

- Integration af linie laserskanner på DyRoS

Mobil Kortlægning



*Afgangsprojekt
Landinspektørstudiet 2005
Aalborg Universitet
Gruppe 2*

Aalborg Universitet

Institut for samfundsudvikling og planlægning

Landinspektøruddannelsens 10. semester

Fibigerstræde 11

9220 Aalborg Øst



Titel: Mobil kortlægning – Integration af linie laserskanner på DyRoS

Tema: Teknisk Måling

Emne: Mobil kortlægningsteknologi

Projektperiode:

Februar 2005 - juni 2005

Hovedvejleder: Joachim Höhle

Bivejleder: Jens Juhl

Projektgruppe: 05TM1002

Gruppemedlemmer

Morten Pugholm Rasmussen

Lau Valentin Pedersen

Sideantal: 129

Bilagsantal: 8

Oplagstal: 10

Trykt af Vejdirektoratet

Afleveringsdato: 09. juni, 2005

Morten Pugholm Rasmussen

Lau Valentin Pedersen

Synopsis:

Gennem dette afgangsprøve ved landinspektørstudiet undersøges hvordan en linie laserskanner fra SICK kan integreres på DyRoS bilen fra Vejdirektoratet.

Indledningsvis opstilles tre scenarier for hvordan mobil kortlægning kan anvendes hos Vejdirektoratet. Et af scenarierne vælges som udgangspunkt for udviklingen af en prototype på et MKS. Det vurderes gennem foranalysen at et bilbaseret MKS, i form af DyRoS bilen, der anvender en linie laserskanner til opmålingen egner sig bedst til dette MKS.

På den baggrund gennemføres en sammenligning af egnede laserskannere til MKSet. Til projektarbejdet er stillet en laserskanner fra SICK til rådighed, og det er derfor denne skanner, der integreres på DyRoS bilen.

Inden arbejdet med integration og systemkalibrering på DyRoS, gennemføres nogle test af laserskanneren. Den testes for præcision og nøjagtighed i målingerne samt for footprintets størrelse.

Herefter integreres laserskanneren på DyRoS bilen og systemkalibreringen gennemføres efter en metode kaldet "direkte måling". Dette er en fysisk/mekanisk fastlæggelse af parametrene i kalibreringen.

Til slut gennemføres tre test af MKSet i et testfelt etableret til formålet. Testene vurderes gennem overflade- og rasteranalyser i ArcGIS.

Abstract:

This master thesis investigates how the integration of a SICK line laser scanner on the DyRoS from the Danish Road Directorate can be done.

Initially three scenarios of how mobile mapping can be used at the Danish Road Directorate, is presented. One of these scenarios is chosen as the basis in the development of a prototype of a MMS. It is estimated that a car based MMS, the DyRoS, which uses a line laser scanner, is the best solution for this task.

A comparison of laser scanners fit for this task is made. In this project a SICK laser scanner is available, and therefore this laser scanner is the one integrated on the DyRoS car.

Before the integration and calibration of the MMS, a few tests of the laser scanner are made. The laser scanner is tested for precision, accuracy and the size of the footprint.

After the tests, the laser scanner is integrated on the DyRoS and the boresight calibration is made. The boresight calibration is done by a method called "direct measurement" which is a physical/mechanical measurement of the parameters of the calibration.

In the end of the project three tests of the MMS is made in a testfield specially made for this purpose. The tests are evaluated through surface and raster analysis in ArcGIS.

Forord

Denne projektrapport udgør afrapporteringen af et projektarbejde ved Landinspektørstudiets 10. semester under temaet: Teknisk måling. Der arbejdes i projektet indenfor emnet mobil kortlægning, med fokus på integration af en linie laserskanner på DyRoS bilen. DyRoS står for ”*Dynamic Road Surveying*”. Projektarbejdet er udarbejdet inden for rammerne af den studieordning, der er udarbejdet til semestret og denne projektrapport afleveres derfor som grundlag for eksaminationen på semestret.

Projektgruppen vil gerne rette en særlig stor tak til Vejdirektoratet, landmålingsafdelingen for et godt og givtigt samarbejde. Specielt landinspektører Torben Weinkouff Rasmussen, Lars Busk Jensen samt Henrik Vad Jensen for at svare på spørgsmål om Vejdirektoratet og DyRoS bilen, udlån af DyRoS bilen og andet måleudstyr samt trykning af denne rapport. Ligeledes vil vi gerne rette en stor tak til ingeniør Kent del Pino, Smalltouch for at svare på spørgsmål angående DyRoS bilen, samt til software udvikler og direktør Lammert Bies for at lave et program på hans hjemmeside til at udregne CRS checksum.

Læsevejledning

Til alle kapitlerne er der udarbejdet en kapitelforside, med en oversigt over projektstrukturen, samt en kort beskrivelse af indholdet.

Engelske udtryk, der umiddelbart ikke lader sig oversætte til dansk, eller hvor der ikke er defineret en dansk tilsvarende terminologi, er ikke oversat. De engelske udtryk markeres i teksten første gang med citationstegn. En forklaring af fagspecifik terminologi findes i ordlisten i bilag A, der er udformet som et selvstændigt hæfte. Ord vi selv har defineret findes i blå bokse ligesom generelle informationer. Citater er anført med kursiv skrift med citationstegn.

Kildehenvisninger er angivet således: [Efternavn, årstal], hvilket refererer til litteraturlisten, som er placeret bagerst i rapporten, i kapitel 10. Der findes desuden kilder i litteraturlisten, der ikke direkte refereres til, da kilderne kun har været brugt som sekundær litteratur i forhold til projektet. Figurer og tabeller er nummeret forløbende i hvert kapitel. På bagsiden af rapporten findes en cd-rom med blandt andet denne rapport, alle bilag og andet relevant materiale, bilagene er dog også skrevet ud og findes i den vedlagte bilagsmappe.

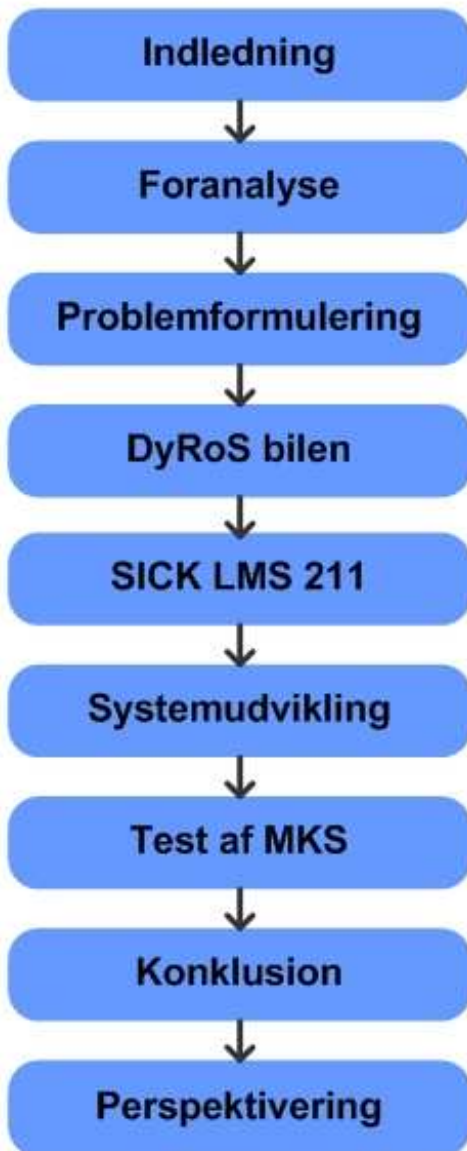
INDHOLDSFORTEGNELSE

1 - INDLEDNING	13
1.1 - ANVENDTE METODER	15
METODE TIL PROJEKTARBEJDET	15
METODE TIL UDVIKLING AF SYSTEM	17
UDVÆLGELSE AF METODE TIL UDVIKLING AF SYSTEM	20
OPSAMLING	21
1.2 - PROJEKTSTRUKTUR	22
2 - FORANALYSE	23
2.1 - INDLEDENDE PROBLEMSTILLING	24
VISION FOR LANDMÅLINGSAFDELINGEN	24
TRE SCENARIER	26
UDVÆLGELSE AF SCENARIO	28
2.2 - PRINCIPPER I MOBIL KORTLÆGNING	28
GRUNDLÆGGENDE PRINCIPPER OG BEGREBER	28
AFRUNDING	32
2.3 - MULIGE LØSNINGER TIL MKSET	33
EKSEMPLER PÅ MKSER	33
2.4 - PROTOTYPEN	38
VALG AF OPMÅLINGSINSTRUMENT	38
VALG AF MKS TYPE	39
2.5 - LASERSKANNING	42
GRUNDLÆGGENDE PRINCIPPER	42
NØJAGTIGHED OG FEJL	46
VALG AF LASERSKANNER	47
2.6 - OPSAMLING	51
3 - PROBLEMFOMULERING	53

3.1 - PROBLEMSTILLING	54
UDDYBNING AF PROBLEMFORMULERINGEN	56
AFRUNDING	57
4 - DYROS BILEN	59
4.1 - ALLEREDE INTEGRERET Udstyr	60
GPS	60
SMALLPOS	61
LASER AFSTANDSMÅLER	62
VIDEOKAMERA	62
4.2 - OPBYGNING	62
KONSTRUKTIONSBESKRIVELSE	62
KOORDINATSYSTEM	63
DATAFLOW/-INTERFACE	63
5 - LMS 211 OUTDOOR	65
5.1 - ANVENDELSESOMRÅDE	67
5.2 - LINIE SKANNER – OPBYGNING	67
5.3 - SKANNERENS KOORDINATSYSTEM	68
EKSEMPEL PÅ SKANNINGSOMRÅDE	69
5.4 - TEST AF LMS 211	70
5.5 - KOMMUNIKATION OG DATAUDTRÆK	75
6 - SYSTEMOPBYGNING	79
6.1 - SYSTEMKONSTRUKTION	80
6.2 - KOORDINATSYSTEMER	83
NAVIGATIONSKOORDINATSYSTEM	83
BODY KOORDINATSYSTEMET	84
LASERSKANNERENS KOORDINATSYSTEM	85
6.3 - TRANSFORMATIONER	85

6.4 - SYSTEMKALIBRERING	88
METODER TIL SYSTEMKALIBRERING	88
DIREKTE MÅLING	90
BEREGNING	95
6.5 - OPSAMLING	96
7 - TEST AF MKSET	99
7.1 - TESTFELT	101
7.2 - TESTBEREGNING OG VURDERING	103
SOFTWARE	103
RESULTATER	104
8 - KONKLUSION	111
8.1 - DE VIGTIGSTE ASPEKTER	112
8.2 - PROJEKTET SOM HELHED	115
9 - PERSPEKTIVERING	117
10 - LITTERATURLISTE	121
10.1 - ARTIKLER	121
10.2 - BØGER	123
10.3 - INTERNETSIDER	124
10.4 - PROJEKTER FRA AALBORG UNIVERSITET	126
BILAGSOVERSIGT	127

1 - Indledning



Denne indledning, til afgangprojektet på Landinspektørstudiet ved Aalborg Universitet, beskriver kort - men samlet, projektets indhold, valget af metode til projektopbygning, valget af andre benyttede metoder og projektets struktur/opbygning.

Det overordnede emne, for projekt er mobil kortlægning og herunder er valgt den del af de Mobile Kortlægnings Systemer (MKS), der benytter laserskannere til dataindsamling.

Baggrunden for valget af netop dette emneområde er at der på 8. semester blev arbejdet med udviklingen af en håndholdt prototype på et MKS [Jensen, 2004]. Igennem 8.semster projektet opstod den grundlæggende interesse for emnet, som er drivkraften i dette projekt. Årsagen til at det er valgt at fokusere på MKSer, der benytter laserskannere til dataindsamling, er et klart ønske fra projektgruppen om at afdække de metoder og principper der gør sig gældende.

8. semester projektet beskriver arbejdet med at integrere en GPS, en IMU og et digitalkamera på en stok til et håndholdt MKS, til f.eks. facade opmåling. Det er på baggrund af den viden, de resultater og de erfaringer, der blev opbygget gennem arbejdet på 8. semester projektet, at vi i dette projekt arbejder videre. Videre inden for et spændende, men også komplekst emne, som det fremgår af denne rapport. I dette projekt er det et bilbaserede MKS, der fokuseres på.

Indholdet og dermed også målet for projekt er kort skitseret, at der i samarbejde med Vejdirektoratet udvikles en prototype på et bilbaseret MKS, der gør brug af en linie laserskanner. Udgangspunktet for projektet er dermed ønsket om at undersøge hvordan en

laserskanner kan integreres og anvendes til opmåling fra et MKS, og hvorledes et sådant system kan udvikles. Sagt på en anden måde, gennem processen med at lave en prototype på et MKS, analyseres, diskuteres og beskrives de problemstillinger, der er forbundet hermed, og der opstilles metoder, hvormed en laserskanner kan integreres på et MKS.

Til dette projekt har vi fået en linie laserskanner fra SICK stillet til rådighed. Det er modellen LMS 211 Outdoor og det er derfor denne laserskanner der skal arbejdes på at integrere i et MKS. Her har Vejdirektoratet også stillet deres DyRoS bil til rådighed. DyRoS står for ”*Dynamic Road Surveying*” og det er således denne bil der danner grundlag for det MKS vi vil integrere SICK laserskanneren på.

Projektet er rent praktisk opbygget således at der indledningsvis opstilles og vælges metoder til projektet. Efterfølgende opstilles tre forskellige scenarier, med udgangspunkt i Vejdirektoratets opgaver og visioner, hvor et MKS, der gør brug af en laserskanner kan tænkes anvendt. Et af disse scenarier udvælges, og på baggrund af de krav opstillet i scenariet skitseres rammerne og målet for projektet. Herefter analyseres emnet mobil kortlægning bredt og generelt, således at de grundlæggende principper og teorier for emnet kan danne grundlaget for det videre arbejde i projektet. Dette grundlag benyttes blandt andet til, på baggrund af en analyse af mulige løsninger på MKSer, at udvælge den i

situationen bedste, og ligeledes analysere og udvælge den bedste laserskanner.

Gennem projektet indsnævres behandlingen af det overordnede emne, mobil kortlægning, yderligere, og afgrænses gennem problemformuleringen. Det teoretiske og analyserende forarbejde følges efter problemformuleringen, op af det konkrete praktiske, analyserende og diskuterende arbejde med at udvikle en prototype på et MKS i samarbejde med Vejdirektoratet.

På den måde er projektet en blanding af en mere bred og teoretisk behandling kombineret med det mere konkrete praktiske arbejde med at udvikle prototypen. Det praktiske arbejde med det konkrete MKS skal demonstrere anvendelsen af de mere generelle, brede principper og teorier ved mobil kortlægning.

1.1 - Anvendte metoder

Overordnet set kan de i projektet anvendte metoder deles op i to dele; selve projektmetoden og de konkrete anvendte metoder. Denne opdeling benyttes derfor også i dette afsnit.

Kravet fra studievejledningen til projektarbejdets metoder er, at de skal diskuteres ud fra en videnskabsteoretisk synsvinkel [Stud. Vejl., 2004]. Overordnet er projektet håndteret metodisk, hvilket giver klare fordele i forhold til at kalde resultatet videnskabeligt.

Metode til projektarbejdet

Traditionelt har man anvendt den metodiske arbejdsgang som kriterium for videnskab [Adolphsen, 1992]. Hvis arbejdet er udført på en anerkendt, metodisk måde, er resultatet videnskabeligt. Denne definition har historisk set haft stor tilslutning, men den er ikke ubetvivlelig. Det giver rimelig mening at sige, at en erkendelse fremkommet ved omhyggelig brug af en velafprøvet og anerkendt metode er videnskabelig, men ifølge Adolphsen halter definitionen, når det går den anden vej. Han anfører, at man ikke nødvendigvis kan slutte, at en erkendelse *ikke* er videnskabelig, fordi den er fremkommet på en anden måde end ved brug af anerkendte metoder [Adolphsen, 2000].

Videnskab

Man taler om videnskab i både ekstern og intern forstand: I ekstern sammenhæng menes det, der – set udefra – gør videnskab til videnskab. Videnskab defineres i forhold til det omgivende samfund, f.eks. som det, der foregår på universiteter og forskningsinstitutioner [Adolphsen, 1992]. I intern sammenhæng bliver definitionen af videnskab til et erkendelsesteoretisk anliggende, hvor spørgsmålet er, hvad der kendetegner videnskab i forhold til andre måder at lære eller forstå ting på.

Det fremkomne resultat – den skabte viden – kan være god nok, enten den er opnået ved guddommelig indgriben eller, mere jordnært, ved et rent tilfælde. Adolphsen konkluderer, at

et formelt kriterium som metodisk arbejdsgang ikke egner sig til at definere videnskab.

Det kan altså, ifølge Adolphsen, godt lade sig gøre at bedrive videnskab uden en metodisk arbejdsgang. Når projektgruppen alligevel har valgt at anvende anerkendte, afprøvede arbejdsmetoder til løsning af projektets problemstilling, skyldes det den grad af sikkerhed, der ligger heri. Ved at anvende gennemprøvede arbejdsmetoder sikres, at man ikke så let overser væsentlige pointer, som man ellers ikke umiddelbart havde bemærket. Det er dog ingen garanti for et succesfuldt resultat, at man har fulgt en anerkendt, videnskabelig metode: Selv den bedste metode kan føre til et dårligt resultat, hvis den anvendes forkert eller i en forkert sammenhæng. Der er altså ingen garanti for, at en metodisk tilgang til løsningen af et problem fører til en god, videnskabelig løsning, men der er en væsentlig risiko for, at en umethodisk tilgang fører til et dårligt resultat.

*”At definere eller bestemme videnskab eller angive kriteriet for videnskabelig erkendelse (med alle ordet ”videnskabs” betydninger af autoritet, ”sand og ordentlige erkendelse”, ”for studenter efterstræbelsesværdigt osv.”) ved hjælp af **metoden**, minder betænkeligt om, hvad man i logikken kalder en **genetisk fejlslutning**.”*

[Adolphsen, 2000]

Den metodiske tilgang gør også, at andre kan vurdere arbejdet og dets resultater. Dermed opnår man med en metodisk arbejdsform, at endnu et traditionelt formelt kriterium for videnskab er opfyldt: Resultatet bliver reproducerbart. Heller ikke reproducerbarhed er et ubetvivleligt kriterium for videnskab: En opnået erkendelse behøver ikke nødvendigvis være forkert, fordi man ikke kan genskabe erkendelsesforløbet (igen er åbenbaring eller rent tilfælde eksempler). Dog er det ganske meget nemmere at vurdere troværdigheden af et stykke arbejde, som er reproducerbart.

Selve projektrapporten er udarbejdet med udgangspunkt i Jes Adolphsens skitse, figur 1.1,

Problem	Opstilling af projektets problem i form af f.eks. en problemformulering.
Teori	Teoretisk baggrundsviden for emner, der finder anvendelse i bl.a. det empiriske arbejde.
Empiri	Indsamling af oplysninger til støtte for den valgte teori – i dette tilfælde drejer det sig om udformning af en prototype til mobil kortlægning – krav og specifikationer til systemet, design af systemet.
Test og Konklusion	Vurdering af, om den frembragte prototype på et MKS kan løse problemet opstillet i den styrende problemstilling.

Figur 1.1 - Projektarbejdets opdeling, set i forhold til Adolphsens model.

for problemorienteret projektarbejde [Adolphsen, 2000]. Denne metode er anvendt i flere tidligere projekter og der er gennem studiet modtaget undervisning heri. Ligesom i de tidligere projekter er det i dette projekt nødvendigt at modificere skitsen for problemorienteret projektarbejde, således at den passer til de enkelte dele i projektet.

De indledende kapitler er bl.a. empiri og teori i forhold til opstillingen af problemformuleringen. En mere uddybende forklaring af hvordan de enkelte dele af Adolphsens skitse for problemorienteret projektarbejde er at finde i bilag B. Af bilag B fremgår ligeledes om de enkelte elementer fra skitsen er af teoretisk eller praktisk karakter.

Metode til udvikling af system

De forskellige metoder til udvikling af systemet er opstillet med inspiration fra systemdesign, som benyttes til f.eks. et Geografisk Informations System (GIS) som benyttet på 7. semester. Metoderne kan dog bruges til design af alle typer systemer. Efter en kort teoretisk skitsering af metoderne udvælges den metode, der benyttes til udvikling af MKSet i dette projekt.

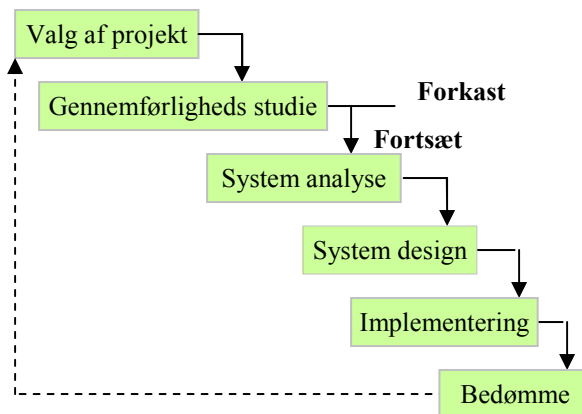
De metoder, der refereres til er:

- Vandfaldsmetoden,
- prototyping og
- Organic Life Cycle (OLC).

Vandfaldsmetoden

Denne metode er den traditionelle måde at udvikle systemer efter, den var meget anvendt i 70'erne og 80'erne. Det er en overordnet metode, hvilket vil sige at den dækker over flere forskellige konkrete metoder, der alle har den fællesnævner at de kan udformes efter en vandfaldsmodel, som i figur 1.2 Indholdet og teknikkerne på de enkelte trin i de konkrete metoder kan variere, men overordnet set opstilles de som flowdiagrammer efter vandfaldsmodellen.

