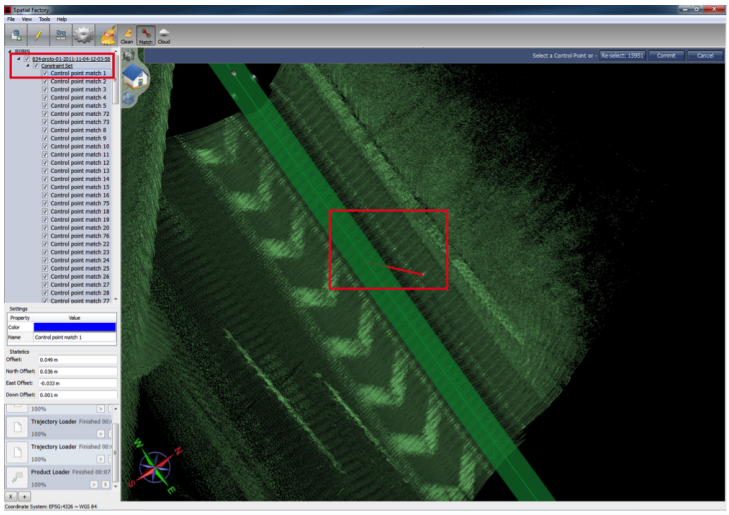
**Figur J.12** – Illustration af import af kontrolpunkter.

    - Zoom ind på trajectory og det første kontrolpunkt der ønskes transformeret.
4. Indlæs punktskyen omkring kontrolpunktet ved funktionen **Load new cloud section**
5. Første kontrolpunkts placering er markeret i punktskyen



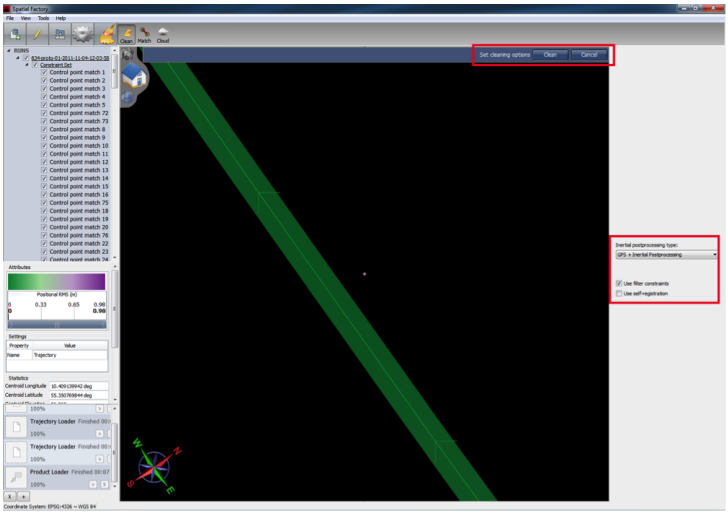
**Figur J.13** – Illustration af import af kontrolpunkter.

6. Markér i punktskyen(mus), hvor det ønskes at kontrolpunktet skal transformeres til. Der tegnes en vektor imellem kontrolpunktet og det markerede punkt i punktskyen.
7. Følgende funktioner er tilgængelige: **Load a new cloud section - or- Match the selected control point to the cloud.**
    - Prev Point
    - Next Point
    - Done



**Figur J.14** – Illustration af import af kontrolpunkter.

8. Transformer flere punkter: Vælg **Next point**
9. Indlæs ny punktskys section for det pågældende punkt.
10. Transformationsinformationerne er vist i menuen(højre side) **Constraint Set**.
11. Hvert kontrolpunkt og punkt i punktskyen udpeges manuelt til hvert kontrolpunkt.
12. Når alle kontrolpunkter er gennemløbet vælges funktionen **Done**.
13. Transformationen foregår ved at køre funktionen Clean igen.
    - Vælg **Tools** og vælg **Clean**
    - Vælg det nye trajectory **Select a Run to Clean** - markér trajectory med musen.
    - Vælg **GPS+Inertial Postprocessing** - markér **Use filter constarints**.
    - Vælg funktionen **Clean**(top menulinjen).



**Figur J.15** – Illustration af import af kontrolpunkter.

14. Nyt trajectory er nu beregnet på baggrund af transformation på baggrund af kontrolpunkterne.
15. Trajectory importeres igen til GeoClean og ny punktsky og billeder genereres på baggrund af det nye trajectory.

# TerraScan - MicroStation K

Denne manual vil beskrive workflow for kontrol og efterbehandling i TerraScan MicroStation plug-in version 3.2.0. Manualen udarbejdes på baggrund af erfaringer i COWI, samt udfra den allerede udarbejde brugermanual fra Terrasolid[Terrasolid, 2010]. Manualen tager udgangspunkt i de muligheder og løsningsforslag, der anvendes i dette projekt i forbindelse med dataprocessering og kontrol af Mobile Mapping data.

### K.0.6 TerraScan

Terrasolid TerraScan anvendes til at læse og vise laserscanningspunkter, samt blandt andet klassificere dem i brugerdefinerede punktklasser såsom; grund, vegetation og bygninger. TerraScan kan ligeleds anvendes til editering, view og kontrol af fly og mobil LiDAR data. Anvendelse af LiDAR data indeholder enorme datamængder, og stiller derved høje krav til computer og software. Ved at anvende TerraScan kan data opdeles i specificerede geografiske blokke i forhold til dataområdet. Dette betyder, at data kan håndteres via Microstation. Data opdeles i brugerdefinerede blokke, hvilket sikrer at softwaren kan håndterer de store datamængder. TerraScan kan læse lasserscanningspunktskyer i flere forskellige formater; XYZ, tekstfiler, eller binære filer som LAS.