Metoden er skitseret som en arbejdsproces med systemet som en sekvens af opgaver/handlinger, der udføres efter hinanden, hvor hvert trin leder direkte over i det næste. Hvert enkelt trin afsluttes med en specifikation, som danner grundlaget for arbejdet i det næste trin. I praksis anvendes metoden stærkt iterativt, dvs. der trædes ofte et skridt tilbage for at udvikle og



Figur 1.2 - Traditionel system analyse – Vandfaldsmodel [Reeve,1999].

optimere på systemet. Det sker, fordi mange af del-elementerne i processen udføres forsøgsvis, for derefter at finde ud af om f.eks. en given funktion eller enhed virker efter hensigten. Det kan derfor blive nødvendigt at gå et niveau tilbage og finde en ny funktion, hvis den først antagne viser sig ikke at kunne bruges [Reeve, 1999].

Metoden er ikke særlig hensigtsmæssig i forhold til vores projekt, da den kræver at man følger den slavisk fra start til slut, med alle de tilhørende specifikationer mellem faserne. Brugere (Vejdirektoratet) skal på forhånd præcist vide, hvad det er de ønsker, mens udvikleren (projektgruppen) skal kunne fortælle om det kan lade sig gøre eller ej. Metoden lægger derfor ikke umiddelbart op til forskning eller eksperimentering på nye felter. Den kræver desuden, at systemet kan beskrives på forhånd for at kunne lave en cost/benefit-analyse og for senere hen at kunne måle forbrugte ressourcer i forhold til forventede.

Prototyping

Metoden prototyping kan anvendes forskelligt alt efter hvilken sammenhængen. Derfor beskæftiger vi os her med, hvordan vi forstår metoden prototyping og om den kan anvendes i projektet.

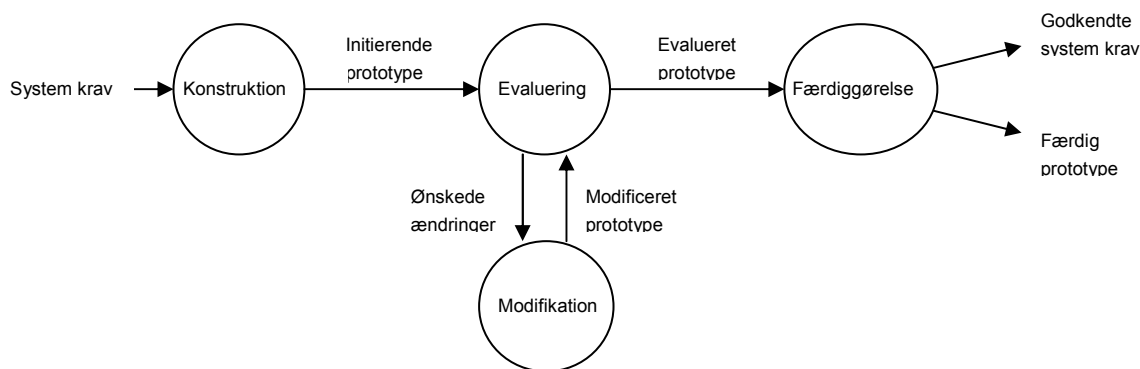
Prototyping er en metode, der er opstået på baggrund af et ønske om at kunne udfylde de

huller som vandfaldsmetoden har. Det være sig f.eks. involvering af brugere og kritiske tests af komplekse systemer, arbejde med dele af større systemer og forskende eller eksperimenterende arbejde. Prototyping kommer især til sin ret i situationer, hvor ekspert viden hos udvikleren er krævet eller når store datamængder skal håndteres, f.eks. i et GIS eller et MKS. Prototyping er også et kommunikationsmedium, som sikrer en forståelse mellem bruger og udvikler, når de samarbejder om at udvikle systemet. Derved sikres også, at de ønsker og forventninger brugeren har, bliver opfyldt selv i meget tekniske systemer, og brugeren lærer gennem samarbejdet også systemet og baggrunden herfor bedre at kende. Generelt gælder, at prototypen skal afspejle problemområdet. Test og analyser af prototypen skal tage udgangspunkt i anvendelsesområdet.

Kort opsummeret; en prototype er et mere eller mindre færdig udviklet produkt, som gør brugere og udviklere i stand til at undersøge forskellige dele af et system og derigennem fastslå, om det er egnet som det færdige produkt, se figur 1.3.

Derfor findes forskellige former for prototyping, alt efter hvor langt arbejdet med prototypen ønskes udført:

- **Throw-away** (smid-væk) er den metode til at udvikle prototyper, der er beregnet til at afdække, af- eller bekræfte idéer,



Figur 1.3 - Skelet af processen i prototyping [Reeve, 1999]

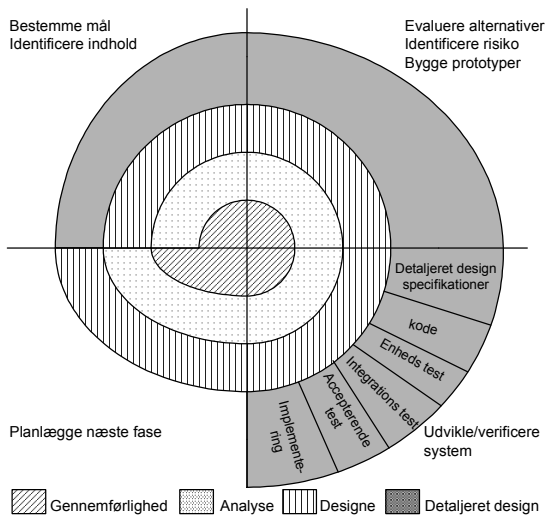
for derefter, som navnet angiver, at blive smidt væk. Prototypen som udvikles bliver dermed ikke en del af det endelige system. Udbyttet af denne form for prototyping er at udviklerne og brugerne kan føre erfaringerne med videre over i en ny prototype [prototyping, 2004].

- **Evolutionary** (udviklende) prototyping har det samme formål som smid-væk prototyper, bortset fra at den endelige prototype her bliver hele/ en del af det endelige system/produkt. Udvikleren foretager ændringerne på prototypen undervejs i processen mod det endelige mål. På baggrund af fagviden og idéer udvikles en prototype, som testes og analyseres, for derefter at blive lavet om på baggrund af resultaterne og så fremdeles. Altså en stærk iterativ og forskende eller eksperimenterende proces [Prototyping, 2004].

- **Design-driven** (Design-drevet) prototyping findes i samme boldgade som udviklende prototyping, ved at den også indeholder forskellige tekniske eksperimenter. Her er pointen bare at der arbejdes på en samlet prototype, som ligger så tæt op ad det endelige system som muligt [Stage, 2003]. Forskellen til udviklende prototyping er altså at der ikke er plads til forskende arbejde eller flere iterationer.

Organic Life Cycle (OLC)

OLC er en kombination af vandfaldsmetoden og prototyping, udformet efter en spiral model, figur 1.4. Som det fremgår af figuren er der fire handlinger svarende til de fire kvadranter i diagrammet. Figuren læses med begyndelsespunkt i midten (origo for koordinatsystemet), og den snor sig ud ad urets retning. Når x-aksen, placeret ved kl. 9,



Figur 1.4 - Organic Life Cycle (OLC) oversat fra [Reeve, 1999].

passeres træffes en beslutning på baggrund af de foregående analyser af alternativer og risiko, som dermed danner grundlag for den nye ”omgang”. Hovedformålet er ved gentagne ”omgange” at nedbringe usikkerheden og dermed fremkomme med en god og sikker prototype. I et projekt kan indgå flere ”omgange”, som hver især afsluttes med et resultat. Hver ”omgang” følger en fastlagt plan. OLC adskiller sig grundlæggende fra andre metoder ved at de underlæggende modeller er dynamiske, kontinuerte og ikke sekventielle som tilfældet er i f.eks. vandfaldsmodellen.

Udviklingen af prototyperne foregår efter samme metode, som nævnt i afsnittet om Prototyping. OLC er en overordnet metode og den er egnet til design af større systemer, hvor

mange del-prototyper skal koordineres og planlægges i forhold til hinanden for at nå et samlet fælles mål.

Udvælgelse af metode til udvikling af system

Derfor passer den underlæggende model - prototyping – bedre til vores projekt jf. de i afsnittet om prototyping, nævnte grunde, hvorimod metoden OLC er for overordnet. Vandfaldsmetoden er valgt fra, da den er for struktureret og kan virke hæmmende for udviklingen af en teknisk prototype, da den begrænser eksperimenterende og udforskende arbejde.

I det følgende listes fordele og ulemper ved den valgte metode, og det beskrives, hvordan vi benytter metoden i projektet.

I projektet er målet klart, men grundet gruppens

Kompleksitet	Høj	System Life Cycle	Mixed metologi
	Lav	Prototyping	Prototyping
		Lav	Høj
		Usikkerhed	

Figur 1.5 - Usikkerhedsmomenetet i udvikling af systemer i forhold til kompleksiteten [Stage, 2003].

fagspecifikke viden og forskellige idéer og ønsker, er rammerne for udviklingen af systemet udstukket, men ikke fastlagt i detaljer. Hvis man benytter figur 1.5 befinder vi os altså under høj usikkerhed og lav kompleksitet, men umiddelbart også høj kompleksitet i de enkelte fasetter af systemet, nemlig de enkelte instrumenter og samspillet mellem disse. Derfor bruger vi prototyping og den form, som hedder smid-væk prototyping, da den åbner mulighed for forskende og eksperimenterende arbejde og prototypen indgår ikke i sin helhed i det endelige system. Det kan prototypen ikke da laserskanneren der benyttes i projektet kun er til låns. Desuden er det projektgruppens ønske at Vejdirektoratet, som er brugerne, skal inddrages i et vist omfang i de indledende analyser, men ikke under udviklingen, konstruktionen og test af systemet. Da metoden ikke præciserer hvordan brugerinddragelsen skal foregå, giver det ikke anledning til konflikter på dette punkt.

Når metoden prototyping benyttes er nødvendigt at Vejdirektoratet som brugere, på forhånd præcist ved, hvad det er de ønsker, mens udvikleren, som her er os, skal belyse om det kan lade sig gøre eller ej. Derfor er vores rolle i samarbejdet med Vejdirektoratet, som den lyttende, og vi har suget viden og information til os. Efterfølgende i processen er vores rolle skiftet karakter til mere forklarende, f.eks. ved præsentationen af MKSet.

Tests og analyser af prototyperne er udført af os, som udviklere, og brugerne er ikke direkte inddraget i denne del af design-delen. Det har de ulemper, at systemet måske ikke testes og analyseres så objektivt, som hvis brugerne havde været inddraget. Derimod kan den viden, vi som udviklere har om systemet, benyttes til at gå dybere ned i tests og analyser, hvilket brugerne ikke umiddelbart har mulighed for, da de ikke har den samme viden og indsigt som os. Ved at det er os selv der tester og analyserer prototyperne, giver desuden vished om at det er foregået på tilstrækkeligt grundig vis, hvilket er vigtigt for at kunne uddrage de resultater, som videre kan benyttes i en evt. ny prototype.

Opsamling

De metodiske aspekter af dette projektarbejde, kan kort opsummeres inden for de overordnede områder: Metode til projektarbejde og metode til udvikling af MKS.

Overordnet metode til projektarbejde

Problemorienteret projektarbejde, jf. revideret udgave af Adolphsens skitse jf. figur 1.1. er benyttet. Bilag B indeholder desuden projektets struktur i forhold til Adolphsens skitse. Heraf fremgår det dermed også at projektrapporten er opbygget over den struktur, der er indeholdt i Adolphsens skitse.

Bilag B er der tidligere refereret til, men der er ikke nogen decideret forklaring hertil da det er udformet således at den intuitiv er forståelig.

Metode til udvikling af MKS

Prototyping, nærmere bestemt smid-væk prototyping er valgt som metode til udvikling af MKS. Den er valgt, da den åbner mulighed for eksplorativt og eksperimenterende arbejde. Samtidig åbner den mulighed for brugerinddragelse. Ved smid-væk prototyping er den endelige prototype ikke en direkte del af det endelige MKS, men erfaringer, viden og enkelte delelementer kan overføres. Dette passer godt i tråd med de tanker og ønsker vi har til dette projekt. Formålet er ikke at udvikle et endeligt MKS, men snarere at eksperimentere med dele af emnet mobil kortlægning, for dermed at opnå en dybere viden om problemer, som opstår i processen med at udvikle et MKS.

1.2 - Projektstruktur

Indledningen afsluttes med en beskrivelse af strukturen for projektet for at give et overblik over den røde tråd i det samlede projekt.

Som det fremgår af bilag B er der en klar opdeling i strukturen i dette projekt.

I indledningen fastlægges den indledende problemstillingen, konkretiseret i det valgte scenario, der indeholder kravene og dermed skitserer de ydre rammer for projektet.

I fornanalysen analyseres, diskuteres og vælges det bedste MKS og den bedste laserskanner for løsningen af den indledende problemstilling.

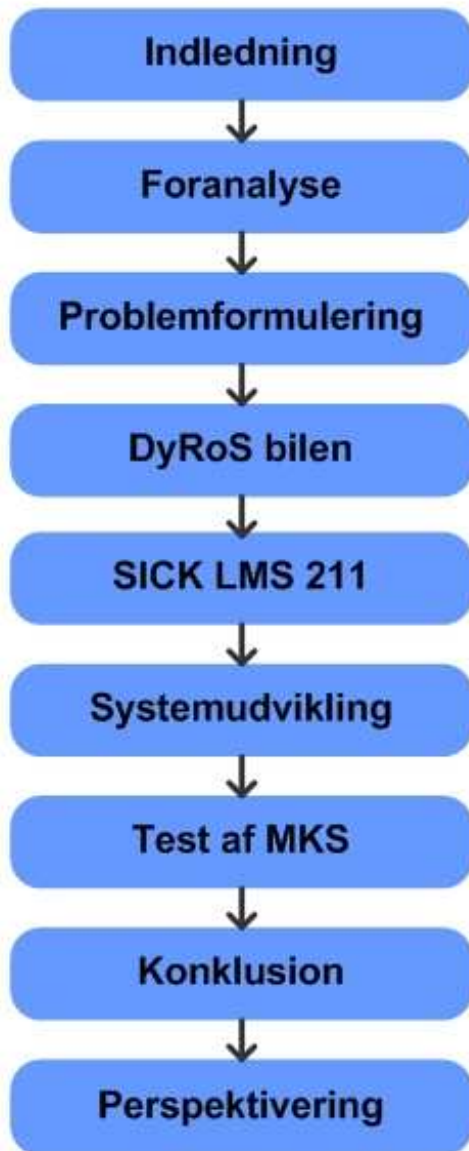
Resultaterne af de indledende analyser og valg er samlet i problemformuleringen, der fastlægger de styrende rammer og målet for projektet.

Herefter beskrives DyRoS bilen og SICK laserskanneren med henblik på at integrere de to systemer. Laserskanneren testes for at undersøge dens præcision, nøjagtighed og specifikationer, blandt andet størrelsen på footprintet.

Integrationen af laserskanneren på DyRoS efterfølgende. Ligeledes findes frem til metoder for systemkonstruktion, systemkalibrering og systemtest. Flere af disse metoder behandles ikke kun i teorien men afprøves også i praksis. Disse resultater diskuteres og vurderes, for dermed at danne grundlag for at klarlægge om målet med MKSet og projektet er opnået.

Afslutningsvis samles resultaterne for projektet og det vurderes og diskuteres, hvorvidt målet for projektet og for MKSet er nået. Ligeledes perspektiveres over de erfaringer vi har gjort os gennem projektet og de ideer der er opstået under vejs.

2 - Foranalyse



I foranalysen beskrives den indledende problemstilling for projektet. Det sker konkret gennem opstilling af tre mulige anvendelser (tre scenarier) af et MKS og en efterfølgende udvælgelse.

Gennem foranalysen behandles de generelle principper for mobil kortlægning og derefter fokuseres på den prototype, der ønskes udviklet gennem dette projektarbejde. Det sker ved at analysere mulige løsninger; luft-, landbaseret eller håndholdt MKS, og den bedste vælges.

Afslutningsvis behandles teorien for lasereskannere, for at danne grundlag for en sammenligning af de mulige lasereskannere og herudfra vælges dén, der i teorien er den bedste lasereskanner.

Mobil kortlægning er overordnet set et bredt emne, da det involverer mange forskellige tekniske begreber og principper, der er specielle for netop dette emne. Denne foranalyse præsenterer derfor ikke kun det indledende arbejde med projektet der udstikker retningslinien for det videre projektføreløb, men giver samtidig et generelt og overordnet indblik i hvad mobil kortlægning er og hvilke metoder og principper, der anvendes. Altså en bred analyse af generelle principper og begreber inden for mobil kortlægning, efterfulgt af en analyse af hvilke typer eksisterende systemer, der findes og hvad de kan.

En af hovedopgaverne for det indledende arbejde er at klarlægge, hvilke krav der er til det MKS, der ønskes anvendt hos Vejdirektoratet. Det vil sige en nærmere analyse af hvilke opgaver et sådan system skal kunne løse. Kravene fastlægges på baggrund af et møde med Vejdirektoratet.

2.1 - Indledende problemstilling

På baggrund af den viden, der er opbygget specielt på 8. semester, litteraturlæsning og undervisning gennem studiet, er indholdet for behandlingen af emnet mobil kortlægning i dette projekt diskuteret internt i gruppen og efterfølgende i samarbejde med Vejdirektoratet. Resultatet af denne diskussion er at fokus udelukkende rettes mod målinger af kørebanen og objekter i tæt tilknytning hertil. En

uddybende forklaring af dette valg findes i afsnit 2.2.

Kørebanen er defineret som arealet mellem to kørebanestriber eller med andre ord, der hvor man køre i bil. En vej består ofte af flere kørebaner, motorveje ofte to eller flere i hver retning.

Først præsenteres den grundlæggende vision for landmålingsafdelingen, som er en afdeling under Anlægsområdet ved Vejdirektoratet, se evt. bilag C. Derefter opstilles tre forskellige scenarier for hvor man fra Vejdirektoratets side kan se en fordel i anvendelse af mobil kortlægning. Afslutningsvis vælges et af disse scenarier, som danner rammen for projektet.

Vision for landmålingsafdelingen

Inden den grundlæggende vision i anlægsafdelingen beskrives fastlægges kort hvad Vejdirektoratet er.

Vejdirektoratet er en statslig styrelse under Trafikministeriet der udbygger, vedligeholder og udvikler de statslige veje. Ud af Danmarks samlede vejnet udgør de statslige veje kun 2%, men 30% af al vejtrafik foregår på disse veje [Vejdirektoratet, 2005]. Det gør at de statslige vejes størrelse og stand noget som berører en stor del af befolkningen og derfor er der ofte stor fokus på disse veje.

Statens veje består af:

- 970 km motorveje
- 150 km motortrafikveje
- 500 km øvrige veje.

Derudover omfatter statens vejnet også cirka 1400 broer og tunneller.

Den 1. januar 2007 overføres yderligere 2000 km amtsveje til staten som led i kommunalreformen.

[Vejdirektoratet, 2005]

Vejdirektoratets overordnede fælles vision er ”Sammen går vi nye veje” [Vejdirektoratet, 2005] og for medarbejdere ved Vejdirektoratet gælder fem centrale værdier som grundlag. Det er faglighed, resultatorientering, ansvarlighed, nytænkning og samarbejde på tværs [Vejdirektoratet, 2005].

Den grundlæggende vision i landmålingsafdelingen er, at der løbende skal udvikles nye kompetencer, systemer, rutiner og instrumenter, som kan gøre dagligdagen lettere i fremtiden og dermed gavne økonomien i Vejdirektoratet. Dette passer i tråd med de overordnede værdier. Et af midlerne er automatisering af målinger, f.eks. vha. DyRoS, som står for ”*Dynamic Road Surveying*”, men det kunne også være nye måleinstrumenter, der er bedre, hurtigere eller billigere end de tidligere, jf. bilag C.

Tidligere var en af hovedopgaverne i Vejdirektoratet anlæg af nye veje. Den kraftige udbygning af vejnettet betyder at der i dag ikke er brug for så mange nye veje, men snarere udvidelser af det eksisterende vejnet. Et eksempel på dette er udvidelsen af motorvejen nord for Limfjordstunellen eller udbygningen af motorring 3 ved København. Opgaverne er, set fra landmålingsafdelingen side, gået fra opmålinger af det åbne land, afsætninger og kontrol [Vejdirektoratet, 2005] til ”*revers engineering*” (”som det er nu”) målinger af vejen, afsætninger og efterfølgende kontrol.

”Når en eksisterende vej sædvanligvis skal modificeres og designet af den nye vej skal gennemføres, så har designeren ikke nok geometrisk information om vejen. Derfor er design arbejdet afhængig af en opmåling af vejen.”

- jf. bilag C

Opgaverne har altså skiftet karakter med hensyn til opmålingsopgaverne som går forud for projektering og afsætning. At det er eksisterende veje i stedet for det åbne land der er i fokus, betyder at det er nogle helt andre objekter, der opmåles, og desuden nogle andre nøjagtigheder der kræves af flade modellerne, som genereres ud fra det etablerede data grundlag.

Flade model er i denne sammenhæng et vigtigt ord. Tidligere skulle modellerne beskrive landskabet (terræn modeller) for at der kunne

udføres beregninger for hvor meget jord, der skulle fjernes eller køres på. Nu skal modellerne beskrive kørebanerne som præcise flader, da det i teorien er fladen (kørebanen) som typisk skal udvides.