***Key Features:***

- *Transforms points from WGS 84 to local co-ordinate systems.*
- *Adjusts the elevation of points to geoid.*
- *Views point clouds in 3D.*
- *Displays points in different colored modes: class, echo, flight line, intensity, height, point color.*
- *Manual and automated point classification routines.*
- *Manages trajectories to match points together with TerraMatch and cut overlapping point strips from different flight lines.*
- *Filters out erroneous like low and high points*
- *Creates and display by TerraModeler an editable "Shaded surface". This allows a visual validation of ground points.*
- *Thins and smoothens ground points.*
- *Exports points as raster images and grids.*
- *Projects points into profles.*

- *Displays distances between points and design objects.*
- *Drapes linear elements like street lines along the elevation of laser points.*
- *Detects power lines using least squares ftting.*
- *Outputs ground points to surface modeling by TerraModeler.*
- *Supports all generally used point formats. User can define his own ASCII formats.*
- *Generates control reports.*
- *Automatic contour production with TerraModeler*
- *Building vectorization with TerraPhoto*

[10]

De efterfølgende afsnit vil forklare, hvordan TerraScan anvendes med henblik på at opsætte et projekt, importere og konvertere data samt udarbejdelse af en kontrolrapport.

Data efterprocesseres og kontrolleres efterfølgende i TerraScan plugin i MicroStation, hvor der indgår følgende hovedsteps:

1. Starting TerraScan
2. Setting the Project Directory
3. Data Import
4. View Data
5. Control Report

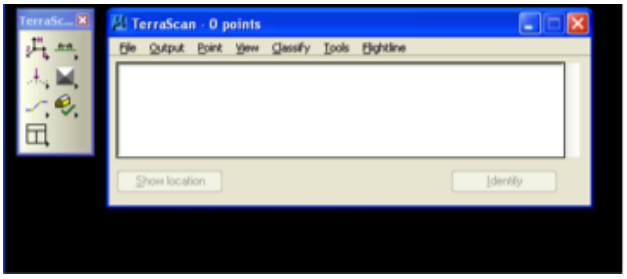
### K.0.7 Starting TerraScan

TerraScan kører som et plug-in i Microstation som en **MDL Applications**

1. Fra **Utilities** menu vælges **MDL Applications - TSCAN**
2. Fra **Available Applications** vælges **TSCAN**
3. Klik på **Load**

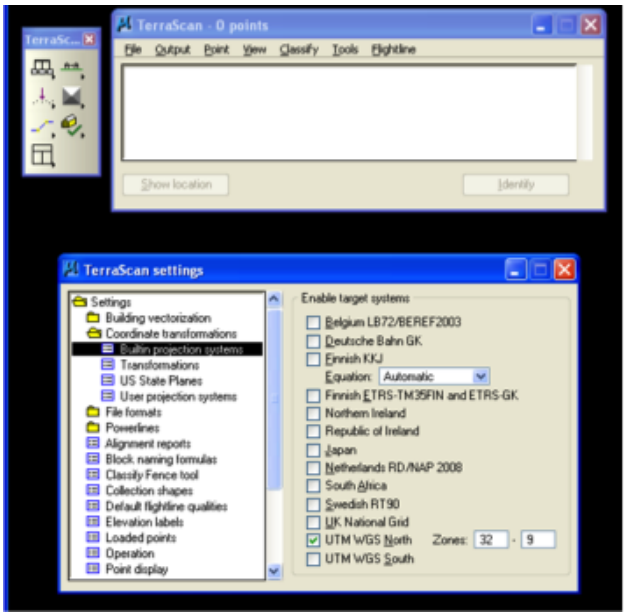
### K.0.8 Setting the Project Directory

Brugerindstillinger afgør, hvilke menuer og **toolbox** programmer, der vil åbne under opstarten. Ud over at åbne **Main værktøjskasse**, kan TerraScan tilføje programmenuener til MicroStations menuer.



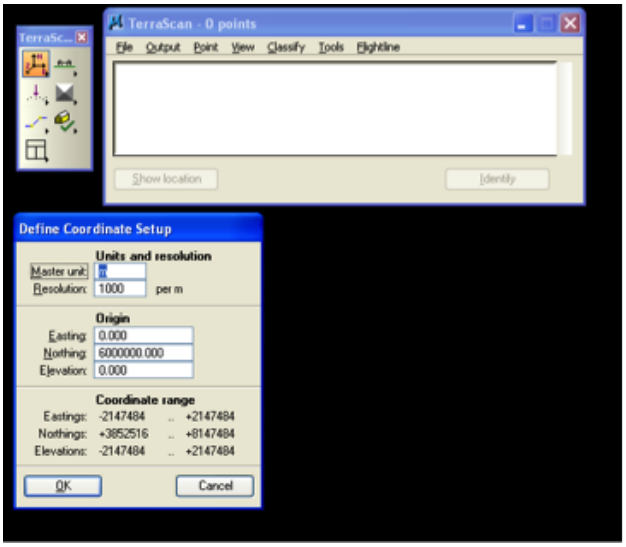

**Figur K.1** – Menuer ved opstart af TerraScan.

1. Definér projektion koordinatsystem
   - Gå til **Toolbox** og vælg **Setting**, Menuen **TerraScan Settings** åbner.
   - Vælg folderen **Coordinate transformations** og vælg **Bultin projection systems**.