Omkring vejene, findes grundlæggende mange informationer omhandlende kørebanerne og objekterne i tilknytning hertil, der er interessante at få kortlagt. Det er f.eks. vejprofiler, vejhældninger, afstribninger, kant pæle, sporkørning, skilte, frihøjder under broer osv. Derfor opstilles i det følgende tre scenarier for anvendelsen af et MKS til forskellige opgaver hos Vejdirektoratet.

Tre scenarier

Projektet er primært integration af laserskannere på et MKS, derfor fokuseres der i de tre scenarier, på hvilke opgaver et sådant MKS kan løse. Alle tre scenarier tager udgangspunkt i visionen for landmålingsafdelingen ved Vejdirektoratet, og resultaterne fra mødet med Vejdirektoratet, se referatet i bilag C. De er altså til dels udarbejdet på baggrund af oplysninger fra brugerne og til dels projektgruppens egne input.

Grundlæggende er der følgende klare fordele ved at benytte MKS, hvilket er fælles for de tre scenarier:

- Opmålingerne kan foretages med minimal gene for trafikken. Samtidig undgår man potentielle farlige situationer med statiske opmålinger i vejkanterne.
- Derudover skal de økonomiske forhold tages i betragtning, og det ses som en vigtig faktor at finde en "cost-effektive" løsning af opgaverne.
- Med et MKS der benytter en laserskanner er der mulighed for at opnå automatiseret dataindsamling, hvilket mindsker tidsforbrug og dermed øger produktiviteten.

De tre scenarier er opstillet som en flertrinsraket, hvor man skal begynde med at løse scenario 1 og derefter scenario 2 osv. Det kan selvfølgelig lade sig gøre at løse flere scenarier på en gang, men det er ikke muligt at løse scenario 2 uden at have løst scenario 1 først.

Scenario 1

Scenario 1 er grundscenariet, dvs. at det er den simpleste løsning. Scenario 1 kaldes for grundscenariet, da det indeholder problemstillingen med at få fremskaffet det datagrundlag, der er nødvendig for at kunne indsamle alle øvrige oplysninger omkring vejnettet. En del af dette datagrundlag er kørebanen, som er vigtig at få opmålt, idet mange objekter, der findes i tilknytning til vejen, refereres med en relativ god nøjagtighed hertil.

Dette er almindelig praksis i vejudvidelsesprojekter ved Vejdirektoratet.

Grundscenariet indeholder en opmåling af kørebanen med afstribning samt længde og tværprofiler (for hver 1m). Med profiler menes kun afvandingsprofiler og dermed er sporkøring og andre mindre ujævnheder ikke en del af profilerne. Det er med andre ord større flader, der modelleres ud fra det indsamlede datagrundlag. Det er nødvendigt at målinger foretaget i disse modeller, har interne nøjagtigheder omkring 0,5 – 1 cm i højden, mens lidt dårligere plane nøjagtigheder kan accepteres. Absolut kan nøjagtigheder, der ligger lidt over de interne accepteres, det vil sige 1-3 cm i højde og plan. Datagrundlaget skal bestå af punkter med en indbyrdes afstand på 5-10 cm på tværs af kørebanen, og langs med kørselsretningen skal afstanden være ca. 1 meter. Datamængden kan efterfølgende reduceres for at imødekomme ønsket om en tværprofilsafstand på ca. 10 m, jf. bilag C.

I scenario 1 er fokuset altså rettet mod kørebanen og opmåling af denne. Det vil sige der skal tilvejebringes et datagrundlag der gør det muligt at modellere kørebanen med de angivne nøjagtigheder.

Scenario 2

Scenario 2 forudsætter at der er sket en opmåling af kørebanen efter scenario 1, eller

denne opmåling sker samtidig med scenario 2. I scenario 2 ønskes en opmåling af kanten mellem vejbelægning og rabatten, kant pæle, autoværn og skilte i vejsiden. Nøjagtighedskravene til målingerne af disse objekter er 5 cm i planen og højden.

I scenario 1 var fokus rettet mod kørebanen, hvorimod der i scenario 2 fokuseres på de objekter, der findes i vejsiderne.

Scenario 3

I scenario 3 forudsættes det, at de to tidligere scenarier er opmålt eller bliver det i samtidig med opmålingerne til scenario 3. I scenario 3 fokuseres på opmåling af skilte, lamper, broer og andre genstande, der befinder sig direkte over kørebanen.

Fokus i scenario 3 er altså rettet mod alle objekter, som findes over kørebanen og dermed begrænser kørebanen vertikalt. Det er f.eks. frihøjderne under broer, og det er utroligt vigtigt at de internationale bestemmelser for frihøjder på overholdes [Vejdirektoratet, 2004]. Frihøjder er defineret som fritrumshøjder ved kantlinier og midterlinier langs begge kanter af broen [Vejdirektoratet, 2004]. Ved anlæggelse af en ny vej er dette ikke et problem, da det indgår som en naturlig del i projekteringen af vejen. Men efterhånden som vejen slides og der lægges nye lag asfalt på, samtidig med der måske monteres skilte, lamper eller andet på eksisterende

konstruktioner over vejen, begrænses frihøjden. Det er derfor vigtigt løbende at kontrollere at frihøjderne stadig er gældende. Nøjagtigheden for disse målinger skal være 1-2 cm i højden og lidt dårligere i planen.

Udvælgelse af scenario

Som det fremgår af de tre scenarier, er der en logisk sammenhæng, i rækkefølgen. Alle tre scenarier er potentielle cases, hvor det kan undersøges om et MKS, der gør brug af en laserskanner til dataindsamling, kan implementeres med succes. Man er fra Vejdirektoratets side, på sigt interesseret i et MKS, der i en arbejdsgang kan opmåle alle de objekter, der er beskrevet i de tre ovenstående scenarier, med de angivne nøjagtigheder. Men på grund af de begrænsede resurser både tidsmæssigt og økonomisk, er det valgt kun at fokusere på scenario 1 i dette projekt.

Gennem løsningen af scenario 1 belyses de grundlæggende problemstillinger med udvikling og kalibrering af et MKS, samtidig med at dataindsamling og modellering holdes på et minimum.

Det indledende problem er derfor grundlæggende hvilken type MKS der kan løse scenario 1 bedst og mest effektivt. Her tænkes først og fremmest på enten de luft- eller bilbaserede systemer, men også konkrete MKS. Dernæst er det hvilken laserskanner der kan

klare dataindsamlingen bedst og billigst, samt om en laserskanner kan klare dataindsamlingen alene eller skal der bruges yderlige opmålingsinstrumenter?

2.2 - Principper i mobil kortlægning

Gennem dette afsnit præsenteres de vigtigste og mest grundlæggende begreber og principper indenfor emnet mobil kortlægning. Dette afsnit danner dermed det teoretiske grundlag for resten af projektet, hvor de begreber og principper, der behandles her, danner et begrebs og definitionsgrundlag. Grundlaget bruges blandt andet til at analysere hvilke typer MKS der kan løse det indledende problem, samt til udvælgelse af den bedst egnede type MKS til målingerne i scenario 1.

Grundlæggende principper og begreber

Et MKS er generelt kendetegnet ved at et opmålingsinstrument implementeres på en mobil platform, der positioneres og orienteres kontinuerligt i et givent referencesystem. Det vil sige at der er tale om opmålingssystemer med en meget høj grad af mobilitet, hvor opmålingerne foretages i bevægelse og georefereres direkte.

Direkte georeferering

Det mest grundlæggende princip inden for mobil kortlægning er direkte georeferering, der muliggør at georeferere opmålingerne direkte på

baggrund af observationer fra den mobile platform. Det vil sige at det f.eks. med et kamera ikke er nødvendigt med paspunkter, som tilfældet er inden for traditionel fotogrammetri. Observationerne fra den mobile platform er positionerings- og orienteringsobservationer, der fås fra andre instrumenter indbygget i systemet. Det er instrumenter, der anvendes til at bestemme systemets position og orientering kontinuerligt, og disse instrumenter er integreret i MKSet.

Direkte georeferering

Direkte georeferering indebærer, at opmålinger georefereres direkte vha. observationer fra den mobile platform, der foretager opmålingen.

MKSet består altså af flere instrumenter, der løser forskellige opgaver i den direkte georeferering af de indsamlede data. Instrumenterne i MKSet kan klassificeres som enten opmålingsinstrumenter eller positionerings- og orienterings-instrumenter. Denne opdeling benyttes derfor i det følgende.

Positionerings- og orienteringsinstrumenter

Kategorien af positionerings- og orienteringsinstrumenter omfatter de instrumenter, der skal levere observationer til den direkte georeferering af den mobile platform

og derigennem de endelige målinger fra opmålingsinstrumenterne. Georefereringen består i at fastlægge den mobile platforms position og orientering i et givet referencesystem.

Positioneringsinstrumenter

Positioneringsinstrumenter anvendes til at positionere MKS i referencesystemet.

Til positioneringen af den mobile platform anvendes oftest GPS, og for at opnå en acceptabel nøjagtighed bruges differentielle GPS målinger. Derudover kan der anvendes forskellige andre instrumenter til de situationer, hvor der ikke er GPS signaler. Det kan f.eks. være odometer eller accelerometre, der kan anvendes til en relativ positionering over kortere strækninger.

Orienteringsinstrumenter

Orienteringsinstrumenterne anvendes til at orientere MKS i referencesystemet.

Orienteringen af den mobile platform bestemmes oftest med inertielle målinger fra gyroer. Andre redskaber kan f.eks. være tiltmeter og digitalt kompas.

Gyroer og accelerometre sættes ofte sammen i en samlet enhed kaldet en IMU (Inertial Measurement Unit). En IMU består typisk af tre

gyroer og tre accelerometre – hvilket gør det muligt både at positionere og orientere den mobile platform med IMU'en i 3D. De muligheder ses oftest anvendt på den måde, at målingerne fra IMU'en anvendes til orienteringen af platformen og derudover som supplement til GPS positioneringen.

IMU'er fås i forskellige kvalitetsklasser. Det kan være en ”billig” chip-løsning, der hører til klassen af taktiske IMU'er, men det kan også være de mere nøjagtige og dyrere fiber-optiske løsninger, der hører til klassen af navigations IMU'er.

Opmålingsinstrumenter

Instrumenter til opmåling monteres på den mobile platform, sammen med positionerings- og orienteringsenheden. Til opmålinger fra et MKS er det nødvendigt at anvende instrumenter, der kan gennemføre indirekte opmålingen dvs. uden at skulle i direkte kontakt med det objekt, der skal opmåles. Det er muligt med bl.a. kamera og laserskanner og flere andre typer instrumenter som f.eks. radar, som ikke behandles i dette projekt.

Opmålingsinstrumenter

Opmålingsinstrumenterne anvendes til selve dataindsamlingen af de objekter, der kortlægges eller opmåles.

Et kamera til et MKS kan være både analogt eller digitalt, men ved anvendelse af et digitalt kamera åbnes der yderligere mulighed for ”on-the-fly” processering af billederne, dvs. resultater i sand tid. Man undgår også en del efter-processering med fremkaldelse og skanning af billederne [Höhle, 2005].

En laserskanner på et MKS er i dag meget anvendt inden for fladeopmåling, af f.eks. terræn eller komplicerede konstruktioner, der skal modelleres. Ved laserskanning måles der til mange tilfældige punkter i et bestemt mønster. Søges et bestemt punkt eller en flade, eksempelvis et hushjørne, kan dette først frembringes ved efterbehandling i form af modellering i de scannede punkter. Eksempelvis kan hushjørnet frembringes ved en skæring mellem de modellerede mure.

Der kan monteres flere forskellige opmålingsinstrumenter på samme MKS. Det kræver blot at alle opmålingsinstrumenter integreres på den samme georefererede mobile platform, og dermed indgår som en del af det samlede system. Det kan i nogle situationer være fordelagtigt, om ikke nødvendigt, med flere opmålingsinstrumenter, evt. både kamera og laserskanner, for at kunne indsamle nok data til at løse de opgaver MKSet er beregnet til.

En enkelt opmålingsenhed alene er ikke altid nok, da der eksempelvis kan være forhindringer, der skygger for de aktuelle objekter i forbifarten. Det vil bl.a. derfor sandsynligvis kræve flere

opmålingsinstrumenter, placeret så de indfanger data i forskellige retninger. Det kan ligeledes være nødvendigt at anvende opmålingsenheder af forskellig type, for at kunne opnå de ønskede resultater med alle de informationer, der kræves.

De forskellige instrumenter, der indgår i MKSet, både instrumenter til positionering og orientering samt opmålingsinstrumenter, skal integreres i et samlet system, der bygger på en fælles platform. Det sker gennem en sensor integration mellem instrumenterne og systemets platform.

Sensor integration

Sensor integration er et af de vigtige begreber inden for mobil kortlægning. Det dækker over integrationen af de forskellige instrumenter, der indgår i MKSet, til ét samlet system. Det samlede MKS fungerer som én enhed i kraft af en god sensor integration. Det vil sige at sensor integration både er den fysiske integration af instrumenterne, men også en integration af software til instrumenterne og herunder tiden som benyttes i de forskellige instrumenter.

Sensor integration

Integration af de anvendte instrumenter til ét samlet system i både hard- og softwaremæssig forstand.

En god sensor integration tager udgangspunkt i en fast og solid platform for systemet, hvorpå de enkelte instrumenter monteres. Når instrumenterne først er monteret på en sådan platform, er det vigtigt at de ikke kan forskydes ift. hinanden.

Platformen med de monterede instrumenter er altså fundamentet for et MKS. Men for at kunne samle observationer fra de enkelte instrumenter til ét samlet georefereret datasæt er det nødvendigt at de interne dimensioner i platformen og instrumenterne imellem kendes med en høj nøjagtighed. De interne dimensioner mellem instrumenterne på den mobile platform bestemmes gennem en *"boresight calibration"* (systemkalibrering) for de samlede interne forhold mellem instrumenterne i systemet. En fejl i systemkalibreringen vil derfor direkte give udslag i alle målinger, der foretages med MKSet.

Ligeledes skal instrumenternes data-output integreres således at ét samlet georefereret datasæt kan genereres. For at det kan lade sig gøre i praksis er det nødvendigt at tiden, for målingerne i de enkelte instrumenter, skal kendes og synkroniseres eller kalibreres præcist, ellers vil der opstå en fejl i datasættet. En anden løsning på denne del af integrationen er at udvikle software, der samler alle data og giver et datasæt som output. Problematikken med tiden løses i den situation ved at et af instrumenterne

udløser en måling i alle de andre instrumenter i MKSet.

System kalibrering

Hvis man anser hvert instrument i MKSet som et selvstændigt lokalt koordinatsystem, handler systemkalibreringen om at fastlægge omregningerne mellem disse lokale koordinatsystemer. Ved at fastlægge omregningerne mellem de lokale koordinatsystemer kan alle observationerne fra de enkelte instrumenter omregnes til et fælles lokalt koordinatsystem for det samlede MKS – kaldet *body koordinatsystemet*.

Det der er nødvendigt at fastlægge i systemkalibreringen er derfor parametrene til omregningerne mellem de lokale koordinatsystemer. Disse parametre er flytninger (Δx , Δy , Δz) langs og rotationer (ω , ϕ , κ) om hver af de tre akser i et koordinatsystem. I kraft af en solid og stabil montering på platformen, er disse parametre konstante. Der skal fastlægges parametre til omregning fra hvert af de lokale koordinatsystemer for instrumenterne til body koordinatsystemet i MKS.

Hvis et MKS f.eks. er bestående af en laserskanner, en IMU og en GPS betyder det at der skal fastlægges 3 sæt parametre til omregningerne fra de lokale koordinatsystemer i instrumenterne til body koordinatsystemet. Det vil sige:

Laserskanner til body koordinatsystem

- 3 flytninger
- 3 rotationer

IMU til body koordinatsystem

- 3 flytninger
- 3 rotationer

GPS til body koordinatsystem

- 3 flytninger
- Denne omregning er speciel, da GPS observationerne er 3D punkter, og derfor er der kun tale om 3 flytninger.

System kalibreringen fastlægger altså de interne dimensioner i MKSet og de omregningsparametre, der kræves for at reducere observationer fra de respektive lokale koordinatsystemer til body koordinatsystemet.

Afrunding

MKSer der bygger på de principper, der er beskrevet i dette afsnit åbner mulighed for at indsamle georefererede data i store mængder på meget kort tid.

Store datamængder indsamlet på kort tid er med til at gøre MKS, en særdeles interessant metode til opmåling og kortlægning, specielt til opgaver hvor store mængder data skal indsamles over store områder. Det skal understreges at selv om metoden måske umiddelbart kan virke simpel,

består den af yderst komplicerede metoder og teknikker, men motivationen er, at der kan opnås betydelige ressourcebesparelser, specielt i dataindsamlingen.

Når objekter kortlægges med mobil kortlægning ved direkte georeferering, sker opmålingen udelukkende ud fra positionering og orientering af det system der måles fra. Det betyder at det ikke er muligt at kontrollere målingerne, når man ikke benytter sig af kontrolpunkter på det objekt der opmåles, men udelukkende baserer opmålingen på systemets position og orientering i opmålingsøjeblikket.

Derfor er man nød til at stole på, at bestemmelsen af systemets position og orientering til opmålingsøjeblikket er korrekt. Sensor integrationen og systemkalibreringen er derfor også to utrolig vigtige begreber indenfor mobil kortlægning.

2.3 - Mulige løsninger til MKSet

Mobil kortlægning, efter de grundlæggende principper beskrevet i forrige afsnit, har allerede en vis udstrækning inden for kortlægnings- og opmålingsopgaver, både her i landet og på verdensplan [Höhle, 2005].

De helt overordnede områder, inden for hvilke man benytter sig af mobil kortlægning og direkte georeferering, er luft- og bilbaseret kortlægning. Inden for luftbaseret kortlægning

er det især i flyfotogrammetrien og flybåren laserskanning at der anvendes direkte georeferering. Bilbaserede MKSer er især udbredte inden for vejsektoren og til dataindsamling til f.eks. bymodellering

Som udgangspunkt for analyserne af de mulige løsninger til systemet er et krav om at dataindsamlingen skal være hurtig og til minimal gene for trafikken på vejene. På dette grundlag vil vi allerede her begrænse mulighederne til de luft- og bilbaserede systemer. Herudover behandles håndholdte systemer, da de i en vis udstrækning kan benyttes enten fra fly, helikopter eller bil. Men håndholdte systemer, som udelukkende kun kan betjenes i statisk tilstand behandles ikke, da de anses som værende direkte i konflikt med ønsket om ikke at være til gene for trafikken. Desuden medfører ophold langs en trafikeret vej en betydelig sikkerhedsmæssig risiko, som ikke er værd at tage, hvis det kan undgås.

Eksempler på MKSer

Eksemplerne på MKSer er inddelt i de luftbaserede og bilbaserede MKSer, derudover behandles i korte træk håndholdte systemer, der kan benyttes i bevægelse. Det er ikke samtlige systemer der findes som er beskrevet, men enkelte repræsentative systemer er valgt ud. De er medtaget her ud fra vurderinger af om de kan komme i betragtning til at løsnings af scenario 1. Dermed ikke sagt at de er de bedste indenfor

kategorien, for der findes sikkert mange andre systemer som vi ikke umiddelbart har kendskab til. Præsentationen af de efterfølgende eksempler skal bruges til at afgøre hvilken kategori eller type MKS, om man vil, der vil være den mest egnet til at løse scenario 1.

Luftbaseret mobil kortlægning

Som eksempel på hvad der kan opnås med et luftbaseret MKS, præsenteres i dette afsnit et par eksempler på MKSer, der anses som de mest relevante i forbindelsen med det valgte scenario.

Et system, der virker specielt interessant i den sammenhæng er et helikopterbåret laserskanningssystem beregnet til ”korridor kortlægning”. Det vil sige, der kortlægges en enkelt stribe med systemet – en korridor, det kan f.eks. være et jernbanetracé, en højspændings linie eller en vejstrækning. Dette system hedder FLI-MAP[®] og er udviklet af Fugro. Fugro udfører mange kortlægningsopgaver af



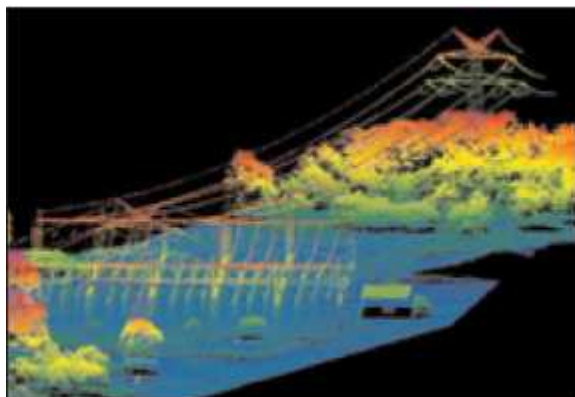
Figur 2.1 – Helikopter med FLI-MAP[®] systemet [FLI-MAP, 2005].

forskellig art, bl.a. med dette FLI-MAP[®] system [FUGRO, 2005].

FLI-MAP[®] systemet er et højteknologisk MKS, der integrerer en laserskanner og flere video- og still kameraer til dataindsamlingen. Laserskanneren kan indsamle op til 22.000 punkter i sekundet og har en skanningsvinkel på 60 grader. Den foretager 55 skanninger i sekundet og der kan opnås en særdeles høj punkttæthed for luftbåren laserskanning på 10 – 15 punkter pr. kvadratmeter. Punkterne kan bestemmes med en absolut 3D nøjagtighed på 5 – 8 cm. Systemet kan anvendes i 20 – 200 meters højde og bevæger sig med 50 – 70 km/t. Der kan opmåles ca. 150 km i en korridor om dagen, hvilket gør systemet til et meget effektivt og nøjagtigt redskab til kortlægning [Haasnoot, 2001].

FLI-MAP[®] systemet anvendes inden for flere forskellige områder, bl.a. kortlægning af jernbaner, veje og højspændingsledninger. Specielt bemærkelsesværdigt er det at systemet kan opfange højspændingsledningerne, men det kan altså lade sig gøre på grund af den punkttæthed, der kan opnås [FLI-MAP, 2005].

Vi anser FLI-MAP[®] systemet fra Fugro som et godt bud på et luftbåret MKS til at løse de opgaver Vejdirektoratet ønsker. Nøjagtigheden er dog ikke så god som den Vejdirektoratet har brug for, så på den baggrund kan opgaven formentlig ikke løses med FLI-MAP[®] i dens nuværende form eller alene.



Figur 2.2 – Kortlægning af højspændingsledninger med FLI-MAP® [FLI-MAP, 2005]

Af samme type luftbaserede systemer kan nævnes HELIMAP og Toposys. HELIMAP er et håndholdt system, der gør brug af et digitalkamera, laserskanner, IMU og GPS til umiddelbar opmåling fra en helikopter af f.eks. bjergvæge, korridorer af veje og mindre områder, der ønskes kortlagt i stor skala [HELIMAP, 2005]. Med systemet kan opnås nøjagtigheder på 15cm og derover. Systemet har den fordel at det er håndholdt og derfor er kalibreret og klar til brug. Det er dermed ikke afhængigt af fra hvilken platform det benyttes. TopoSys derimod er et system, der er fastmonteret på et fly, men består af samme type instrumenter som HELIMAP. Systemet kan derfor udelukkende kun bruges til vertikale målinger, i modsætning til HELIMAP som også kan måle horisontalt. TopoSys systemet kan levere flade modeller med en nøjagtighed på 0,5 til 2 m [TopoSys, 2005].

Der er, efter vores vurdering, flere ulemper ved de luftbårne systemer generelt, i forhold til de opstillede scenarier:

- Ved flyvende opmåling skal biler på vejene fjernes fra datasættet og der opstår derved ”huller” i data.
- Det er ikke muligt at foretage opmåling under broer og i tunneller, hvorved der opstår større områder uden data. Ligeledes kan der ikke måles frihøjder, hvis systemet på sigt skal kunne udbygges til at klare scenario 3. Det betyder at der efterfølgende skal anvendes andre opmålings metoder til indsamling af data for disse områder med ”huller”.
- Det er umiddelbart ikke nemt at måle de objekter, som findes i siden af vejen, så som kant pæle, skilte osv. fra et luftbaseret system.

Bil baseret mobil kortlægning

Det der er interessant omkring bilbaseret mobil kortlægning, er finde ud af om det kan lade sig gøre at udvikle MKSer, der kan levere gode nøjagtigheder på de opmålte objekter samtidig med at dataindsamling foregår i et tempo der er sammenligneligt med de luftbaserede systemer.

Der er flere eksempler på bilbaserede MKSer, der anvendes til opmåling. Blandt andet Vehicle-borne Laser Mapping System (VLMS),

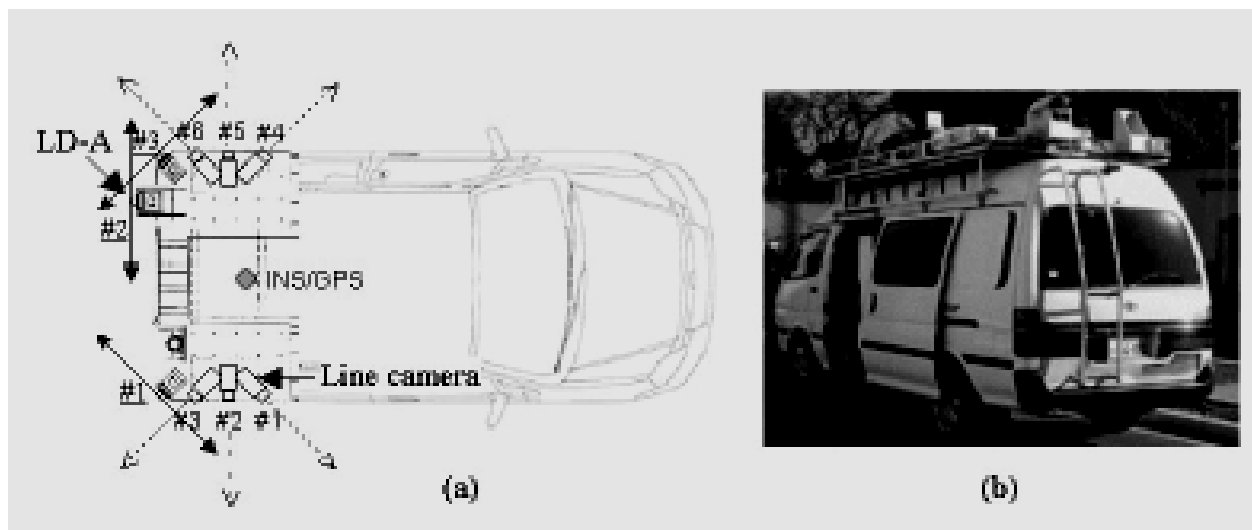
som er udviklet af bl.a. Centre for Spatial Information Science ved universitet i Tokyo.

VMLS integrerer 3 laserskannere (2D linieskannere), 6 kameraer og et GPS/INS navigationssystem. Dette MKS anvendes til opmåling af objekters geometri og optagelse af teksturer langs vejene. Det er data fra laserskannerne, der bruges til genereringen af 3D datasættet, hvorimod kameraerne kun anvendes til at danne teksturer. De anvendte laserskannere har en skanningsvinkel på 300 grader, frekvensen er 20 hz og et skan består af 600 punkter. Det giver en vinkel på $\frac{1}{2}$ grad mellem hver laserstråle og de har en specificeret nøjagtighed i målingerne på 3 cm. Med disse specifikationer har man kørt med 40 km/t under opmålingen [Manandhar, 2001b].

GPS/INS navigationssystemet, der anvendes på VMLS består af DGPS, INS og et digitalt odometer. Denne positionerings- og orienteringsenhed leverer en nøjagtighed på ca. 1 meter i horisontalplanet [Manandhar, 2001a].

De tre laserskannere er monteret på taget af bilen, hvor de skanner i tre forskellige retninger. Opsætningen er skitseret på tegningen i figur 2.3 [Zhao, 2004].

Der er mange andre, der har arbejdet med udvikling af bilbaserede MKSer. I dansk sammenhæng er det f.eks. et afgangprojekt ved Landinspektør-studiet fra 2002, arbejdet med et bilbaseret system, der betjener sig af tre GPS-modtagere til positionering og orientering af systemet. De tre GPS-modtagere giver 3D-kordinater til tre punkter, hvilket gør det muligt



Figur 2.3 – Skitse af instrumentopsætningen på VMLS (a), samt billede af bilen (b) med udstyret monteret. De tre laserskannere sidder bagerst på bilen, de sorte dobbeltpile angiver skanningsplanerne [Zhao, 2004].

at beregne position og orientering for systemet, kun på baggrund af GPS punkterne. Opmålingsinstrumenterne på dette system er to digitale kameraer, men systemet er ikke udviklet til at fortage opmålingerne i bevægelse. Det skyldes at der er valgt at se bort fra problemstillingerne berørende sensor integration mht. tiden, hvilket også ligger i periferien af landinspektørens fagområde. Derfor er det nødvendigt at bilen holder stille, når billederne tages.

Der er gennemført forskellige test af systemet og resultaterne viser, vejskilte kan koordineres i planen med nøjagtigheder på 12 til 25 cm, alt efter hvilken opmålingsmetode der anvendes, se i øvrigt [Jensen, 2002]. De opnåede nøjagtigheder er stærkt afhængige af afstanden til objektet, og de angivne nøjagtigheder er for afstande på omkring 10 m [Jensen, 2002].



Figur 2.4 Køretøjet benyttet som MKS platform, placeret foran et testfelt på bygningen - Fibigerstræde 13, 9220 Aalborg [Jensen, 2002].

Et andet eksempel på, hvor der i dansk sammenhæng er arbejdet med et udvikling af bilbaseret MKS, er hos Vejdirektoratet. Vejsektoren er et af de store anvendelsesområder for bilbaserede kortlægningssystemer og det er derfor meget relevant at se på hvad der sker hos Vejdirektoratet, i denne sammenhæng.

I Vejdirektoratets anlægsafdeling har man blandt andet udviklet en bil – DyRoS (Dynamic Road Surveying) – til kørende opmåling af vejlinier. Det er en bil, der er udstyret med bl.a. GPS, laser afstandsmåler, kameraer og forskellige instrumenter til at bestemme bilens orientering. Vejlinierne måles med en laser afstandsmåler, der er monteret direkte lodret under GPS antennen, således at koordinaten til vejlinjen er GPS koordinaten minus den afstand lasereren måler. Der korrigeres ligeledes i systemet med



Figur 2.5 – Vejdirektoratets DyRoS bil til kørende rational opmåling af vejlinier [Vejdirektoratet, 2005].

en kalibreret afstand mellem GPS antennen og lasermåleren og for bilens hældninger. Vejlinierne kan med denne bil måles med en absolut nøjagtighed på ca. 5 – 10 cm [Jensen, 1999]. Kameraerne anvendes udelukkende til visuelt at følge laserpunktet på vejlinien ved at chaufføren har en skærm på instrumentbordet, hvor billederne fra kameraet vises. Chaufføren bruger altså skærmen og dermed kameraerne til at styre efter, hvilket kræver en del opmærksomhed og kan derfor udgøre en færdselsrisiko [Jensen, 1999].

Desuden kan nævnes den håndholdte prototype, der blev udviklet på 8. semester af projektgruppen og stud. Geom. Torben Jensen. Systemet bestod af en IMU, GPS og et digitalt kamera monteret på GPS stokken. Med systemet kunne punkter på en mur fastlægges med en absolut nøjagtighed på ca. 50 cm i planen og 10 cm i højden [Jensen, 2004]. Systemet havde dog den svaghed at der ikke var 100% styr på IMUen og derfor var systemet begrænset kraftigt af denne, hvilket konkret betød at det ikke var så mobilt som ønsket. F.eks. skulle stokken stå i lod under opmålingen og der måtte ikke være for store og hurtige vinkelændringer omkring stokken. Principperne fra dette projekt kan dog benyttes i udviklingen af et nyt håndholdt system.

2.4 - Prototypen

Efter denne præsentation af eksempler på forskellige typer af MKS, der kan benyttes til at løse scenario 1, rettes fokus nu på at beskrive den prototype, der udvikles i dette projekt. I dette afsnit fastlægges derfor hvilken type MKS, der er relevant at arbejde videre med, med henblik på at kunne løse scenario 1 bedst.

Valg af opmålingsinstrument

Som scenario 1 angiver skal MKSet kunne levere en rimelig nøjagtig opmåling af veje og kørebanen, da det er nødvendigt at have styr på bl.a. afvandingen fra vejen. Det er ønsket at der skal arbejdes med en laserskanner i projektet og i det følgende fokuseres derfor på om dette ønske skal revideres på baggrund af den viden, der er opbygget gennem forrige afsnit.

I forrige afsnit er der præsenteret forskellige eksempler på luftbaserede og bilbaserede MKSer. Fælles for de mest udbyggede af de præsenterede MKSer er, at de benytter både laserskanner og kamera til dataindsamlingen. Det er laserskanneren, der anvendes som det primære opmålingsinstrument, og billederne fra kameraerne anvendes efterfølgende i databehandlingen til at fortolke og uddrage information fra laserdataene.

Laserskannernes fordel i forhold til kameraernes, ligger i at laserskanneren leverer nøjagtige målinger, der umiddelbart kan

konverteres til 3D koordinater. Ligeledes er der den fordel ved en laserskanner at der kan opnås en vis grad af automatisering i databehandlingen, hvilket kan betyde et fordelagtigt omkostnings-udbytte forhold. Endvidere er laserskannere ikke afhængige af lys- og kontrastforhold under opmålingen, som det er tilfældet med fotogrammetriske opmålinger. Til gengæld kan målinger med en laserskanner påvirkes af atmosfæriske forhold samt støv og vand, se i øvrigt afsnit 2.6 - Laserskanning. En laserskanners dataindsamlingsprincip foregår ved ”ikke-selektive målinger” (*non-selective*) og fotogrammetriske opmålinger giver ”selektive målinger”. Det betyder at punkter opmålt med laserskanner er mere eller mindre tilfældigt valgte punkter, der er altså ikke nødvendigvis opmålinger direkte til de ønskede objekter, i stedet kan det være nødvendigt at foretage modelleringer i punktskyen fra laserskanningen, for at få målinger til de ønskede objekter [Kaspar, 2004]. Ved fotogrammetriske opmålinger er al nødvendig information med i billederne og ved efterfølgende måling i billederne kan de ønskede objekter derfor måles direkte ved selektive målinger.

Nødvendigheden af efterfølgende modelleringer i punktskyen ved laserskanning gør, at der er brug for en meget høj punkttæthed i punktskyen, hvis den skal danne et nøjagtigt datagrundlag for modelleringerne.

Da det er rimelig ensartede flader, der ønskes fastlagt i scenario 1, fastholdes ønsket om at benytte en laserskanner til opmålingen. Det vurderes ligeledes at der på sigt kunne være fornuft i at implementere et eller flere kameraer f.eks. i forbindelse med genkendelse af afstribningen. Men med intensitets værdier fra laserskanneren burde det i teorien ikke være nødvendigt. Det er derfor oplagt at vælge en laserskanner, der understøtter dette for at kunne undersøge det nærmere. Desuden vil brugen af et kamera komplicere arbejdet med at udvikle en prototype yderligere og måske endda unødvendigt, hvis intensitetsværdier kan bruges. Derfor anvendes kameraer ikke i projektet, og denne mulighed behandles derfor ikke yderligere.

Selektive målinger

Direkte målinger af det objekt, der ønskes opmålt. F.eks. fotogrammetri eller måling med totalstation. [Kaspar, 2004]

Ikke-selektive målinger

Tilfældige målinger, der ikke rettes direkte efter det objekt der ønskes opmålt. F.eks. en laserskanning. [Kaspar, 2004]

Valg af MKS type

Det er nu fastlagt at opmålingsinstrumentet, efter at have revideret ønsket om brug af

laserskanner i forhold til den præsenterede viden om allerede eksisterende MKSer, stadig kun er en laserskanner og at der på sigt kan være fornuft i at implementere et eller flere kameraer. Dette ligger dog ud over dette projekt. En laserskanner er derfor stadig udgangspunktet, når der i dette afsnit vælges den type MKS, der er relevant at arbejde videre med i forbindelse med opmålingsopgaven specificeret i scenario 1. Vi har i afsnit 2.4 - Mulige løsninger til MKSet, præsenteret forskellige eksisterende MKSer, enten luft- eller bilbaserede. Desuden blev håndholdte MKSer, der kunne benyttes fra en af de to typer af platforme beskrevet. Det er derfor bilbaserede og luftbaserede systemer, der i dette afsnit diskuteres i forhold til det videre arbejde. Der er nævnt særlige problemstillinger, huller i data som følge af biler på vejen samt under broer i tunneller osv. er bare en af dem, i forhold til de luftbaserede systemer. De forhold må man tage med i overvejelserne, da det giver begrænsninger i anvendelsen og fuldstændigheden af data. Disse problemer kan undgås med de bilbaserede systemer, der kører på vejen og følger trafikken. På den baggrund virker det umiddelbart mest fornuftigt at arbejde videre med de bilbaserede systemer i projektet.

De ikke-selektive målinger, der foretages med en laserskanner kræver en efterfølgende modellering for at frembringe de ønskede resultater af opmålingen. For at der kan opnås acceptable nøjagtigheder i disse modelleringer,

er det nødvendigt med en nøjagtig laserskanning samt en relativ høj punkttæthed.

Punkttætheden afhænger af flere forskellige parametre. Det afhænger f.eks. af laserens frekvens og rotationshastighed samt hastigheden på det MKSet, og endelig har afstanden til de objekter der opmåles, også indflydelse på punkttætheden. Disse faktorer for punkttætheden behandles yderligere i afsnit 2.6 - Laserskanning.

Afstanden til kørebanen er en af de faktorer, der gør det attraktivt at anvende et bilbaseret system. Den kortere afstand fra bilen til kørebanen gør, at der opnås en meget højere punkttæthed i laserdataene, hvilket igen er med til at give en bedre nøjagtighed i de efterfølgende modelleringer. Desuden er laserskannere oftest også mere nøjagtige på kortere afstande end længere, se i øvrigt afsnit 2.6 - Laserskanning. Et luftbaseret system vil på grund af den større afstand, give en lavere punkttæthed og dårligere nøjagtighed i de indsamlede data og derfor modelleringerne ikke blive så nøjagtige. FLI-MAP[®] arbejder f.eks. i en flyvehøjde på ned til 20 meter og typisk ligger punkttætheden på 10 – 15 punkter pr. m², jf. afsnit 2.4 – Mulige løsninger til MKSet. Med et bilbaseret MKS kan det altså gøres bedre med de samme instrumenter. Det er selvfølgelig klart at området, der kortlægges er direkte afhængig af afstanden og derfor vil det være mindre fra en

bil være end fra et fly, hvis laserskanneren og dens indstillinger er de samme.

Det at et bilbaseret system befinder sig på vejen, gør det desuden muligt at gennemføre opmålinger under broer og i tunneller. Det vil ikke kunne lade sig gøre med luftbaserede systemer som f.eks. FLI-MAP[®], hvor broer og tunneller vil give huller i datasættet. Opmåling under broer og i tunneller stiller dog krav til positionerings- og orienteringsudstyret på bilen, da det skal kunne fungere som ”*dead reckoning*”, dvs. uafhængigt af satellitforbindelse til GPS modtageren. Dette vil forhindre at der opstår huller i datasættet omkring krydsende broer og ved tunneller.

Det er også yderst relevant, i forhold til valget af den type MKS, der arbejdes videre med, at Vejdirektoratet allerede har udviklet et bilbaseret MKS, der kan positioneres og orienteres i 3D. Dette system er DyRoS bilen, og den kan fungere som platform for et nyt system. Det vil med andre ord sige, at gennem en videreudvikling af DyRoS, burde det være muligt at udvikle et MKS, der kan løse scenario 1 samt de opgaver DyRoS benyttes til i dag.

DyRoS bilen bruges i dag til opmåling af langsgående vejlinier med en hastighed på 30 – 40 km/t [Vejdirektoratet, 2005]. Det er altså hastigheder, der er sammenlignelige med de øvrige systemer vi præsenterede i afsnit 2.4, f.eks. VLMS og FLY-MAP[®].

Fra Vejdirektoratets side er man også interesseret i at udvide DyRoS bilen med yderligere opmålingsudstyr, således den kan løse flere opmålingsopgaver mobilt [Jensen, 1999]. Det vil i praktisk betyde, at det er muligt for os at arbejde med en videreudvikling af DyRoS bilen i stedet for selv at skulle konstruere en platform. Da DyRoS bilen allerede er georefereret, vil en videreudvikling omhandle integrationen af en ny sensor på den eksisterende platform, altså en sensor integration og systemkalibrering, som omtalt i afsnit 2.3 – Principper i mobil kortlægning.

Argumenterne for et Bilbaseret MKS:

Kort afstand til de objekter, der skal opmåles.

Høj punkttæthed i punktskyen.

Minimering af forstyrrende objekter i punktskyen og dermed huller i data.

Mulighed for opmåling under broer og i tunneller.

Videreudvikling af eksisterende platform – DyRoS bilen.

Figur 2.6 – Argumenter for at der arbejdes med et bilbaseret MKS til opmåling af scenario 1.

Som opsamling på ovennævnte diskussion af hvilken type MKS vi finder det mest relevant at arbejde med, i forhold til scenario 1, har vi opstillet de vigtigste argumenter i figur 2.6.

På baggrund af ovennævnte diskussion baseret på foranalyse generelt, arbejdes med at integrere en laserskanner på DyRoS bilen i samarbejde med Vejdirektoratet. Det er vigtigt at pointere at integrationen af en laserskanner på DyRoS er blot ét skridt i udviklingen af bilen til et MKS, der kan løse flere af de opmålingsopgaver, der er i Vejdirektoratet (de tre scenarier). Dette ene skridt er beskrevet i scenario 1, men på sigt er det ønsket at kunne løse alle tre scenarier med ét MKS og én kørsel.

2.5 - Laserskanning

I dette afsnit undersøges hvilken laserskanner der egner sig bedst til opmålingen specificeret i scenario 1. Det sker på baggrund af en sammenligning af de mulige emner, vi har kunnet finde på internettet i skrivende stund, dvs. starten af marts 2005¹.

Men inden en nærmere behandling af laserskannere kan udføres, beskrives de grundlæggende principper for laserskannere, som grundlag for sammenligningen.

Grundlæggende principper

Det teoretiske grundlag for at sammenligne laserskannere beskrives i korte træk i dette afsnit. Det er nødvendigt at fastlægge de grundlæggende forhold og principper for laserskannere, for at sikre en entydig og klar begrebsforståelse.

De laserskannere, der er i fokus i dette afsnit er linie- og rækkeskannere. Der findes i litteraturen umiddelbart ikke nogen klar definition på disse to begreber og derfor er der udarbejdet egne definitioner på begreberne, der anvendes i dette projekt.

Det er kun linie- og rækkeskannere, der er i fokus på grund af;

- Umiddelbart er flere 1D eller en 2D laserskannere nok, da bilen ved at køre giver den sidste dimension for at få 3D koordinater.
- De fleste 3D laserskannere er beregnet til statisk måling og kan dermed ikke umiddelbart sættes til kun at skanne i en linie eller cirkel.