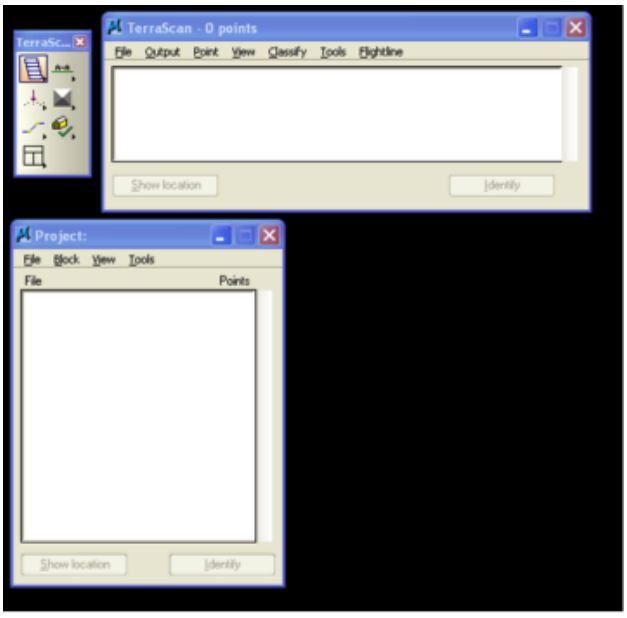

**Figur K.2** – Opsætning af projektion.

2. Definér setup af koordinatsystem
    - Gå til **Toolbox** og vælg **Define Coordinate Setup**.



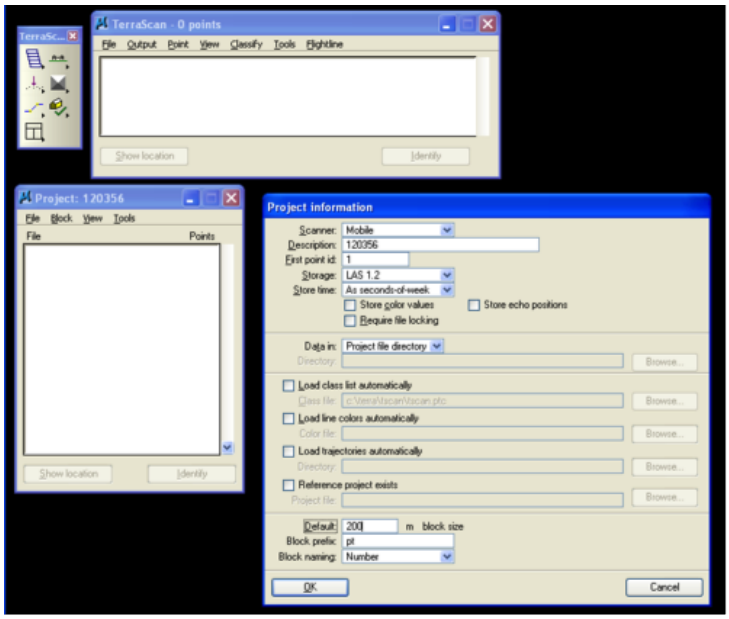

**Figur K.3** – Opsætning af koordinatsystem.

3. Definer projekbiblioteket
    - Gå til **Toolbox** og vælg **Define Project**.
    - Vinduet **Project** åbner, hvor selve opsætningen af projektet foregår.




**Figur K.4** – Opsætning af projekt.

4. Definér et nyt projekt
    - Gå til menuen **File** og vælg **New project**.
    - Vinduet **Project information** åbner.
        - Her defineres type af scannerenhed: **Mobile**.
        - Beskrivelse af projektnavn - Kørselsnr.
        - Fortløbende Punkt id.
        - Type af LAS fil: **1.2.**.
        - Block size: **200** (200x200 meter).
    - For at gemme projektet med disse opsætninger vælges **OK**.
    - Gå til menuen **File** og vælg **Save project As...**.
    - Projektet bliver ikke aktivt, før det er gemt.

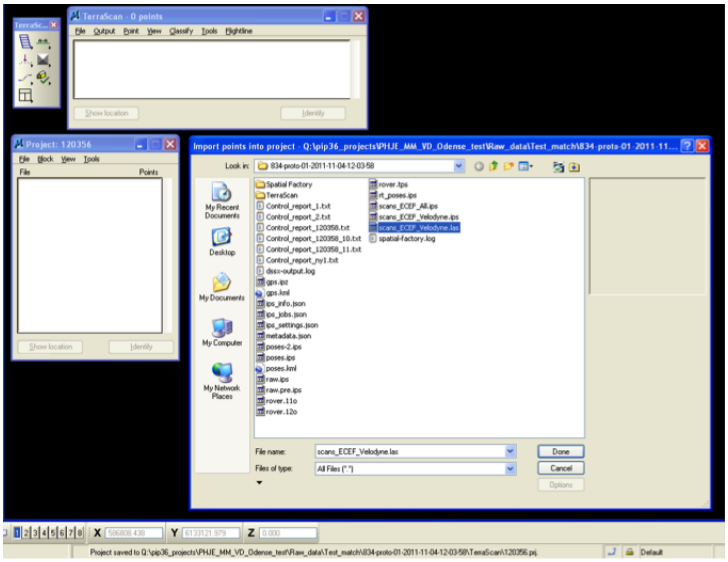



**Figur K.5** – Opsætning af projectinformationer.

### K.0.9 Data Import

Her importeres LAS-filer oprettet i GeoClean indeholdende laserscanningspunktskyen.

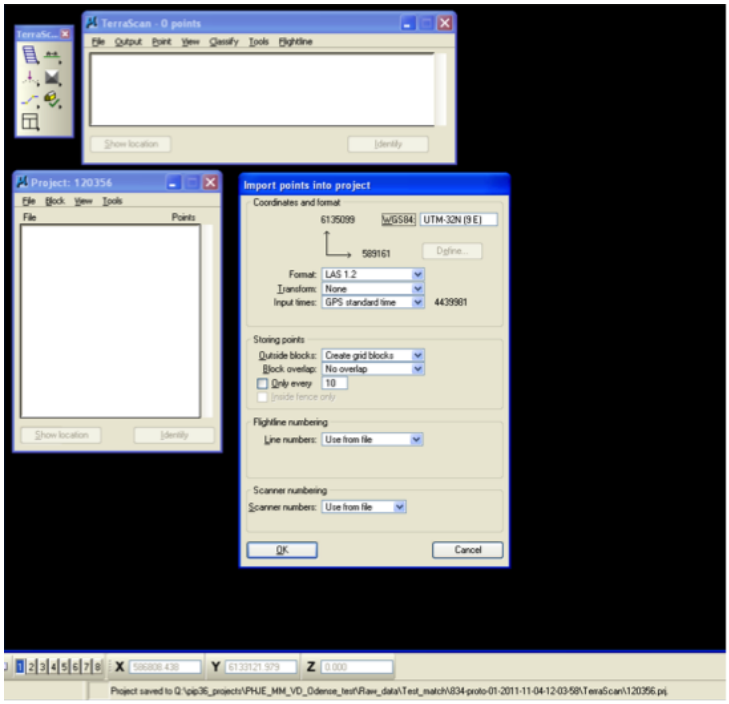
1. Importering af punkter
    - Importering af punkter sker fra vinduet **Project**.
    - Gå til menuen **File** og vælg **Import points into project**.
    - Gå til projektbiblioteket, hvor LAS filerne fra GeoClean er gemt.
    - Vælg LAS filen **scans_ECEF_velodyne.las**.
    - Import af LAS filen tryk **Done**.