¹ Der gælder de samme forbehold for laserskannerene, som for de MKSer præsenteret i foregående afsnit. Det er ikke en udtømmende undersøgelse, der er foretaget af alle muligheder, men undersøgelsen er foregået på et mindre repræsentativt udsnit.

Målemetoder

Laserskannere kan inddeles alt efter hvilken metode, der anvendes til målingerne. Her er følgende definitionen benyttet [Kaspar, 2004].

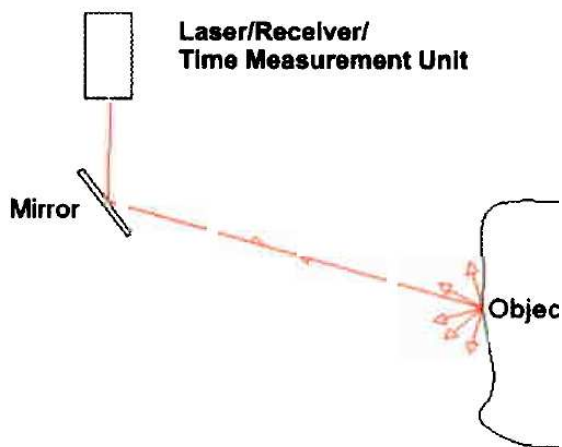
1. *Ranging scanner*, figur 2.7, (Afstandsmående skannere) og
2. *Triangulation scanner*, figur 2.8, (Triangulations skannere).

Som det fremgår af figurene 2.7 og 2.8 er forskellen helt enkelt om retursignalet registreres i laserscanneren eller om det registreres i et eller flere kameraer. Forskellen kommer i praktisk til udtryk i nøjagtigheden og den maksimale afstand, der kan opnås mellem objekt og skanner. Afstandsmående skannere er oftest mest nøjagtige ved større afstande og

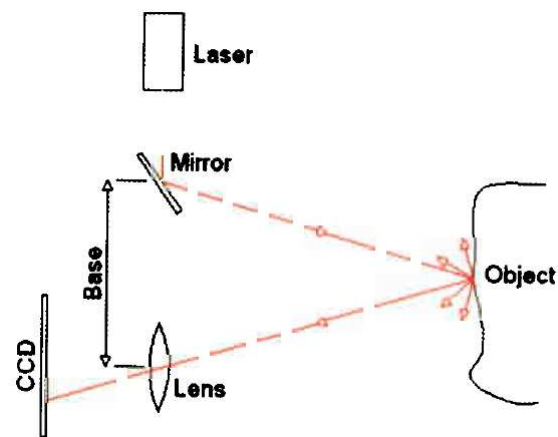
triangulations skannere er oftest mest nøjagtige ved kortere afstande [Kaspar, 2004]. I dette afsnit fokuseres på linie- og rækkeskannere og de er begge af typen afstandsmående skannere.

Linieskanner
En laserskanner, hvor lysstrålen udsendes således der dannes et 2D plan. (Laserpunkterne angives i 2D koordinater) Linieskanneren måler både en rotation omkring udsendelsespunktet og en afstand.

Rækkeskanner
Flere 1D laserskannere monteres ved siden af hinanden, på række, således lysstrålerne indbyrdes er parallelle. Rækkeskanneren måler kun afstande.



Figur 2.7 - Ranging scanner



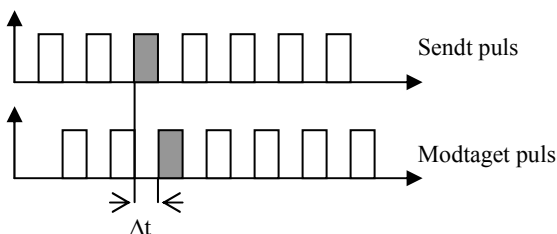
Figur 2.8 - Triangulation scanner med et kamera

Afstandsmåling

En laserskanner er grundlæggende et opmålingsinstrument, der udsender en laserstråle (lys), til at bestemme afstande til objekter. Når laserstrålen rammer et objekt reflekteres den og laserskanneren registrerer retursignalet. Der findes forskellige metoder til udsending (spejle, prismer, fibre osv.) og registrering af laserstråler, og dermed også hvorledes afstandsbestemmelsen udføres [wehr, 1999]. Der skelnes mellem puls, fase og frekvens laserskannere [Kaspar, 2004].

Det mest almindelige, er puls laserskannere og derfor vil vi i denne beskrivelse koncentrere os om denne type [Wehr, 1999].

I en puls laserskanner måles afstanden til objektet ved registrering af tidsforskellen Δt mellem den udsendte laserstråle og retursignalet, figur 2.9. Da laserstrålen udbredes med lysets hastighed kan den dobbelte afstand og herefter den aktuelle afstand beregnes. Denne type afstandsmålinger kaldes "time of flight"



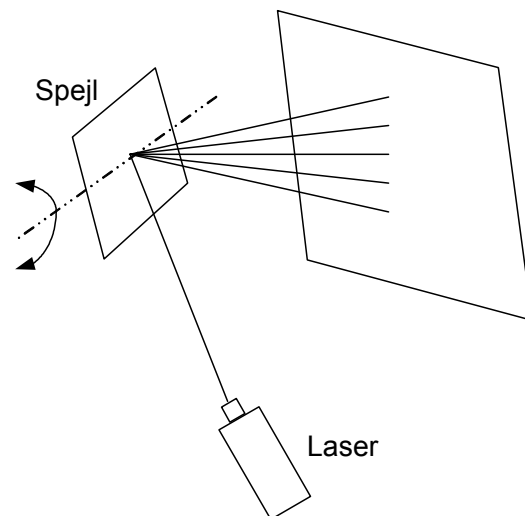
Figur 2.9 - Δt viser forskellen i tid mellem en sendt og modtaget puls.

Hastigheden for en laserstråle er lysets hastighed \sim ca. $3 \cdot 10^8$ m/s. Ved en afstand på **30 m** vil den registrerede tidsforskel derfor være **0,2 μ s** ($2 \cdot 10^{-7}$ s).

Figur 2.10 - Eksempel: Tidsforskel ved en afstand på 30m.

målinger. Tidsforskellen er oftest kun brøkdelen af et sekund og der kan derfor med denne metode opnås mange målinger pr. sekund.

Opmålingsteknikken er altså i høj grad sammenlignelig med f.eks. polær måling med en reflektorløs totalstation, og kan derfor i stor udstrækning også behandles som sådan med hensyn til f.eks. beregning og fejlkilder. Afstanden måles som ovennævnt på baggrund af



Figur 2.11 - Princippet for laserstråle refleksion med et spejl [Kaspar, 2004]

en tidsforskel og sammen med retningen for laserstrålen (for linesskannere) kan punktets koordinater findes. Ved en rækkeskanner benyttes afstanden målt af laserskanneren samt afstanden mellem de enkelte lasere til at beregne punktkoordinaterne.

De fleste linesskannere benytter et eller flere spejle til at udsende laserstrålen i en bestemt retning. Resultatet af de forskellige metoder, hvormed en laserskanner kan udsende laserstrålen, resulterer i forskellige skanningsmønstre, f.eks. cirkler, linier osv. Den mest almindelige metode til udsendelse af laserstrålen er et plant roterende spejl, hvilket giver et skannings mønster, hvor strålerne ligger i et 2D plan (linesskanner), se figur 2.11.

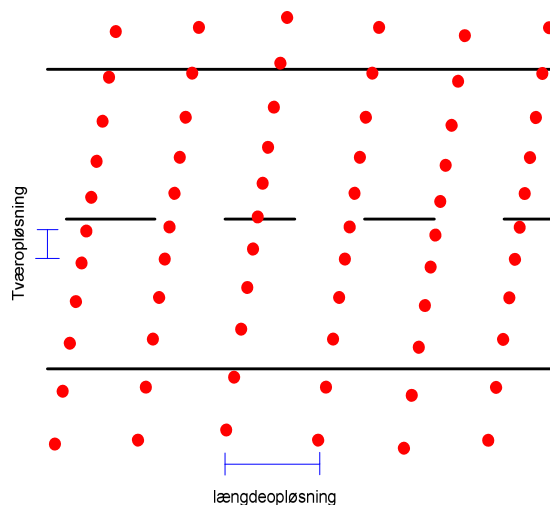
Desuden er fase og frekvens laserskanner nævnt som alternative metoder. Det er begge metoder, som benytter en kontinuerlig laserstråle og derfor kaldes de ofte for "continuous wave". Metoderne virker ved enten at måle faseforskydningen på den sendte og modtagne laserstråle eller frekvensforskydningen mellem den udsendte og den modtagne frekvens for laserstrålen.

Punkttæthed

Punkttætheden kan, jf. [Manandhar, 2001], inddeles i to opløsninger: "across track resolution" (tværopløsning) og "along track resolution" (længdeopløsning). Disse to begreber er skitseret i figur 2.12.

Hvor tæt laserstrålerne ligger i planet (tværopløsningen) afhænger primært af tre ting for en linesskanner. Hvor lang tid der går mellem to laserstråler sendes af sted, hvor hurtigt spejlet roterer og afstanden mellem skanneren og objekterne. Dette er hhv. laserskannerens frekvens, rotationshastighed og afstanden, der angives i henholdsvis hertz (hz), omdrejninger i minuttet (omdr./min.) og f.eks. cm eller mm. Tværopløsningen er ikke den samme på tværs af vejen da afstanden til objektet varieres. Ved en rækkeskanner er der kun en parameter; afstanden mellem de enkelte skannere.

De tre parametre for linesskanneren har stor betydning for den samlede punkttæthed, der kan opnås ved opmålinger med laserskanneren. Ud



Figur 2.12 – Tværopløsning og længdeopløsning i en punktsky fra linielaserskanningen af et vejstykke.

over de tre parametre for tværopløsningen har også platformens (hvor lineskanneren er monteret) hastighed stor betydning for længdeopløsningen. Det er platformens hastighed sammen med rotationshastigheden, der for en lineskanner angiver længdeopløsningen. For en rækkeskanner er det udelukkende lasernes frekvens og hastigheden på platformen.

Nøjagtighed og fejl

I dette afsnit behandles de parametre, der direkte kan have indflydelse på den nøjagtighed, der kan opnås, når der måles afstande med en laserskanner. Begrebet nøjagtighed anvendes i dette afsnit som en bred betegnelse for både nøjagtighed og præcision, da det vurderes at det er de samme parametre, der har indflydelse herpå.

Intensitet

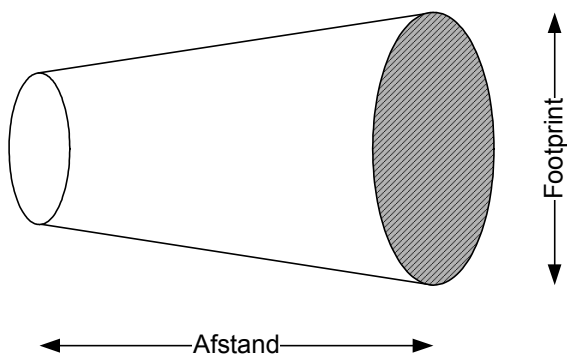
Nogle laserskannere kan, ud over afstanden og retningen, også give intensiteten af retursignalet som en del af output data. Intensiteten kan være vigtig at få fra laserskanneren, hvis man ønsker at korrigere for den type overflade strålen har ramt [Wehr, 1999]. Intensiteten af retursignalet afhænger altså af hvilket materiale laserstrålen har ramt. Med materiale menes overfladens struktur og farve. Derudover afhænger det også af afstanden til objektet samt laserstrålens bølgelængde og indfaldsvinkel. Intensiteten er afhæng af egenskaberne ved de enkelte laserskannere, f.eks. bølgelængde. Denne viden

om intensiteten kan bruges i forbindelse med opmåling af vejen til at bestemme om en stråle har ramt asfalt eller de lysreflekterende vejafstriberinger.

Manualerne til laserskannerne indeholder i de fleste tilfælde dokumentation for egenskaberne for skannerne på forskellige typer af materialer.

Footprint

Footprint er et begreb der dækker over størrelsen og formen på laserstrålen, når den rammer et objekt. Størrelsen på footprintet er afhængig af afstanden til objektet og det gælder at jo mindre den er, jo bedre er kvaliteten for målingen, da retursignalet bliver mere koncentreret. Laserstrålens form når den rammer et objekt varierer med indfaldsvinklen f.eks. er den cirkelformet, hvis den rammer vinkelret på en flad overflade eller som en ellipse, hvis



Figur 2.13 - Afstandens indflydelse på nøjagtigheden. Størrelsen for footprintet har indflydelse kvaliteten af målingen.

indfaldsvinklen på den flade overflade ikke er ret [Lichti, 2004]. Generelt gælder at laserlysbølger udbreder sig kegleformet vist på figur 2.13.

Fejlkilder

Hvis der f.eks. er en form for vand, så som rim, is og fugt på det objekt, der måles til kan intensiteten på retursignalet blive mindre og dermed er der en større usikkerhed i målingen. Dette skyldes at brydningen ændrer sig, når tætheden af vand stiger. Derfor er det heller ikke godt at måle i meget fugtige forhold, altså hvor der er vand i atmosfæren.

En af fejlkilderne ved afstandsmåling med laser er desuden forstyrrelser i atmosfæren som f.eks. vand, nævnt ovenstående, men det kan dog også være støv, små insekter eller lignende, som man umiddelbart ikke kan se. Disse fejl opstår ved at laserlyset reflekteres på objekterne i atmosfæren i stedet for objektet, som ønskes målt. Derfor er disse fejl ofte store og lette at finde. Det er de imidlertid ikke hvis kun en del af laserlyset reflekteres og der dermed registreres forskellige afstande på baggrund af de reflekterede laserstråler. Hvis f.eks. laserskanneren midler over flere retursignalerne bliver afstanden forkert. Af andre fejlkilder er atmosfæriske forstyrrelser, så som sollys, luftfugtighed, lufttryk, temperatur osv. Over kortere afstande (få meter) har disse dog ikke den store

betydning og derfor anses disse som værende ikke eksisterende.

Valg af laserskanner

På baggrund af den foregående korte gennemgang af den grundlæggende teori og de grundlæggende principper for laserskanning kan den bedst egnede laser skanner til dette projekt findes. Det sker ved at sammenligne flere forskellige produkter ift. hinanden på baggrund af den viden, der er opstillet i foregående afsnit.

Til denne sammenligning af laserskannere er der flere internationale firmaer, der har velegnede produkter. Undersøgelsen af markedet er dog begrænset til produkter, der umiddelbart kan implementeres i udviklingen af en prototype, og dermed ikke så meget på færdige løsninger til mere traditionel terrestrisk opmåling. Det skyldes blandt andet at de færdige løsninger oftest er optimeret til statiske 2D eller 3D målinger, og at de oftest er meget dyre i forhold til de ”rå” laserskannere. Det skyldes også at der i de færdige systemer oftest er konstruktionsmæssige forhold (kugleleje, servomotorer, stabilisatorer og software), der begrænser dem til vertikal statisk opmåling. Ligeledes gælder at disse systemer ofte ikke umiddelbart kan sættes til at måle en linie eller en cirkel, med undtagelse af blandt andet [Talaya, 2004].

Vi har fundet frem til flere ”rå” laserskannere, der er interessante, bl.a. laserskannere solgt

gennem de danske firmaer EIEproces, SICK og Nor-Pro. Andre aktuelle nordiske firmaer med laserskannere kunne være LMI (www.lmint.com), laseroptronix (www.laseroptronix.se) eller Greenwood (www.greenwood.dk), men de er ikke behandlet og med i sammenligningen. De enkelte laserskannere er valgt på baggrund af at de, som nævnt ovenstående, praktisk kan implementeres på prototypen igennem projektet. Da der er tale om danske firmaer er sandsynligheden for et samarbejde større end hvis der ingen tilknytning er til Danmark.

Med henblik på et samarbejde, er der indledende i projektfasen, taget kontakt til ovennævnte firmaer. Henvendelsen skete med henblik på lån af en laserskanner til yderligere test og implementering i prototypen².

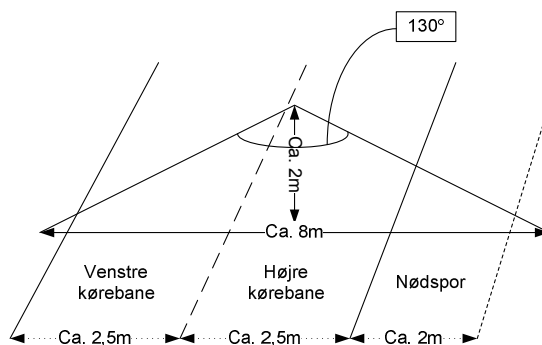
Inden sammenligningen af specifikationerne for de forskellige laserskannere blev udført, var resultatet af forespørgslerne at firmaet EIEproces, der blandt andet forhandler Acuity, ikke låner udstyr ud til videnskabelige projekter. Ligeledes er det ikke muligt at låne noget udstyr fra Nor-Pro, da de efter flere henvendelser ikke har svaret tilbage.

² Se CDen bag i rapporten for oversigt over korrespondance med evt. samarbejdspartnere.

Det har SICK derimod, og de var villige til at indgå i et samarbejde omkring udlån af en laserskanner og give vejledning i anvendelsen.

Vejdirektoratet er på et tidligere tidspunkt blevet introduceret til en SICK S3000 på en messe i Tyskland. Det er en 180° puls laserskanner. Den laserskanner, der er stillet til låns i projektet er en LMS 211 outdoor. Om sammenligningen i bilag D viser at det er LMS211 der er den bedste eller ej er dog ikke vigtig, da det er den eneste vi i praksis kan låne. Dermed er det på forhånd fastlagt at SICK LMS211 danner grundlaget for anvendelsen af laserskannere i dette projekt. Sammenligningen skal dermed afsløre, hvordan LMS 211 klarer sig i forhold til de andre laserskannere fra et af de andre firmaer.

Men et er hvordan situationen er i praksis, noget andet, og lige så vigtig, er hvordan situationen er i teorien. Med andre ord, hvilken laserskanner er den bedst egnet til den konkrete opgave?



Figur 2.14 - viser kravene fra scenario 1 på en 2 sporet motorvej

Af bilag D fremgår det at der er sammenlignet 7 forskellige skannere fra 5 producenter. En af laserskannerne, Profiler 5002 fra Zoller + Frölich, er kun medtaget for at kunne sammenligne de ”rå” laserskannere, med en af de mere udviklede opmålings- og kortlægningssystemer inden for laserskannere. Profiler 5002 bruges, ifølge producenten, bl.a. til opmåling i tunneller og er derfor måske også relevant ift. dette projekt, hvis det ikke var for før nævnte begrænsninger i brugen og pris.

De valgte laserskannere er sammenlignet på følgende punkter:

- Maks. skan dybde (mm)
- Min. skan dybde (mm)
- Maks. skan vinkel (grader)
- Nøjagtighed i dybden (\pm mm)
- Nøjagtighed i vinklen (grader)
- Målte punkter pr. sek. eller min. og maks. frekvens (Hz)

- Skans pr. sek.
- Størrelse på footprint (mrad eller mm ved en given afstand)
- Til ude / inde brug
- Intensitet som en del af output (ja/nej)
- Laser sikkerheds klasse
- Bemærkninger, herunder pris.

Der er også andre forhold, der kunne være relevante, det kunne f.eks. være bølgelængde,

output format, forbindelses type til computer osv., men det er valgt at begrænse sammenligningen til ovennævnte punkter og dermed se bort fra disse forhold.

Under bemærkninger er noteret, hvis der er oplysninger om f.eks. måletype og pris. Dette er forhold, der kan bruges i sammenligningen, men som ikke er altafgørende.

Som det fremgår af tabel D.1 i bilag D kan sammenligningsskemaet med alle de forskellige data virke lidt overskueligt, når den bedste laserskanner til prototypen og dermed til at løse scenario 1 skal findes. Derfor er der udarbejdet en sammenligningstabel D.2, der indeholder de samme punkter og de samme laserskannere, samt en ny søjle med minimumskravene for at kunne løse scenario 1. Tabel D.2 kan findes i bilag D. I stedet for dataene er der anført om den pågældende laserskanner opfylder minimumskravene med et 1. tal for ja og et 0. for nej. Dermed kan den laserskanner, der opnår flest point findes.

Kravene er opstillet på baggrund af indholdet scenario 1. Kravene er grafisk vist i figur 2.14, hvoraf det fremgår at minimumskravene for en skan vinkel er på 130° , hvilket i en højde på 2m, som passer til taget på en varevogn, giver et skan med en tværlængde på ca. 8m, som svarer til bredden på en 2 sporet motorvej. Afstanden mellem de enkelte skans skal være ca. 1m, hvilket ved en hastighed med bilen på 30km/t

giver ca. 8 skans i sekundet. Hvis laserskanneren måler punkter med $0,5^\circ$ interval betyder det at der mellem punkterne yders i skannet, altså ved rabatten og midten af vejen ca. er 10cm. Ved nøjagtighederne, størrelsen på footprintet samt pris får den med det bedste resultat et 1. tal. Denne metode er benyttet, da det er den bedste laserskanner, der ønskes fundet ved sammenligningen og dermed er de næstbedste jo umiddelbart ikke interessante.

Resultat

Den laserskanner der, på flest af de førnævnte punkter, klarer sig bedst er laserskanneren AR4000 fra Aquity, med hele 10 point ud af 13 mulige. De punkter hvor der ikke er givet et 1 tal til nøjagtigheden i vinklen, er det fordi det ikke er lykkedes at få den oplyst, samt fordi den ikke kan bruges ude og fordi laserstrålen i sikkerhedsklasse 3b. Det betyder at Ar4000 er den laserskanner, der har de bedst egnede specifikationer til dette projekt. Sagt på en anden måde, hvis der var frit valg mellem laserskannerne, ville vi låne den. Den er på flere punkter endda bedre end det færdige system fra Zoller + Frölich, Profiler 5002. Det er f.eks. angående nøjagtigheden, hvor den med Aquity er på 2,5mm og med Zoller + Frölich 3-5mm. LMD fra JENOPTIK, som er en 1D laserskanner, og dermed kan indgå i en rækkeskanner er også en mulighed, der kunne være aktuel. Det har dog ikke været muligt at få oplyst en pris for den, men der skal benyttes ca.

9 stk. pr. m for at få en punktafstand på 10cm på tværs af vejen. Derfor skal den være rigtig billig for at være en billigere løsning end Ar4000. Nøjagtighedsmæssigt er de to skannere næsten ens, der er en forskel på 0,5 mm, i favør til Ar4000. Derfor afskrives hermed muligheden for at udvikle og benytte flere lasere i en rækkeskanner til MKSet.

I teorien er det altså AR4000, som burde danne grundlag for det videre arbejde i dette projekt. Det er dog SICK LMS211 Outdoor, med sine 9 point ud af 13, der er til rådighed i projektet, og sammenlignes de to laserskannere datamæssig er der tydelig forskel på f.eks. nøjagtigheden, hvor SICK er helt oppe på 35mm. Dette kan give problemer i dette projekt, da kravet i scenario 1 er relativt på 1 cm og 3 cm absolut.. Der er dog den væsentlige fordel ved laserskanneren fra SICK, at den er designet til udendørs brug, hvilket er en klar fordel ved montering på en bil. Men sammenlignes de to laserskannere udelukkende på point altså hvor godt de opfylder kravene er forskellen kun 1 point, hvilket skyldes den før omtalte forskel i nøjagtigheden.

Alt i alt kan det altså konkluderes at selv om Aquity i teorien er den bedste, er laserskanneren, der benyttes i projektet udlånt af SICK, ikke så dårlig til at løse scenario 1. Den er måske lidt for dårlig nøjagtighedsmæssigt, men til gengæld kan den uden problemer klare udendørsbrug. Hvor vidt laserskanneren fra SICK kan opfylde

kravene fra scenario 1 eller ej undersøges nærmere i kapitel 5 – SICK LMS211. Desuden behandles specifikationer og egenskaber yderligere for til slut at teste den med hensyn til præcision, nøjagtighed og footprint.

2.6 - Opsamling

Gennem foranalysen er de grundlæggende principper og begreber inden for mobil kortlægning, behandlet. Denne behandling danner herefter grundlag for projektet som helhed.

I kapitlet er der indledningsvis, i samarbejde med Vejdirektoratet, opstillet forskellige scenarier, hvor et MKS kan benyttes. På baggrund af egne ønsker og Vejdirektoratets visioner, er scenario 1 udvalgt som rammerne for det videre arbejde med emnet mobil kortlægning i projektet.

Mulighederne for anvendelse af mobil kortlægning til den form for opmåling, der er specificeret i scenario 1 er behandlet. Der er fundet frem til at den bedst egnede type MKS til en sådan opgave er et bilbaseret system, der anvender en laserskanner som opmålingsinstrument. De klare fordele ved at anvende den bilbaserede type frem for luftbaserede eller håndholdt er at de er en hurtig og præcis metode, hvor man færdes på det objekt, der er genstand for opmåling – vejen. Dermed undgår man huller i data som følge af

andre biler eller andre genstande, der skygger som f.eks. broer når man laserskanner fra luften. Desuden er der med et bilbaseret MKS på sigt muligt at udvide systemet til at indbefatte flere scenarier. Det er heller ikke uvæsentlig at Vejdirektoratet allerede har et MKS, som måske kan bruges som platform for udviklingen af en prototype på et MKS i dette projekt. Denne platform er DyRoS bilen, som i dag bruges til at måle langsgående vejafstribninger.

Afslutningsvis var laserskannere, af den type der kan indgå i et MKS, genstand for en nærmere analyse. Teorien og begreber for laserskannere er behandlet og der er opstillet en sammenligning af laserskannere på markedet, der er egnede til integration i et MKS. Resultatet af denne sammenligning er at Aquity AR4000 er den bedste i teorien, det vil sige når man ser på dataene for dem alle. I praksis benyttes dog laserskanneren SICK LMS211 outdoor, da det er den der er udlånt til brug i projektet. Der er ikke den store forskel på de to laserskannere, hvis man ser på pointerne givet i sammenligningen i bilag D. Det eneste punkt, hvor LMS211 er dårligere end AR4000 er nøjagtigheden. Forskellen er konkret henholdsvis 35mm og 2,5mm, men om det i praksis kommer til at have en betydning er endnu uvist, da data bl.a. skal modelleres for at beskrive vejen som flader.

De vigtigste resultater fra denne foranalyse er opstillet i tabel 2.1, og med udgangspunkt i dette

kapitel kan projektets problemformulering nu derfor opstilles.

Resultater fra foranalysen

Behov for mobil kortlægning i Vejdirektoratet.

Der skal arbejdes med et bilbaseret MKS.

DyRoS kan måske benyttes som platform.

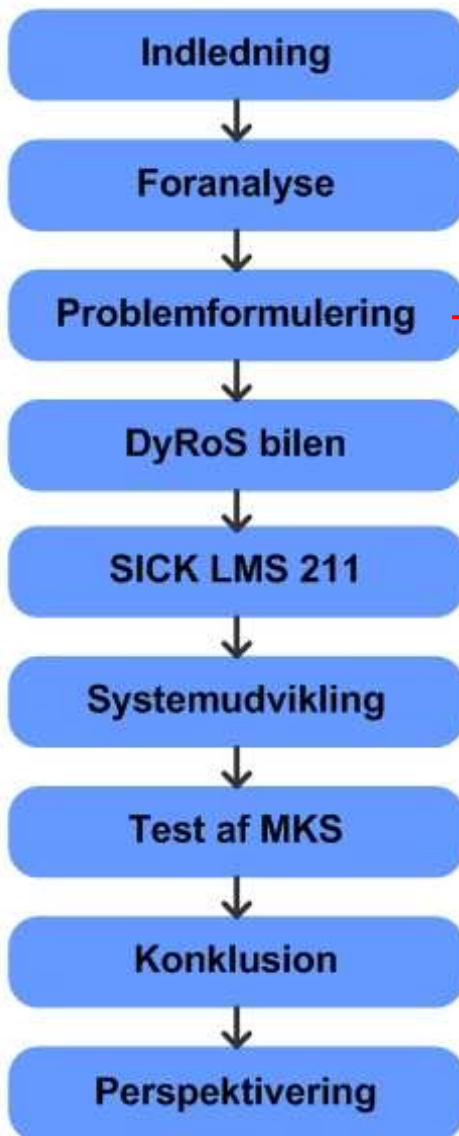
Der skal anvendes en laserskanner til opmåling.

Acuity AR4000 er mest velegnet til formålet, men ikke til rådighed.

SICK LMS 211 Outdoor er til rådighed i projektarbejdet.

Tabel 2.1 Opsamling på resultater fra foranalysen.

3 - Problemformulering



Problemformuleringen fastlægger de problemstillinger, der skal arbejdes videre med i projektet. I udvælgelsen af disse problemstillinger tages udgangspunkt i både kapitel 1 - Indledning og kapitel 2 – Foranalyse og resultaterne herfra. Problemformuleringen fastlægger retningen for resten af projektet og derfor afgrænses det overordnede projektemne, mobil kortlægning, eksplicit yderligere.

Det grundlæggende emneområde i dette projekt er mobil kortlægning. Gennem de to første kapitler, er der åbnet op for behandlingen af det overordnede mål med projektet, og problemområdet er blevet indsnævret til arbejdet med udviklingen af en prototype på et MKS til brug i Vejdirektoratet. Dette mål kan karakteriseres mere som en praktisk opgave, hvis den blev stillet i en privat virksomhed, end som et videnskabeligt problem, som det er defineret i en videnskabelig sammenhæng [Adolphsen, 2000]. Problemstillingen kan dog alligevel benyttes som problemstilling i dette afgangsprøve ved landinspektørstudiet og dermed i videnskabelig sammenhæng. Det kan det fordi de enkelte elementer i at konstruere og udvikle prototypen, er grebet an med en videnskabelig problemorienteret tilgang. Desuden er der anvendt videnskabelige anerkendte metoder til håndtering af delelementer i projektarbejdet, for at sikre at resultatet, og dermed også det bagved læggende arbejdet, kan vurderes af andre og at projektet og resultaterne dermed er reproducerbart, se afsnit 1.2 – Metode til projektarbejdet.

I det følgende fastlægges retningen og rammerne for den resterende del af projektet på baggrund af de resultater og den viden, der er opnået gennem arbejdet af rapporteret i kapitel 1 – Indledning og kapitel 2 – Foranalyse. Ligeledes konkretiseres essensen af målet af arbejdet med projektemnet i en problemformulering.

3.1 - Problemstilling

Udgangspunktet for projektarbejdet, og dermed baggrunden for valget af det overordnede projektemne, er at undersøge hvordan (både praktisk og teoretisk) laserskanning kan anvendes til mobil kortlægning. For at konkretisere problemstillingen og producere resultater som måske kan gavne andre end os selv samarbejdes med Vejdirektoratet om udvikling af en prototype på et MKS, som skal anvendes til opmåling af veje.

Gennem foranalysen er den grundlæggende teori, begreber og principper for at kunne behandle det overordnede emne mobil kortlægning, opstillet og defineret. Ud fra det overordnede mål med at udvikle et MKS, der gør brug af en laserskanner, fastlægges først Vejdirektoratets visioner og ønsker med henblik på opstilling af krav til MKSet. Dette arbejde har resulteret i at der er opstillet tre forskellige men sammenhængende scenarier for hvor og hvordan et MKS kan opfylde Vejdirektoratet vision om nytænkning, udvikling, besparelser, effektivisering osv. Den første og mest grundlæggende, med hensyn til dataindsamlingen, af de tre scenarier er valgt til at danne grundlag for arbejdet i projektet.

På baggrund af kravene fra det opstillede scenario 1 og dermed også de mere overordnede krav og ønsker fra Vejdirektoratet, er der analyseret og sammenlignet forskellige typer af MKSer, som kunne tænkes at løse

problemstillingen. Det er primært luft- og bilbaserede MKSer, det vil sige hvor platformen er fly, helikopter, køretøjer og håndholdte. Ud fra forskellige overvejelser om størst fuldstændighed i data, hurtigst og bedst dataindsamling, er det valgt at et bilbaseret MKS er den bedste løsning til opgaven. Da Vejdirektoratet i dag har flere bilbaserede MKSer er det endvidere valgt at tage udgangspunkt i en af disse – nemlig DyRoS bilen. Bilen benyttes til rationel og præcis indmåling af langsgående vejlinier, som f.eks. midterstriber, kantlinier osv. [Jensen, 1999].

Ønsket fra projektgruppen har fra starten af projektet været at arbejde med integration af en laserskanner på et MKS og derfor er der taget udgangspunkt i dette ønske i udformningen af indholdet i projekt. Derfor falder det naturligt, at der inden selve valget af laserskanner til prototypen i projektet, er fokus på at behandle og beskrive den bagvedliggende teori for laserskannere, nærmere bestemt de to typer, der kaldes for linie- og rækkeskannere. Forskellige modeller af laserskannere er efterfølgende sammenlignet med henblik på udvælgelse af den bedste egnede til formålet. Den bedste til formålet er Aquity AR4000, men det er ikke muligt at få den stillet til rådighed i projektet. Derimod er det muligt at låne den næstbedste, som er en SICK LMS 211. Derfor er de resultaterne, der kan opnås med prototypen, begrænsede af de specifikationer som

laserskanneren LMS 211 har i forhold til Ar4000.

Resultatet på foranalysen er derfor kort opsummeret, at der i den resterende del af dette projekt arbejdes med et bilbaseret MKS, med en laserskanner som opmålingsinstrument.

På baggrund heraf kan problemformuleringen for projektet derfor udtrykkes som:

Hvordan integreres linie laserskanneren SICK LMS211 på DyRoS bilen, således at det samlet udgør et MKS?

MKSet skal udvikles på baggrund af kravene opstillet i scenario 1, således det så vidt muligt er i stand til at løse den opmålingsmæssige del af dette scenario.

Der fokuseres gennem projektet på koordinat beregninger og system konstruktion og kalibrering. Men problemstillinger omkring tids synkronisering, software udvikling og efterfølgende databehandling (modellering) afgrænser vi os fra. Ligeledes ønskes DyRoS benyttet som den er, der skal eller må altså ikke foretages nogen konstruktions eller opsætningsmæssige ændringer på bilen, som måske ville være gavnlige for den samlede præstation af MKSet.

Denne problemformuleringen indeholder mange elementer og giver anledning til en del

problemer som ønskes løst. I det følgende beskrives derfor hvorledes denne problemformulering ønskes behandlet i projekt. Det vil sige, hvilke elementer af problemstillingen der arbejdes med i projektet. De elementer, der ikke arbejdes med i projektet, beskrives altså ikke direkte, men består af alle de elementer, der ikke indgår i følgende beskrivelse.

Uddybning af problemformuleringen

Til dette projektarbejde har vi lånt en 2D lineskanner af det tyske firma SICK via dets danske repræsentant. Der er tale om en LMS 211 Outdoor, og den behandles nærmere i kapitel 5 – SICK LMS 211, for at kunne anvendes i prototypen. Det er dog vigtigt igen at slå fast, at det ikke er den bedst egnede laserskanner til måling fra et MKS, men den er fuldt ud tilstrækkeligt til udviklingen af den prototype, der arbejdes med i dette projekt.

Laserskanneren kan monteres og integreres på DyRoS bilen, der udgør en georefereret mobil platform. Målet er at prototypen udvikles således der kan foretages målinger af vejen, som beskrevet i scenario 1. MKS'et kan måske endda i fremtiden, udgøre en platform for monteringen af yderligere instrumenter og derigennem opmåling af objekter, som skal refereres til kørebanen (scenario 2 og 3). Det kan f.eks. være skilte, afstribning eller frihøjder under broer. Dette behandles dog ikke i projektet.

Problemstillingen er derfor at undersøge om den eksisterende platform som DyRoS bilen udgør, kan bruges som platform for MKS prototypen og om laserskanneren, der er stillet til rådighed kan bruges.

Det sker konkret i to kapitler, hvor først DyRoS bilen og dernæst laserskanneren undersøges nærmere. DyRoS bilen testes ikke, da den jævnligt bruges af Vejdirektoratet, og derfor er dens præstationer kendt og kan dokumenteres. Endvidere er det ikke muligt at ændre på konstruktion eller instrumenterne på DyRoS bilen. Laserskanneren testes med hensyn til præcision, nøjagtighed og footprint i forhold til de opgivne specifikationer.

Efterfølgende beskrives i kapitel 6 – Systemudvikling, hvorledes prototypen konstrueres. Herunder hvordan metoder til systemkalibrering kan udformes således, der kan findes georefererede koordinater til punkterne fra laserskanneren. Da der ikke udvikles en færdigudviklet prototype, men en ”smid-væk” prototype arbejdes der ikke med software udvikling, tids synkronisering samt automatiseret databehandling og modellering. Prototypen testes dog i kapitel 7 – Test af MKSet, således resultaterne kan sammenholdes med kravene defineret gennem dette afsnit og scenario 1. Metoden til test, resultater og diskussion heraf er afrapporteret i et selvstændigt kapitel og leder dermed op til konklusionen på projektet.

Afrunding

At der i dette projekt arbejdes på en prototype efter ”smid-væk” metoden, hænger bl.a. sammen med at udviklingen af et samlet færdigudviklet MKS er et større tværfagligt arbejde, hvor nogle delproblemer ligger uden for vores fagområde. Derfor er det heller ikke muligt at løse alle problemer vedrørende udviklingen af et MKS i dette projekt. De delproblemer vi tager fat på er primært dem, der ligger inden for vores fagområde og det er:

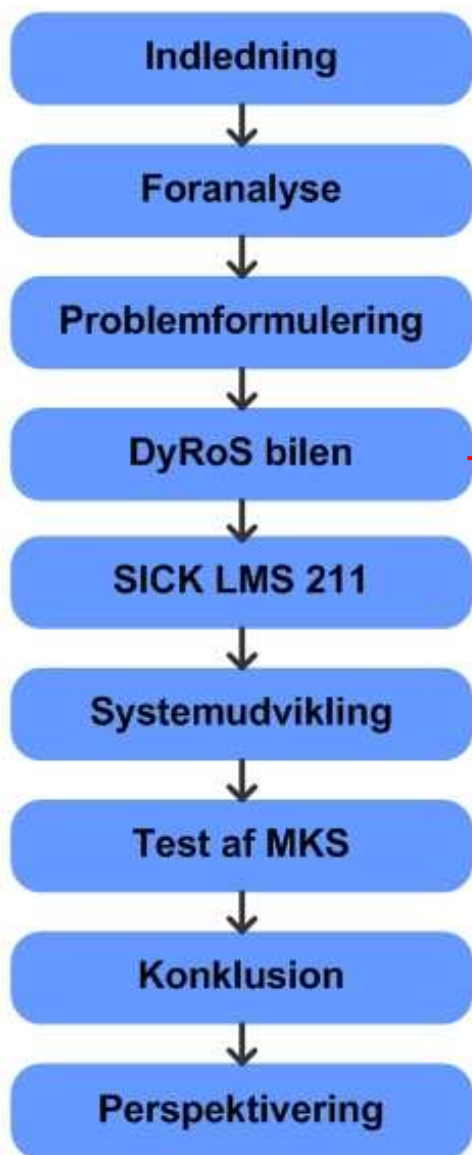
- Fastlæggelse og opstilling af krav til prototypen.
- Analyse og valg af MKS type.
- Analyse og valg af laserskanner model.
- Analyse af DyRoS bilen.
- Analyse og test af linieskanner SICK LMS 211.
- System udvikling og systemkonstruktion.
- Opstilling af metoder til systemkalibrering.
- Udvikling af metoder til test af prototypen og vurdering af resultaterne.
- Uddrage de væsentligste resultater og viden, med henblik på at skabe et grundlag for udarbejdelse af en ny prototype eller et færdig udviklet MKS.

De delproblemer, der hører under andre fagområder end det landinspektørfaglige, og derfor umiddelbart ikke kan løses optimalt i

dette projekt, er emner som softwareløsninger til en samlet integration af de forskellige enheder, synkronisering af tiden og problemstillinger, der typisk hører under mere elektroniske og datalogiske fagområder.

Vi må derfor tage udgangspunkt i de elementer, der ligger inden for vores faglige kompetencer. Det er vigtigt at få beskrevet de valg, der er truffet i den proces vi går igennem, for at løse problemstillingen, og derfor er der stor fokus herpå. Dermed kan eventuelle problemer, der skal løses anderledes, føres tilbage til de steder hvor de afgørende valg på det aktuelle område er truffet.

4 - DyRoS bilen



DyRoS bilen analyseres i dette afsnit for at få fastlagt hvordan integrationen af laserskanneren kan ske. DyRoS bilen testes ikke, endvidere er det ikke muligt at ændre på konstruktion eller instrumenterne på DyRoS bilen, hvorfor disse kun beskrives.

Vejdirektoratet har, som beskrevet i kapitel 2 - Foranalyse, i dag allerede en bil, der fungerer som et MKS. Udviklingen af denne bil startede i 1995 i landmålingsafdelingen ved Vejdirektoratet. Det skete i samarbejde med COWI [Jensen, 1995], men er senere i flere etaper blevet videreudviklet og videreudbygget. Bilen benyttes til rationel og præcis indmåling af langsgående vejlinier, som f.eks. midterstriber, kantlinier osv. [Jensen, 1999]. Bilen er positioneret og orienteret ved hjælp af henholdsvis en GPS og en orienteringsenhed kaldet smallPOS. Det er en inertiel måleenhed, der anvender gyroer, inclinometer, digital kompas og odometer (digital triptæller) til orientering og positionering af bilen. Denne bil kaldes til daglig DyRoS (Dynamic Road Surveying) og det er den, der analyseres yderligere i dette kapitel, med henblik på at danne vidensgrundlag for integrationen af



Figur 4.1 - DyRoS bilen [Vejdirektoratet, 2005].

laserskanneren LMS 211 outdoor. Som beskrevet i kapitel 3 – Problemformulering, er DyRoS bilen ikke genstand for konstruktionsmæssige ændringer eller videreudvikling, da den jævnligt benyttes. Derfor anvendes DyRoS bilen, som den er, med de fordele og ulemper, det indebærer.

4.1 - Allerede integreret udstyr

I dette afsnit fokuseres på hvilket udstyr, der er allerede er integreret på DyRoS, og dermed udgør teknikken i DyRoS bilen. Det har til formål at klarlægge hvilke komponenter, der leverer henholdsvis positionering og orientering af bilen.

GPS

Der er indbygget en differentiell GPS modtager, til positionering. GPS antennen er monteret på en konstruktion på taget, både for at have frit udsyn til satellitterne og af mere praktiske årsager. Her tænkes blandt andet på at GPS antennen er monteret lige over laserafstandsmåleren, hvilket vi kommer tilbage til i afsnittet om smallPOSen. Der er monteret en GPS antenne på hver side af bilen, men der benyttes kun en ad gangen. Der er dog mulighed for hurtigt at skifte mellem de to antenner alt efter hvilken side af bilen, der ønskes målt fra.

Tidligere anvendte man egen reference til de differentielle GPS målinger [Jensen, 1995]. Men

i dag benyttes GPS tjenester over mobil-nettet, oftest benyttes GPSnet. Konkret er telefon modemmet i DyRoS en smallTRIP [smalltouch, 2005]. Dermed kan GPSen i DyRoS levere nøjagtigheder på ca. 1cm i planen og 1-2cm i højden, vurderet på baggrund af egne erfaringer, fra tidligere semestre, med GPS måling.