**Figur K.6** – Opsætning for import af LAS-fil.

- Vinduet **Import points into project** åbner inden importering.
- Her vælges koordinatsystem og format.
    - Koordinatsystem: **WGS84 UT-32N (9 E)**.
    - Formatet står standard til **LAS 1.2**.
    - LAS fil importers ted at trykke **OK**.

Koordinatsystemet vælges i forhold til den geografiske placering for projektet, hvilket betyder, at TerraScan transformerer punktskyen til dette system ved importering og oprettelse af projektet. Formatet er standard og kendt fra GeoClean.

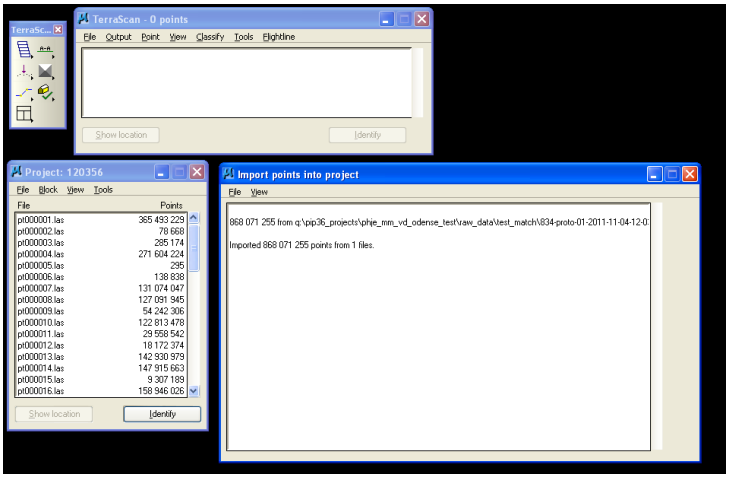



**Figur K.7** – Importering af LAS-fil.

Importering af LAS-filer er meget tidskrævendeafhængigt af punktskyen størrelse.

2. Importering af LAS-fil fuldført
   - Vinduet **Import points into project** åbner.
   - Indeholder informationer om antal importerede punkter og filtype.
   - Vinduet **Import points into project** lukkes efterfølgende ned.
   - Vinduet **Project:** indeholder nu den importerede LAS-fil.
   - LAS-filerne er nu opdelt i enkelte LAS-filer efter blok størrelse(200x200 meter).
   - Indeholder en beskrivelse af antal blokke(filer) og antal af punkter(Points) i hver fil.

   Definitionen på størrelsen af blokke afhænger af antallet af punkter og tilgængelige RAM, der anvendes ved indlæsning af punktskyen. Disse indstillinger er anbefalet af COWI, dette på baggrund af deres erfaringer og kendskab til størrelsen af indholdet i punktskyen.



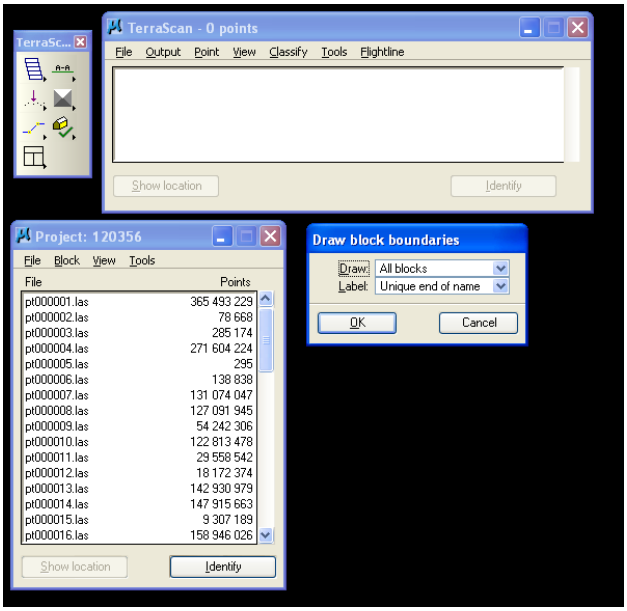

**Figur K.8** – Resultat af import af LAS-fil.

### K.0.10 View Data

Data er nu importeret og klar til visning og editering.

1. Visualisering af blokke
   - Gå til vinduet **Project:** og tryk på menuen **Block** vælg **Draw boundaries...**.
   - Vinduet **Draw block boundaries** åbner.
   - Her kan der vælges, hvilke blokke der skal udtegnes, og hvilken label de skal have.

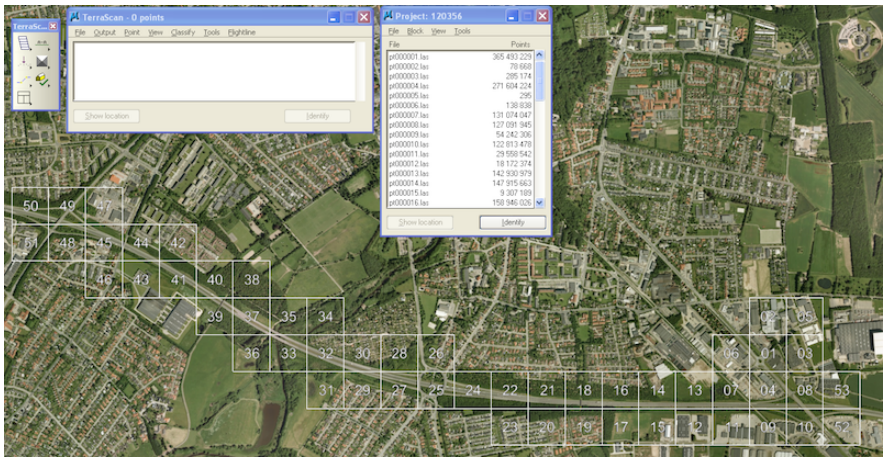
   Det er vigtigt at gemme projektet efter udtegning af blokke ellers forsvinder de. Det er en god idé at gemme en Microstation fil, for hvert projekt, hvis der ønskes at åbne projektet igen.