GPSen benyttes ud over positionering, også til at udløse en registrering eller måling fra de andre sensorer/instrumenter, der findes i DyRoS bilen. GPSens pps benyttes som trigger signal. Dermed afhænger nøjagtigheden af tidsynkroniseringen i DyRoS af hvor godt tiden mellem de enkelte instrumenter i DyRoS er bestemt. Tiden mellem de enkelte instrumenter kan simplificeret, udtrykkes ved den tid, der går fra trigger signalet afsendes til en lagring, og dermed en tidsstempling finder sted i computeren.

SmallPOS

Enheden til orientering af bilen hedder smallPOS og er udviklet af firmaet smalltouch i Aarhus [smalltouch, 2005].

SmallPOS er en enhed, der indeholder gyroer, inclinometere og et digitalt kompas til fastlæggelse af pitch, roll og heading for bilen. Inclinometerne og gyroerne giver værdier for bilens pitch og roll, i forhold til vandret [Jensen, 1999]. En gyro og det digitale kompas giver heading i forhold til nord. Derudover er der et elektronisk odometer, der gør det muligt,

sammen med ovennævnte sensorer, at positionere bilen, når den er uden for satelliternes rækkevidde. Det kan også være i forhold til en given kilometrering på vejen, f.eks. kantpæle.

Specifikationer for smallPOS

Heading information, bedre end 0,5 % FS (“Full scale”)

Pitch og roll bedre end 0,1 grad.

Arbejdstemperatur: -20 til +70 grader C

[Smalltouch, 2005]

Output er standard NMEA positioner fra GPSen og rå real-time heading, pitch og roll information fra alle sensorerne [Smalltouch, 2005].



Laser afstandsmåler

På DyRoS bilen er der monteret en 1D laserafstandsmåler. Den benyttes til at måle afstanden fra konstruktionen på taget af bilen og ned til vejen. Laserafstandsmåleren benytter synligt laserlys og laserpunktet på asfalten repræsenterer punktet under GPS-antennen, se figur 4.2 [Jensen, 1999]. Laserafstandsmålingen udløses, når der registreres en GPS position af GPS systemets tigger signal.

Videokamera

De tre videokameraer, der er monteret på DyRoS bilen, giver billeder der kan vises på en skærm i bilen. De tre videokameraer benyttes til flere formål. Under bevægelse bruges de til at chaufføren kan se laserpunktet på asfalten, og dermed navigere bilen efter dette, således den afstribning eller det punkt, der ønskes målt befinder sig under laserpunktet og dermed registreres. Derudover kan de bruges til



Figur 4.3 – Konstruktionen på taget af DyRoS, som den ser ud. Dog er afstiveren ikke låst.

dokumentation for hvilke punkter der er registreret [Jensen]. Kameraerne kan i stilstand bruges til at registrere objekter ved siden af bilen. Kameraerne bruges til at standses nøjagtigt ud for en kilometerpæl, og den kan registreres, da kameraet står vinkelret på kørselsretningen og i linie med GPS antennen. Denne registrering giver dog kun en position på f.eks. kantlinien ud for en kilometerpæl og ikke kilometerpæls koordinater.

4.2 - Opbygning

DyRoS består af ovennævnte sensorer/instrumenter, og dette afsnit præsenterer hvordan de er placeret i forhold til hinanden på bilen, hvilke koordinatsystemer der anvendes og hvordan dataflowet og brugerinterfacet i bilen er opbygget.

Konstruktionsbeskrivelse

Bilen er Mercedes Vito 110D, en varevogn indrettet til specielt til formålet. På taget er der monteret en konstruktion i jern, som det fremgår af figur 4.3. Som vist i figur 4.2 og 4.3 er GPS, laser og smallPOS enhederne placeret øverst på skiltedelen af konstruktionen. Denne skiltedel kan vippe op og ned, dvs. op til lodret når der måles og ned til taget når bilen ikke bruges. Skiltedelen består desuden af et opmålings skilt, samt lamper til at angive hvilken vej andre trafikanter skal køre omkring om bilen. Derfor er skiltedelen rimelig tung og for at afstive den

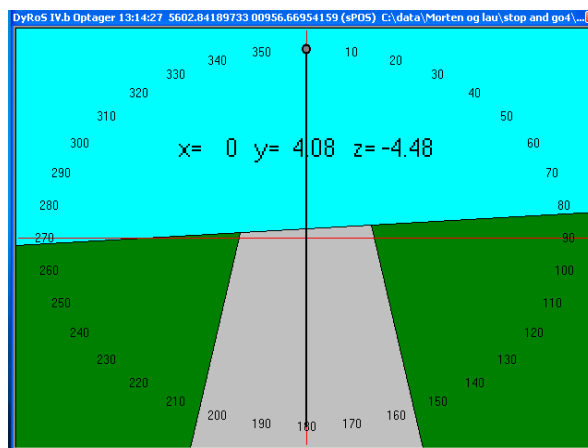
under kørsel er der monteret en jernstang i den ene side som kan låses. De tre videokameraer sidder på konstruktionen ved bilens tag, lidt ud over siden på bilen, således der er frit udsyn til vejen umiddelbart ved siden af bilen. Derudover er der flere advarselsslamper og gule rotorblink på bilen. Konstruktionen virker umiddelbart stabil, men det er svært at sige noget om hvordan den arter sig under kørsel. Skildedelen der kan hæves op og ned må anses som en usikker del af konstruktionen.

Koordinatsystem

Koordinatsystemet for DyRoS bilen (body koordinatsystemet) er defineret som et højrehåndssystem, med x-aksen som bilens tværreretning. y-aksen sammenfaldende med kørselsretningen (bilens længderetning) og z-aksen opad vinkelret på de to andre akser. Det kommer vi tilbage til i kapitel 6 – Systemudvikling. Det er forudsat at sensorerne i smallPOSen er monteret så præcist at man kan betragte den som sammenfaldende med bilens længde- og tværreretning.

Dataflow/-interface

I DyRoS bilen anvendes en touchskærm, som viser det grafiske billede fra computeren. På computeren er ligeledes installeret specielt designet software, der gør det muligt at indstille forskellige parametre for DyRoS, samt at se en grafisk visning af bilens orientering, se f.eks.



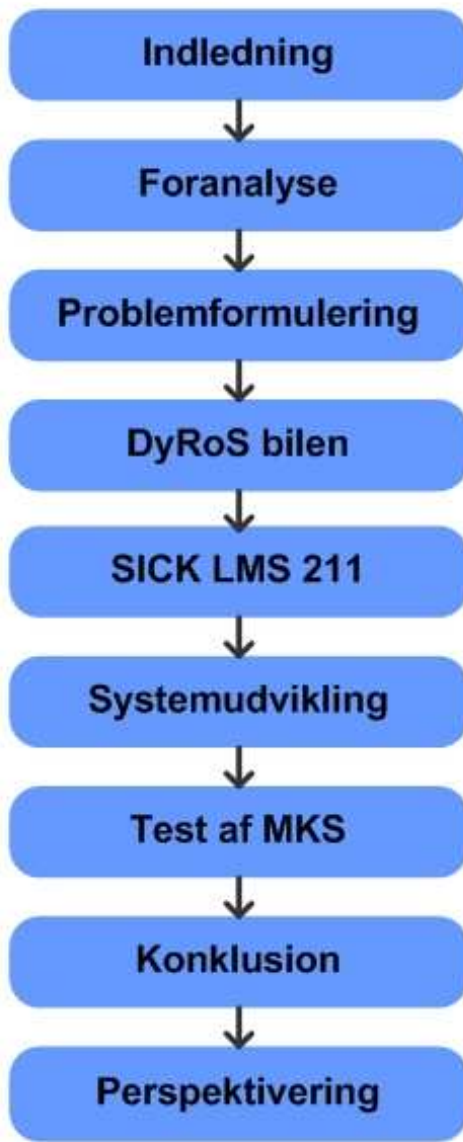
Figur 4.4 - Grafisk præsentation af DyRoS bilens orientering.

figur 4.4. Desuden kan de forskellige videosignaler vises, se figur 4.5 og dette benyttes til at navigere laserpunktet på vejen efter, således f.eks. kanten af afstribningen som ønskes opmålt befinder sig under laserpunktet. På standard skærmbilledet vist i figur 4.5 findes desuden oplysninger omkring antallet af satellitter og 3D nøjagtighed for GPS målingerne. I softwaren kan der indstilles forskellige lydalarmer som udløses hvis der f.eks. ikke er nok satellitter. Disse alarmer er med til at chaufføren bedre kan koncentrere sig om kørslen og dermed øges trafikikkerheden. Målingerne gemmes løbende i en tekst fil og kan efterfølgende flyttes fra computeren på en diskette, da de ikke fylder ret meget. Som eksempel fylder data for 15sek. fra DyRoS målingerne 5kb. Til sammenligning kan det oplyses at de tilsvarende data fra laserskanneren fylder 244kb. .



Figur 4.5 - Touch-skærmen i DyRoS bilen. Her med et skærbillede fra DyRoS softwaren.

5 – SICK LMS 211



Dette kapitel beskriver specifikationer og egenskaber for laserskanneren LMS 211 Outdoor. Derudover er der gennemført nogle enkelte test af blandt andet præcision, nøjagtighed og størrelsen af footprintet, som også dokumenteres i dette kapitel.



Figur 5.1 – SICK LMS 211 Outdoor.

LMS 211 Outdoor er en linie skanner, produceret af det tyske firma SICK, vist på figur 5.1. Den anvender et roterende spejl til at sende de enkelte laserstråler i forskellige retninger med en vinkelopløsning på enten 0,25°, 0,5° eller 1°. Retningerne bestemmes med en sensor, der er monteret på platformen for det roterende spejl. Laserskanneren måler efter puls metoden eller på engelsk "time of flight" princippet. Derfor er der ikke tale om en konstant laserstråle, men en række meget korte laserpulser ("beams"). [SICK, 2005b] Det vil sige at afstanden beregnes ud fra den tidsforskellen, mellem en laserpuls afsendes til det reflekterede signal returneres og modtages, se desuden afsnit 2.6 - Laserskanning.

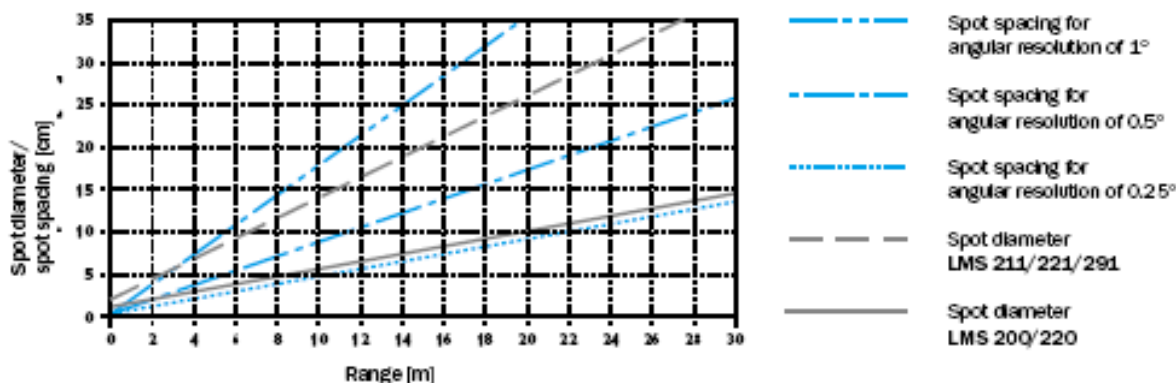
Tabel 5.1 viser specifikationerne for SICK LMS 211, som de er opgivet af producenten. Nogle af disse specifikationer er genstand for yderligere test i dette afsnit. Det er f.eks. skanningsvinkel og præcision. En anden egenskab for

Specifikation for LMS 211 Outdoor	
Afstandsmåling	Puls
Max. afstand	80 m
Ved 10 % refleksion	30 m
Skanningsvinkel	100 grader
Vinkelopløsning	Min. 0,25 grader
Tid for en rotation	13,32 ms
Præcision	+/- 35 mm
Laserklasse	1 (eye-safe)
Bølgelængde	905 nm
Ydre dimensioner	155x210x156 mm
Arbejdstemperatur	-30 - + 50 grader

Tabel 5.1 – Specifikationer for laserskanneren SICK LMS 211 Outdoor [SICK 2005a].

laserskanneren, der også testes, er størrelsen på laserstrålens footprint.

Producenten har opgivet størrelsen for footprintet, samt afstanden mellem centrum for to footprints ved forskellige måleafstande. Det er rent grafisk vist med kurver i et diagram, der er vist på figur 5.2. Heraf fremgår det f.eks. at for en LMS 211 er diameteren for footprintet ca. 5 cm ved 2 meter og der er en afstand mellem centrum for de enkelte footprints på ca. 2,5 cm ved en vinkelopløsning på 0,5°. Det betyder at de enkelte footprints lige akkurat rører ved hinanden, der er altså ingen mellemrum mellem kanterne på de enkelte footprints.



Figur 5.2 - Graf for diameteren og afstanden mellem centrum for footprints for LMS-serien [SICK, 2005b].

5.1 - Anvendelsesområde

Fabrikanten oplyser at de almindelige anvendelses områder for LMS 211 linieskanneren er:

- Område monitorering.
- Objekt måling og detektering.
- Bestemmelse af positioner.

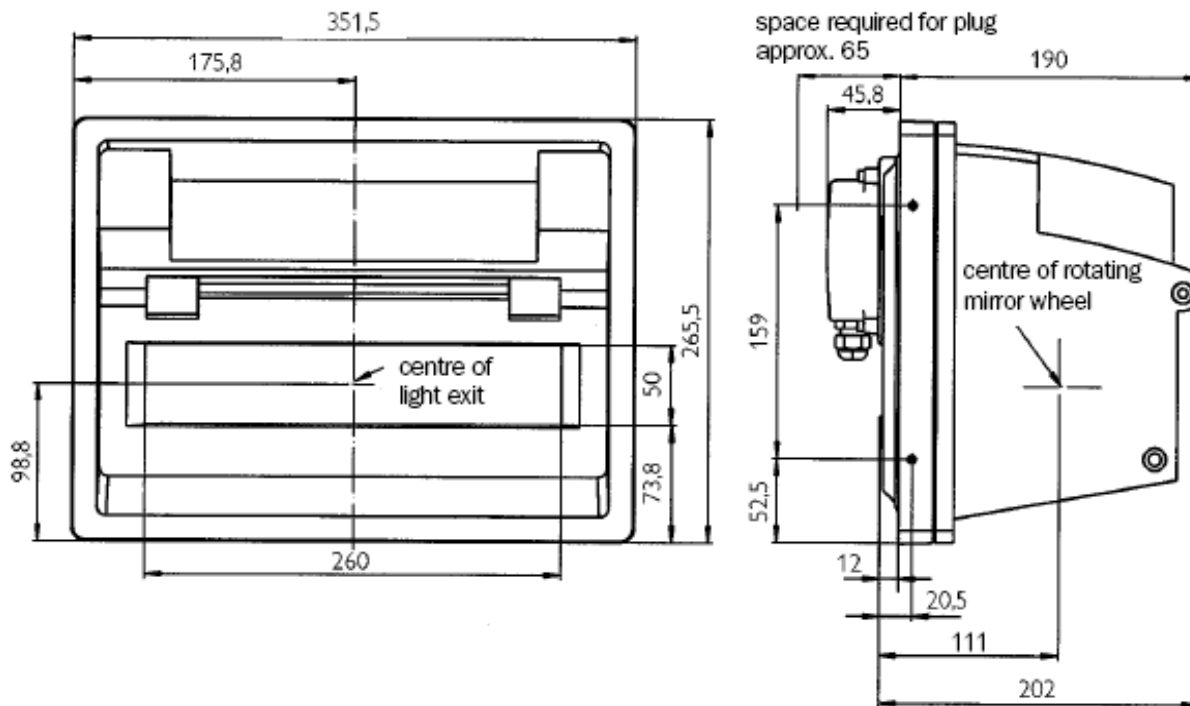


Figur 5.3 - Måling af bulk materiale på et transportbånd med LMS211 [SICK, 2005b]

Dette passer egentlig grundlæggende rimelig godt i forhold til ønsket i dette projekt – at måle veje. At måle veje, som det sker i dette projekt, svarer egentlig lidt til den anvendelse, der er vist i figur 5.3. I stedet for at måle bulk materiale på et transportbånd, måles i stedet veje fra en kørende bil. Det er altså i begge anvendelser overflader, der måles med henblik på yderligere forskelligartet databearbejdning.

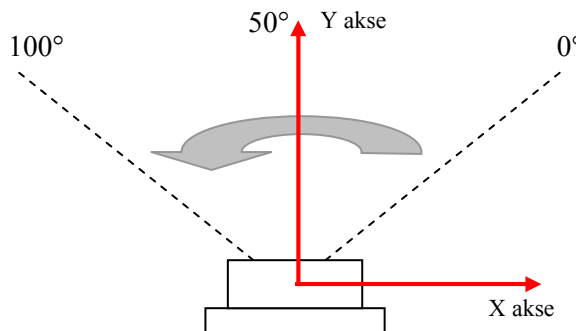
5.2 - Linie skanner – opbygning

En linieskanner er altid opbygget med en laserafstandsmåler, der udsender én stråle i en bestemt fast retning. Dette kombineres ofte med et roterende spejl eller prisme, der sender laserstrålen i forskellige retninger. Spejlet roterer 360° og de udsendte laserstråler danner derved et plan. LMS 211 er dog begrænset af en åbningsvinkel og derfor er den effektive skanningsvinkel kun på 100°. Åbningsvinklen



Figur 5.4 - Dimensionstegning med angivelse af centrum for udsendelse af laserstrålen [SICK, 2005b].

består både af størrelsen på glasset i kassen monteret omkring laserskanneren, men også den sensor hvorpå retursignalet registreres. Dermed er det ikke muligt at justere åbningsvinklen, da den er konstruktionsbetinget. Centrum for det roterende spejl og dermed punktet for hvor laserlyset sendes ud, er vist som "centre of light exit" på figur 5.4.



Figur 5.5 – Laserskannerens interne koordinatsystem orienteret ift. skanner og skanplanet.

5.3 - Skannerens koordinatsystem

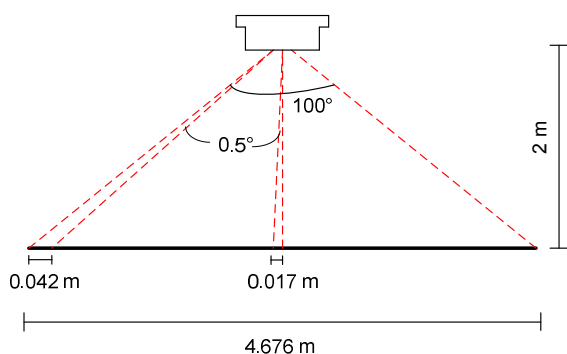
Observationer fra laserskanneren gives som retninger og afstande, men dette kan omregnes til koordinater i laserskannerens koordinatsystem. Det koordinatsystem som

skannerens retnings- og afstandsobservationer er relateret til, skal derfor fastlægges. Det er ligeledes nødvendigt at kende dette koordinatsystem i forbindelse med integrationen i MKSet.

Koordinatsystemet er 2 dimensionalt højrehåndssystem med y-aksen gående frem foran skanneren og x-aksen gående mod højre. Dette er skitseret på figur 5.5 ift. selve skanneren og planet af målinger. Koordinatsystemets origo er nøje defineret som centrum for det roterende spejl. Dette er skitseret på tegninger af skanneren, se figur 4.4 [SICK, 2005b].

Eksempel på skanningsområde

De opstillede krav i bilag D, benyttet i afsnit 2.6 angav en foretrukken skanningsvinkel på 130° for at dække en to sporet motorvej samt



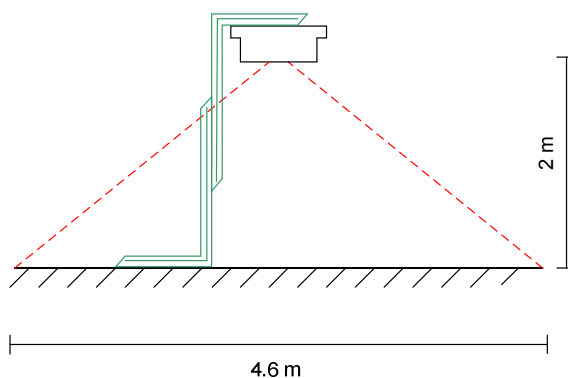
Figur 5.6 – Skitse af eksempel på skannerens dækningsområde og afstand mellem punkterne, ved en skanningshøjde på 2 m.

nødspor. I det følgende undersøges et par eksempler på hvor stort område LMS 211 dækker, hvis den monteres i en højde af f.eks. 2 eller 3 meter over kørebanen.

Eksemplet er simplificeret, og skal kun give et overblik over hvilke dimensioner og opløsninger, vi kan regne med i en 2D skanning, dvs. en skanningsbredde og tværopløsningen. Situationen er skitseret i figur 5.6.

Eksempel

Højde:	2 m
Skanningsvinkel:	100°
Vinkelopløsning:	$0,5^\circ$
Skanningsbredde:	4,767 m
Punktafstand i tværprofil:	0.017 m (midt)
("across trac resolution")	0.042 m (kant)



Figur 5.7 – Skitse af testopstillingen set fra oven. Det grønne er vinkler som anvendes til at placere skannerens bag panel parallelt med væggen.

5.4 - Test af LMS 211

I dette afsnit præsenteres resultaterne for de tests, der er gennemført med denne laserskanner. Testene er hovedsageligt gennemført med det formål at finde ud af, hvor godt den måler. Derfor testes præcision, nøjagtighed og størrelsen af footprintet.