**Figur K.9** – Udtegning af LAS-fil blokke.

2. Udtegning af blokke
   - Hver LAS-fil blok udtegnes indeholdende ID nr., der referer til listen fra **Project:**.
   - Der kan indlæses et baggrundskort, således det kan kontrolleres, at blokkene er udtegnet det korrekte sted.

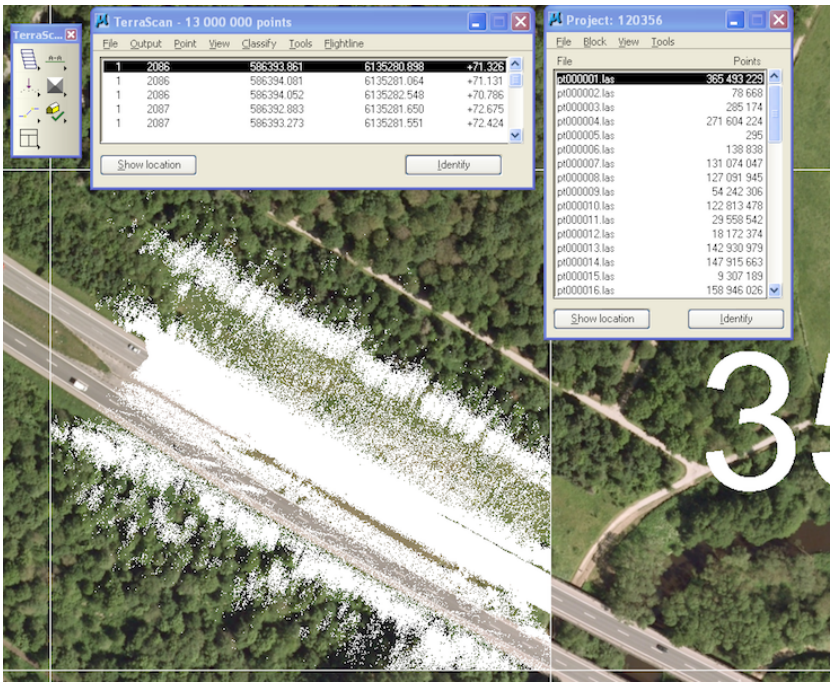
   Signaturer og størrelse på blok ID, editeres i MicroStation. Der kræves adgang til VMS eller lignende tjenester, for at indlæse baggrundskort.



**Figur K.10** – Udtegning af LAS-fil blokke med ID og ortofoto som baggrundskort. [Kort fra COWI 2010]

3. Visualisering af punktsky
    - Punktskyen kan indlæses på blok niveau.
    - Marker den blok, der ønskes indlæst.
    - Gå til **TerraScan** vinduet og vælg **File**.
    - Vælg **Open inside fence**.
    - Punktskyen indlæses og visualiseres.
    - **TerraScan** vinduer viser antallet af indlæste filer og punkter.

Grænsen for hvor mange punkter der kan indlæses, afhænger af antallet af RAM, der er tilgængelig.

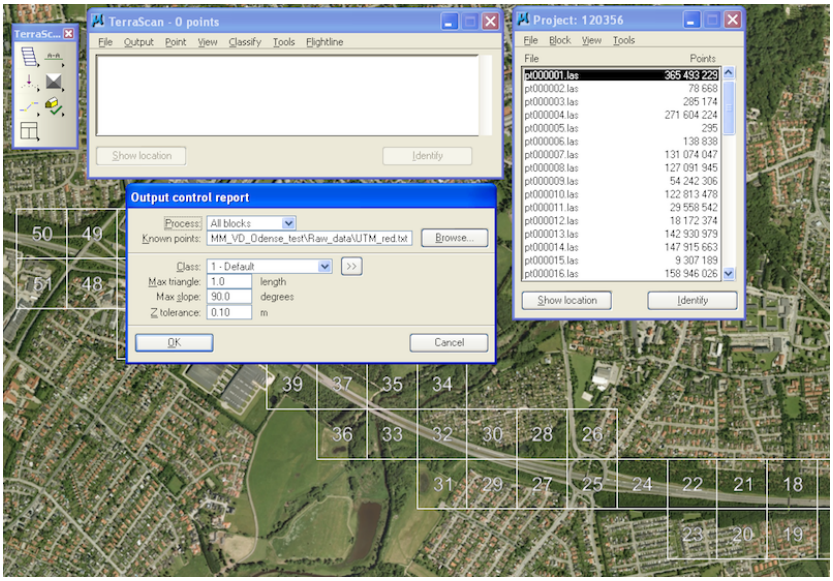



**Figur K.11** – Indlæsning af punktsky på en blok. [Kort fra COWI 2010]

### K.0.11 Control Report

Kontrol af punktskyen på baggrund af kendte kontrolpunkter udføres ved hjælp af Control Report. Der genereres en TIN-model på baggrund af punktskyen ved hjælp af kendte koordinater til (GCP) . Der beregnes herved en afvigelse dz.

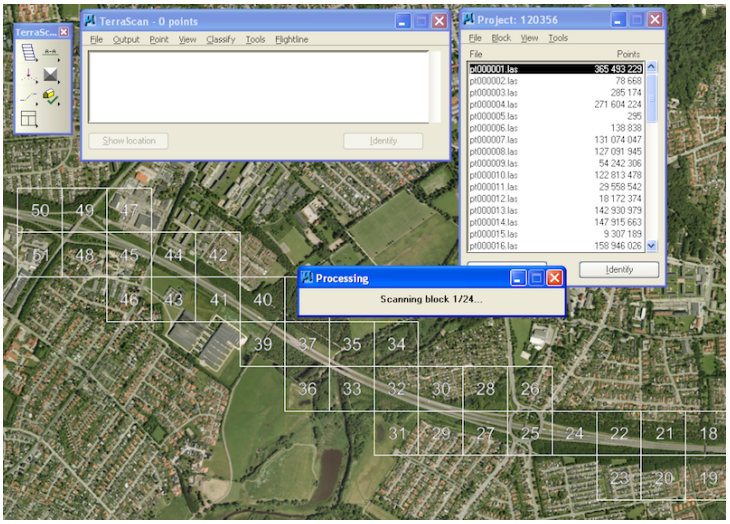
1. Kontrolrapporten udføres ved **Output control report...**.
    - Gå til **Project:** vinduet og vælg **Tools**.
    - Vælg **Output control report...**.
    - Vinduet **Output control report** åbner.




**Figur K.12** – Indstillinger for kontrolrapporten. [Kort fra COWI 2010]

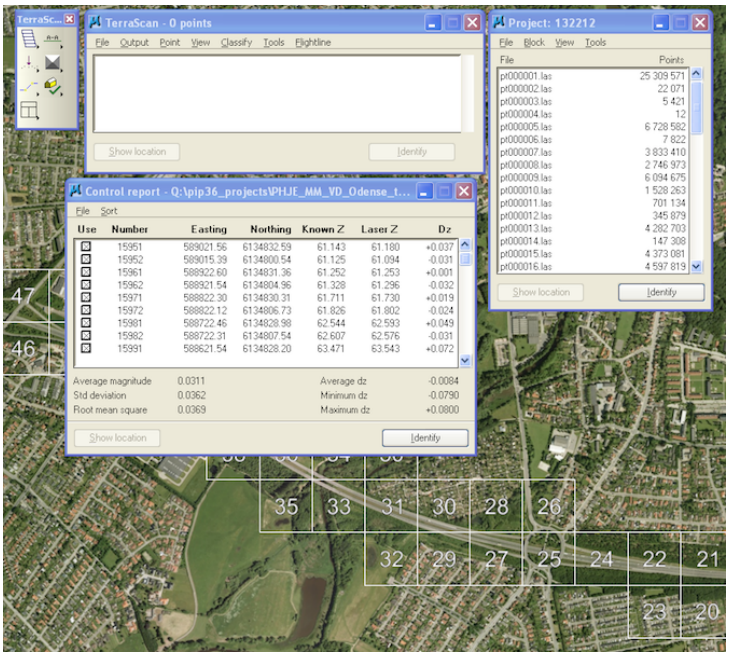
2. Output control report
   - Her vælges følgende indstillinger:
     - Process: **All blocks**
     - Know Points: **Browse** - Vælg koordinatfil - (WGS84 UTM32 - spacesepareret (pkt. id X Y Z)).
     - Class: **1-Default** - Punktskyen er ikke klassificeret.
     - Max triangle: **1.0** lenght. - Der søges kun i TIN-modellen, hvis ikke trekantsiderne overstiger dennne grænse.
     - Max slope: **90.0** degrees. - Beregner ingen dz, hvis forskellen mellem punktsky og GCP overstiger denne vinkel. Den kendte Z-koordinat overføres direkte til resultatet af kontrolrapporten.
     - Z tolerance: **0.10** m. - Gør opmærksom på hvis der er afvigelser, der overstiger denne grænse i kontrolrapporten.
   - Kontrolrapporten udføres ved at trykke **OK**.

   Disse indstillinger er anbefalet af COWI på baggrund af deres erfaringer. Hvis der ønskesyderligere indsigt til betegnelserne henvises til[Terrasolid, 2010]. Kontrollen udføres på de blokke, der indeholder kontrolpunkter på baggrund af informationer fra koordinatfilen. Til transformation af kontrolpunkterne anvendes KMSTrans.




**Figur K.13** – Udførelse af kontrolrapporten på baggrund af LAS-fil blokke på baggrund af kontrolpunkter. [Kort fra COWI 2010]

3. Resultat af kontrolrapport
   - Vinduet **Control report** åbner.

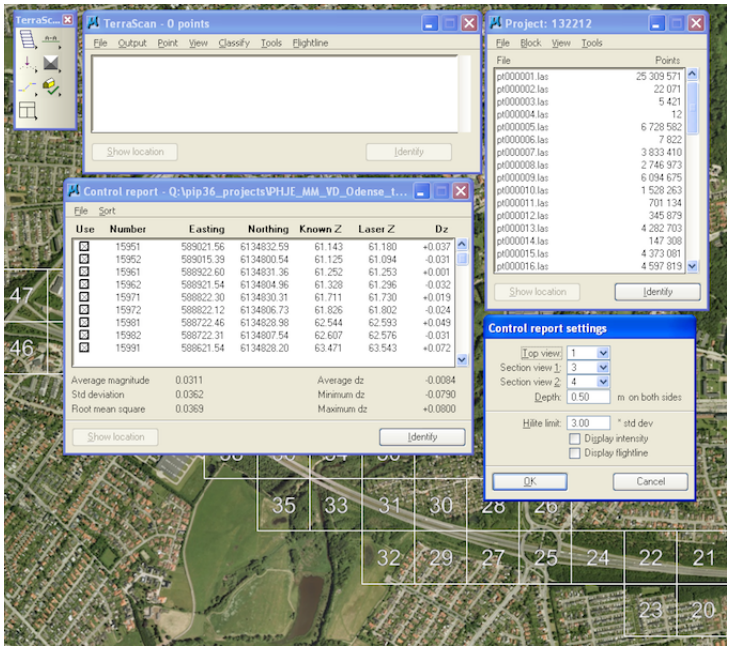



**Figur K.14** – Resultatvindue af kontrolrapporten. [Kort fra COWI 2010]

Kontrolrapporten viser de opnåede resultater i form af dz afvigelser, samt beregninger af samlede afvigelser, som det fremgår af listen med afvigelser. Her

beregnes følgende: Min- og maksimumsafvigelser, std. afvigelse, RMS afvigelse og middelspredning.

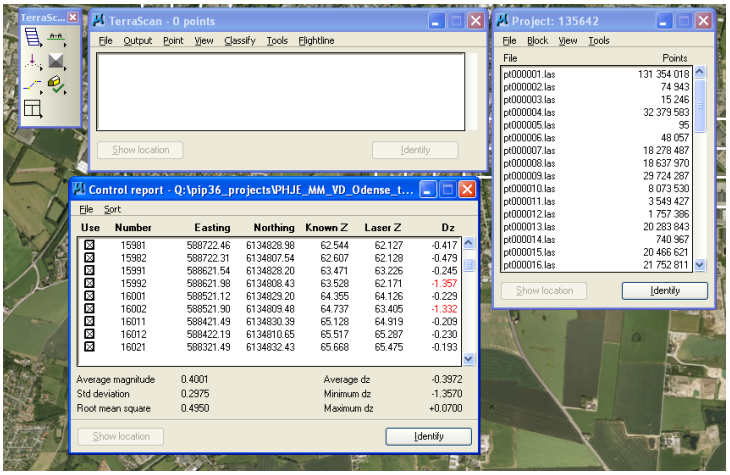
4. Indstillinger for Control report
   - Gå til **Control report** vinduet og i hovedmenuen vælges **File**.
   - Vælg **Settings** og vinduet **Control report settings** åbner.




**Figur K.15** – Indstillinger for kontrolrapporten. [Kort fra COWI 2010]

   - Her vælges indstillinger for, hvordan kontrolrapporten skal stilles op og hvilket indhold, der skal med.
   - Her kan vælges, hvornår std. deviation skal markeres i kontrolrapporten
   - Indstilles under: **Hilite limit: 3.00** * std. dev.

Derudover kan der medtages udtryk for intensitet og kørselslinjer.

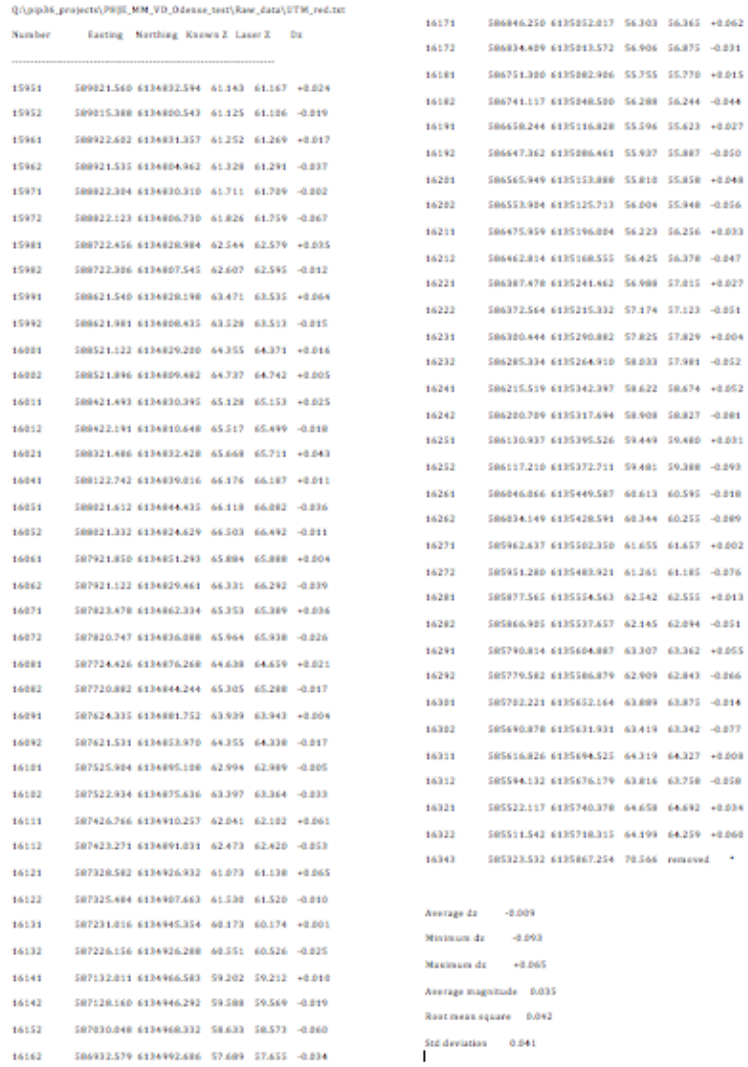



**Figur K.16** – Eksempel på observation der overstiger maks. afvigelsen. [Kort fra COWI 2010]

Denne indstilling betyder, at der markeres(med rødt) i kontrolrapporten, hvis der er en dz afvigelse, der overstiger 3*std. deviation. Dette betyder, at observationen udtages af datasættet og der beregnes automatisk en ny kontrolrapport.

5. Save Control report
   - Gå til **Control report** vinduet og i hovedmenuen vælges **File**.
   - Vælg **Save as text...** og vælg bibliotek for **Save as text file** og tryk **Save**.

   Kontrolrapporten ligger nu som et tekstdokument, og kan herefter anvendes til videre analyse og behandling. Fordelen er, at der er beregnet de nødvendige parametre for afvigelser osv. Eksempler kan ses af appendiks A - Kontrolrapporter.



Q:\pip36_projects\PRJE_MM_VD_Odense_test\Raw_data\UTM_red.txt

| Number | Easting | Northing | Known Z | Laser Z | Dz |
|---|---|---|---|---|---|
| 15951 | 589821.560 | 6134832.594 | 61.143 | 61.167 | +0.024 |
| 15952 | 589815.388 | 6134800.543 | 61.125 | 61.106 | -0.019 |
| 15961 | 589922.682 | 6134831.357 | 61.252 | 61.269 | +0.017 |
| 15962 | 589921.535 | 6134804.962 | 61.328 | 61.291 | -0.037 |
| 15971 | 589822.384 | 6134830.310 | 61.711 | 61.709 | -0.002 |
| 15972 | 589822.123 | 6134806.730 | 61.826 | 61.759 | -0.067 |
| 15981 | 589722.456 | 6134828.984 | 62.544 | 62.579 | +0.035 |
| 15982 | 589722.386 | 6134807.545 | 62.607 | 62.595 | -0.012 |
| 15991 | 589621.540 | 6134828.198 | 63.471 | 63.535 | +0.064 |
| 15992 | 589621.981 | 6134808.435 | 63.528 | 63.513 | -0.015 |
| 16001 | 589521.122 | 6134829.280 | 64.355 | 64.371 | +0.016 |
| 16002 | 589521.896 | 6134809.482 | 64.737 | 64.742 | +0.005 |
| 16011 | 589421.493 | 6134830.395 | 65.128 | 65.153 | +0.025 |
| 16012 | 589422.191 | 6134810.648 | 65.517 | 65.499 | -0.018 |
| 16021 | 589321.486 | 6134832.428 | 65.668 | 65.711 | +0.043 |
| 16041 | 589122.742 | 6134839.816 | 66.176 | 66.187 | +0.011 |
| 16051 | 589021.612 | 6134844.435 | 66.118 | 66.082 | -0.036 |
| 16052 | 589021.332 | 6134824.629 | 66.503 | 66.492 | -0.011 |
| 16061 | 587921.850 | 6134851.293 | 65.884 | 65.888 | +0.004 |
| 16062 | 587921.122 | 6134829.461 | 66.331 | 66.292 | -0.039 |
| 16071 | 587823.478 | 6134862.334 | 65.353 | 65.389 | +0.036 |
| 16072 | 587820.747 | 6134836.088 | 65.964 | 65.938 | -0.026 |
| 16081 | 587724.426 | 6134876.268 | 64.638 | 64.659 | +0.021 |
| 16082 | 587720.882 | 6134844.244 | 65.305 | 65.288 | -0.017 |
| 16091 | 587624.335 | 6134881.752 | 63.939 | 63.943 | +0.004 |
| 16092 | 587621.531 | 6134853.970 | 64.355 | 64.338 | -0.017 |
| 16101 | 587525.984 | 6134895.188 | 62.994 | 62.989 | -0.005 |
| 16102 | 587522.934 | 6134875.636 | 63.397 | 63.364 | -0.033 |
| 16111 | 587426.766 | 6134910.257 | 62.041 | 62.102 | +0.061 |
| 16112 | 587423.271 | 6134891.031 | 62.473 | 62.420 | -0.053 |
| 16121 | 587328.582 | 6134926.932 | 61.073 | 61.138 | +0.065 |
| 16122 | 587325.484 | 6134907.663 | 61.538 | 61.528 | -0.010 |
| 16131 | 587231.016 | 6134945.354 | 60.173 | 60.174 | +0.001 |
| 16132 | 587226.156 | 6134926.288 | 60.551 | 60.526 | -0.025 |
| 16141 | 587132.011 | 6134966.583 | 59.202 | 59.212 | +0.010 |
| 16142 | 587128.160 | 6134946.292 | 59.588 | 59.569 | -0.019 |
| 16152 | 587030.048 | 6134968.332 | 58.633 | 58.573 | -0.060 |
| 16162 | 586932.579 | 6134992.686 | 57.689 | 57.655 | -0.034 |
| 16171 | 586846.250 | 6135052.017 | 56.303 | 56.365 | +0.062 |
| 16172 | 586834.489 | 6135013.572 | 56.906 | 56.875 | -0.031 |
| 16181 | 586751.380 | 6135082.986 | 55.755 | 55.770 | +0.015 |
| 16182 | 586741.117 | 6135048.580 | 56.288 | 56.244 | -0.044 |
| 16191 | 586658.244 | 6135116.828 | 55.596 | 55.623 | +0.027 |
| 16192 | 586647.362 | 6135086.461 | 55.937 | 55.887 | -0.050 |
| 16201 | 586565.949 | 6135153.888 | 55.810 | 55.858 | +0.048 |
| 16202 | 586553.984 | 6135125.713 | 56.004 | 55.948 | -0.056 |
| 16211 | 586475.959 | 6135196.084 | 56.223 | 56.256 | +0.033 |
| 16212 | 586462.854 | 6135168.555 | 56.425 | 56.378 | -0.047 |
| 16221 | 586387.478 | 6135241.462 | 56.988 | 57.015 | +0.027 |
| 16222 | 586372.564 | 6135215.332 | 57.174 | 57.123 | -0.051 |
| 16231 | 586300.444 | 6135290.882 | 57.825 | 57.829 | +0.004 |
| 16232 | 586285.334 | 6135264.910 | 58.033 | 57.981 | -0.052 |
| 16241 | 586215.519 | 6135342.397 | 58.622 | 58.674 | +0.052 |
| 16242 | 586200.709 | 6135317.694 | 58.908 | 58.827 | -0.081 |
| 16251 | 586130.937 | 6135395.526 | 59.449 | 59.480 | +0.031 |
| 16252 | 586117.210 | 6135372.751 | 59.481 | 59.388 | -0.093 |
| 16261 | 586046.066 | 6135449.587 | 60.613 | 60.595 | -0.018 |
| 16262 | 586034.149 | 6135428.591 | 60.344 | 60.255 | -0.089 |
| 16271 | 585962.637 | 6135502.350 | 61.655 | 61.657 | +0.002 |
| 16272 | 585951.280 | 6135483.921 | 61.261 | 61.185 | -0.076 |
| 16281 | 585877.565 | 6135554.563 | 62.542 | 62.555 | +0.013 |
| 16282 | 585866.985 | 6135537.657 | 62.145 | 62.094 | -0.051 |
| 16291 | 585790.854 | 6135604.887 | 63.307 | 63.362 | +0.055 |
| 16292 | 585779.582 | 6135586.879 | 62.909 | 62.843 | -0.066 |
| 16301 | 585702.221 | 6135652.164 | 63.889 | 63.875 | -0.014 |
| 16302 | 585690.878 | 6135631.931 | 63.419 | 63.342 | -0.077 |
| 16311 | 585616.826 | 6135694.525 | 64.319 | 64.327 | +0.008 |
| 16312 | 585594.132 | 6135676.179 | 63.816 | 63.758 | -0.058 |
| 16321 | 585522.117 | 6135740.378 | 64.658 | 64.692 | +0.034 |
| 16322 | 585511.542 | 6135718.315 | 64.199 | 64.259 | +0.060 |
| 16343 | 585323.532 | 6135867.254 | 70.566 | removed | * |

Average dz -0.009

Minimum dz -0.093

Maximum dz +0.065

Average magnitude 0.035

Root mean square 0.042

Std deviation 0.041

**Figur K.17** – Eksempel på kontrolrapport inklusiv beregnede afvigelser.