Disse test er foretaget med opstillingen skitseret i figur 5.7. Der er i alt udført 3 test med en afstand til væggen på mellem 197,2 cm og 176 cm. Hver test indeholder fra 12 til 21 skans med en vinkelopløsning på 0.25°. Det vil sige at indenfor hver test skulle f.eks. alle 12 skans á 401 punkter = 4812 punkter, i princippet give den samme y-koordinat til muren. Afvigelserne i de målte y-koordinater, i de enkelte test indbyrdes, omregnes til et udtryk for skannerens præcision og afvigelserne ift. en målt kontrolafstand for hver test, omregnes til et udtryk for nøjagtigheden.

Præcision

Præcisionen beregnes efter følgende udtryk:

$$\sigma_{præc} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n r_i^2}{(n-1)}} \quad (\text{formel 4.1})$$

Hvor - r_i er residualet til i 'te observation.

- n er antallet af observationer ($n =$ f.eks. 10).

- $(n-1)$ er altså antal overbestemmelser.

Residualerne regnes for hver enkelt observation, som forskellen mellem middelværdien af alle observationer og den aktuelle observations værdi.

Vi har beregnet præcisionen for alle observationerne i alle test, se bilag E. Her er præcisionen fundet til at kunne modelleres som et anden grads polynomium:

$$y = -0.0004x^2 + 0.039x + 2.36$$

At det er et anden grads polynomium, der er valgt og at laserskanneren dermed skulle have en bedre præcision, når indfaldsvinkelen bliver mindre, understøttes af [Kaspar, 2004], men det er ikke bevist at der en sammenhæng. Præcisionen falder sandsynligvis igen når indfaldsvinkelen bliver mindre end de 40° [Kaspar, 2004], men der er ikke grundlag for at korrigere for dette indenfor de 100° åbningsvinkel LMS 211 har. Det ser dog ud til, på baggrund af disse tre tests, at der med denne laserskanner kunne være en sammenhæng ved denne afstand til objekt og dermed disse indfaldsvinkler. Der skal dog flere test til at kunne uddrage en større konklusion om hvordan laserskannerens præcision er forbundet med

indfaldsvinklen. Det falder dog uden for rammerne i dette projekt.

Ud fra Bilag E fremgår desuden, at der ikke er nogen værdier for præcisionen som er over 6.75mm. Hvis der skal gives én værdi for præcisionen så skulle det være toppunktet af anden grads polynomiet.

$$T\left(\frac{-b}{2a}, \frac{-d}{4a}\right), \text{ hvor } d = b^2 - 4ac \text{ (formel 4.2)}$$

Det giver toppunkt i (45.11 , 3.23) eller med andre ord ved 45.11 grader findes toppunktet . Middel præcisionen er derfor

$$\text{Præcision} = 3.23\text{mm.}$$

Sammenholdes dette med værdien fra specifikationerne på +35mm er vores resultat væsentlig bedre. Vi vurderer dog at det skyldes at testene er foregået på en hvid og glat overflade, hvorfor refleksionen er god. Specifikationerne dækker derfor sikkert over den maksimale præcision, der kan forekomme med laserskanneren under mere almindelige forhold.

Nøjagtighed

Nøjagtigheden kontrolleres ift. en kontrolafstand målt med tommestok. Kontrolafstanden er den korteste afstand dvs. afstanden vinkelret på muren og ud fra centrum for laserskanneren

(origo i det interne koordinatsystem). Dette punkt er markeret på ydersiden af kassen. Da skanneren er opstillet således at bagpanelet er parallelt med muren, bør det være skannerens centerlinie. Det vil sige den afstand, der måles ved skannerens 50° vinkel, se figur 5.5.

Nøjagtigheden beregnes ligesom præcisionen, dog regnes residualerne kun for 50° vinklen, for de enkelte observationer ift. kontrolafstanden målt i skannerens centerlinie. Da der kun kan registreres en kontrolafstand kan nøjagtigheden kun beregnes på baggrund af observationerne til 50° vinklen, altså i y aksens retning. Til at beregne nøjagtigheden benyttes:

$$\sigma_{\text{nej}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n r_i^2}{n}} \quad (\text{formel 4.3})$$

Hvor

- r_i er residualet til i 'te observation.
- n er antallet af observationer ($n = \text{f.eks. } 12$).

Nøjagtigheden kan beregnes ud fra de 12 observationer til denne vinkel ved hver af de tre opstillinger og middel af de tre resultater er:

$$\text{Nøjagtighed} = 3.9\text{mm}$$

Nøjagtigheden er korrigeret for den systematiske fejl, der er fundet og beskrevet i næste afsnit – Footprint.

Footprint

Footprintet er kontrolleret ved hjælp af metoden beskrevet i bilag E, både for størrelse, men også om de ligger på en ret linie på muren og dermed om laserstrålerne danner et fladt skanplan. Hvis ikke det var fladt kunne det være fordi spejlets rotationsakse var skæv og dermed ville laserplanet danne en kegle.

Der er kun testet for footprint i de to første test. Resultatet af disse test er at footprintets størrelse i højden, (langs z-aksen i laserkoordinatsystemet), ser ud til at variere alt efter hvor i skannet man måler den. Størrelsen har altså den lineære tendens der er vist i figur 5.8. Der er foretaget 5 målinger af størrelsen i hver af de to test. Punkterne er placeret, som det fremgår af Bilag E. Der findes derfor en middelværdi for alle 5 målte placeringer:

F1	3,0 cm
F2	2,4 cm
F3	2,2 cm
F4	2,5 cm
F5	2,6 cm

Som det fremgår af ovenstående er der overensstemmelse med figur 5.2. hvoraf det fremgår at footprintet ved 2 m burde være ca.

2,5 cm. Her er afstanden kun ca. 20 cm kortere og footprintet ligger ca. mellem 2,5 – 3 cm. Men dette forhold kan også skyldes den metode footprintet er fundet og målt på.

Derfor kan vi konkludere at grafen i figur 5.2 er et godt udtryk for størrelsen på footprintet og at de test der er fundet underbygger denne.

Ved at holde en retholt og en rørlibelle på væggen ved mærkerne for footprintet, kan der ses en lille tendens til at skan planet på væggen danner to rette linier der er faldende fra midten af skannet og ud mod siderne. Dette kan desuden ses i figur 5.8 - et plot med x- og y-koordinaterne for punkterne fra test 1. Dette forhold at punkterne tager form som et "tag" i stedet for en ret linie kan skyldes den egenskab ved footprintet, at det tager form som en ellipse når indfaldsvinklen mindskes. Det kan f.eks. være at sidste retursignal der modtages vægtes højest, eller at laserskanneren først stopper tiden når en vis intensitet for retursignal er nået. Da footprintet er ellipseformet går der lidt længere tid end hvis det var cirkulær før denne intensitet opnås. Det er dog kun spekulationer, vi har ikke kunnet finde nogen form for dokumentation for hvordan SICK LMS 211 registrerer signalet, eller at der skulle være specielle forhold der gør

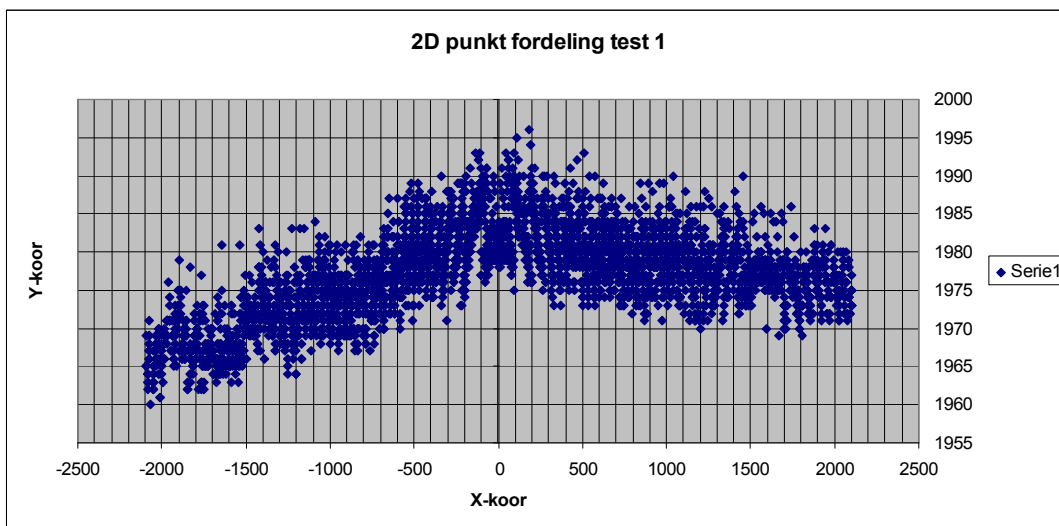
sig gældende for afstande yderst i et skan.

På baggrund af ensartetheden af denne tendens i de tre test har vi valgt at modellere de to linier der danner "tag formen" i de tre skan og midle over disse resultater. Vi opstiller altså en ligning der benyttes til at korrigere for denne systematiske fejl.

$$y_korrigeret = +0.00488x + (y_beregnet - 7.2)$$

Øvrig kontrol af skanneren

Udover testene for præcision, nøjagtighed og footprint er der udført simple test for at kontrollere om centerlinien og skanningsplanet står ortogonalt på laserskannerens bagpanel. Det hænger sammen med at skanneren monteres på



Figur 5.8 - Alle punkterne fra test i plottet ved x- og y-koordinater.

bilen på bagpanelet, og det er derfor ift. dette at den bliver orienteret i bilens eksisterende koordinatsystem (body koordinatsystemet). Derfor er det vigtigt at vide om skanningsplanet og centerlinien står ortogonalt på bagpanelet.

Denne kontrol sker ved at skanneren opstilles som skitseret i figur 5.5, således at bagpanelet står lodret og parallelt med væggen. Bagpanelet lodretstilles vha. en rørlibelle (og en vinkel). Ligeledes stilles bagpanelet parallelt med væggen vha. to store ”tømmer” vinkler. Selve opstillingen sker på et bord, der også stilles vandret vha. rørlibellen.

Kontrollen af om centerlinien står ortogonalt på bagpanelet sker derefter ved at foretage et antal skanninger fra den samme opstilling. Såfremt centerlinien står ortogonalt på bagpanelet skal de afstande der er målt ved hhv. 0 og 100° være lige store og derudover skal afstanden målt ved 50° være den korteste. Tabel 5.2 angiver middelværdierne for de målte afstande til de aktuelle vinkler.

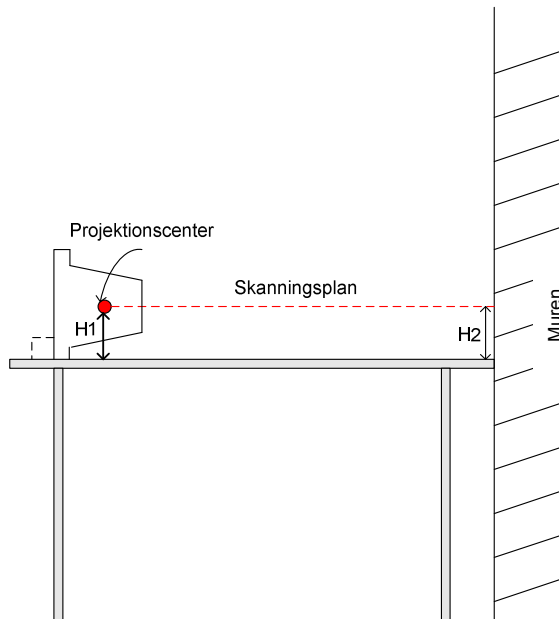
Grader	Middel afstand
0	1626 mm
100	1604 mm

Tabel 5.2 – Middelværdier for afstandene målt ved 0° og 100°.

De målte afstande for 0° og 100° er ikke helt lige lange. Der er en forskel på 22 mm, hvilket indikerer at skannerens centerlinie ikke står helt ortogonalt på bagpanelet. Det vil kræve

yderligere test hvis vi skal fastlægge en troværdig værdi for den vinkel der er mellem bagpanelet og centerlinien. På grund af usikkerheder i opstillingen kan vi ikke konkludere noget ud fra denne ene test. Det vil være nødvendigt at foretage flere uafhængige opstillinger for at bestemme vinklen.

Skanningsplanet er lidt svært at kontrollere, da laseren ikke har synligt lys. Derfor har vi anvendt klodser til at finde frem til skanlinien inde på muren. Efter at have fastlagt skanlinien kan vi måle højden ned til bordpladen og kontrollere om det er den samme højde der er til projektionscentret i laserskanneren. Dette kan lade sig gøre da bordpladen står vandret og skannerens bagpanel står lodret. Dermed skal højden fra bordplade til projektionscenter og højden fra bordplade til skanlinien på væggen være ens.



Figur 5.9 – Skitse af opstillingen til test af om skanningsplanet står ortogonalt på bagpanelet.

De to højder er under kontrollen målt til:

Projektionscenter:	12,0 cm
Skannelinie:	13,0 cm

Der er altså en forskel på 1 cm, hvilket vi anser som liggende inden for marginen af metodens usikkerhed. Metodens usikkerhed er definitionen af skanlinien på muren, definitionen af projektionscentret, den vandrette orientering af bordpladen og den lodrette orientering af bagpanelet. Derfor vælger vi at anse skanningsplanet som stående ortogonalt på bagpanelet.

5.5 - Kommunikation og dataudtræk

I dette afsnit behandler vi de muligheder der er for at kommunikere med laserskanneren. Der er to muligheder for at kommunikere med LMS 211 og lagre målingerne fra den.

Med til skanneren hører softwaren, LMS LMI 400 version 5.1, som gør det muligt at kommunikere med skanneren, overvåge skanlinien real-time og logge målingerne i ascii-filer. De data, der er output fra dette software består af en vinkel, en skrå afstand, en afstand i Y-retningen og en afstand i X-retningen. På CD'en bag i rapporten er der eksempler på data i dette format. Hvert skan får et tidsstempel, men det er kun på sekund niveau og stammer formentlig fra computerens ur. Derfor er det ikke en tidsstempling, der er særlig nøjagtig og meget dårlig at bruge som parameter for tidssynkroniseringen ift. DyRoS bilen.

Derudover er det muligt at lave sit eget program til kommunikation med og dataudtræk fra LMS 211. Til dette formål er der en manual for hurtigt setup af kommunikationen, gennem egen software [SICK, 2001]. Derudover findes en mere omfattende manual for datakommunikationen med de telegrammer der skal sendes til og modtages fra laserskanneren [SICK, 2003].

Det er valgt at selv lave et program i matlab, til at kommunikere med SICK LMS 211, da det

software, der følger med er designet til at opfylde de krav, der gør sig gældende indenfor dens kerneanvendelsesområde, det vil f.eks. sige områdesikring. Dette gør at softwaren umiddelbart ikke kan anvendes tilfredsstillende i dette projekt. Desuden finder vi det problematisk at vi ikke med 100% sikkerhed ved hvad betydning de enkelte indstillinger i softwaren har for outputet. Der udover kan der ikke modtages mere end ca. 2 skanninger i sekundet i den medfølgende software, hvilket er for lidt til kørende målinger.

Matlab scripts

De scripts, der er udarbejdet i Matlab, til kommunikationen med laserskanneren er at finde på CDen.

Al kommunikation med laserskanneren foregår med såkaldte telegrammer. Et telegram består af en række bytes, der lagrer de forskellige informationer telegrammet skal formidle. Telegrammerne er opbygget efter en fast struktur. Først kommer en ”header” del, dernæst selve datadelen og til sidst kommer en ”checksum”.

For at kunne sende de rigtige telegrammer til laserskanneren skal den sidste del af telegrammet indeholde en CRC 16-bit checksum. Kort fortalt er en checksum en matematisk udregning på baggrund af de enkelte databits, der skal sikre at man får oplyst, hvis data går tabt i kommunikationen. Formlen der

benyttes skal altså være kendt, og den skal være ens i både sender og modtager. Da det ikke er lykkedes os at finde ud af præcist hvordan den udregnet i laserskanneren, har vi fået direktør Lammert Bies til at hjælpe os. Han har på hans hjemmeside lavet et lille program til os, der udregner checksummen for denne laserskanner [Bies, 2005]. Derfor kan checksummen findes og indsættes i telegrammet før det sendes.

Interfacet mellem PC og laserskanner er en seriel port (RS232). Kommunikationen gennem et sådant interface følger nogle bestemte standarder for transmissionshastighed, byte rækkefølge, start og stop bits, osv. De vigtigste specifikationer for kommunikationen med LMS 211 vha. eget program er angivet i tabel 5.3

Parameter	Værdi
Baud rate	9600 – 38400
Byte rækkefølge	Little Endian
Paritet	ingen
Flow control	ingen
Start bit	1
Stop bit	1
Data bits	8

Tabel 5.3 – RS232 interface standarder for kommunikation med LMS 211. [SICK, 2003]

Flowet i de scripts vi har lavet er kort fortalt som følger:

Det første script indstiller parametrene for com-porten og åbner forbindelsen til laserskanneren,

se værdierne i tabel 5.3. Derefter ændres baudraten og vinkelopløsningen i to scripts. Næste skridt er at starte målingen med skanneren. Skanneren anmodes enten om at sende data kontinuerligt eller sende et enkelt skan. De data, der modtages binært, konverteres til almindelige tal og lagres i en ascii fil. Hvert skan der modtages fra laserskanneren tidsstemples med tiden fra PCen ur når de modtages i PCen. Efter skanningen er fuldført lukkes forbindelsen til skanneren igen. Dette flow er også skitseret i figur 5.10.

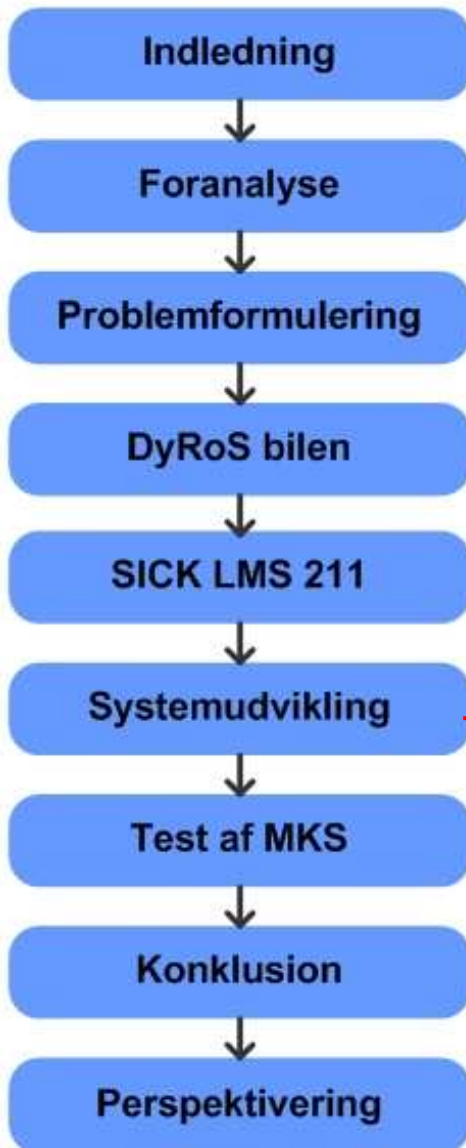
Med disse scripts kan der, ved 38400 baud, hvilket er maksimum for den serielle RS232 port i PCen, at få modtage op til 15 skans i sekundet med en vinkelopløsning på $0,5^\circ$. Det vil sige at hvert skan består af 201 punkter og det er altså 3015 punkter i sekundet.

Ligeledes står der i [SICK, 2003] at det skulle være muligt at få intensiteten ud som en del af outputet. I praksis sker det gennem 2 skanninger, ved at laserskanneren i første skan måler retning og afstand og i andet skan retning og intensitet. Det er dog efter flere forsøg ikke lykkedes os at få intensiteten ud, men det skulle være muligt. Hvad grunden til at vi ikke kan få intensiteten ud ved vi ikke, men det er ikke CRC checksummen, da den beregnes rigtig. Det er bevist ved at vi får svar tilbage, når vi sender andre koder, end koden om at få intensiteten ud. Vi har en idé om at det kunne skyldes at laserskanneren skal have nogle yderligere koder

inden selve koden, der beder om intensiteten, sendes. Men det er som nævnt ikke lykkedes at finde ud af hvad det i givet fald er for nogle koder.

Derfor kan vi konkludere at det ikke kan lykkes at teste laserskanneren mht. intensiteten. Det giver problemer, i forhold til at kravet i scenario 1 om registrering af vejstriberne, som derfor ikke kan behandles i dette projekt. Men skanneren burde altså kunne give intensiteten, som en del af output og derfor kan den i teorien bruges i forhold til kravet fra scenario 1.

6 - Systemudvikling



I dette kapitel gennemgås den samlede opbygning af MKSet ud fra den platform DyRoS bilen udgør. Det omhandler konstruktionen af systemet med laserskanneren, fastlæggelse af koordinatsystemerne, der indgår i systemet, transformationerne mellem koordinatsystemerne og den samlede systemkalibrering.

Den samlede systemudvikling er det grundlæggende led i udviklingen af et stabilt og pålideligt MKS. Der er flere forskellige aspekter af systemudviklingen, som klarlægges i dette kapitel. Med udgangspunkt i de analyser, der er foretaget af hhv. DyRoS bilen og laserskanneren i de to forrige kapitler, beskriver systemudviklingen integrationen af disse to enheder til et samlet MKS.

Det starter med at der udvikles en konstruktion til montering af laserskanneren på DyRoS bilen, dvs. en fysisk implementering af skanneren på bilen. Det er meget vigtigt at denne konstruktion er fuldstændig fast og stabil. Næste skridt er fastlæggelsen af de interne koordinatsystemer, der er nødvendige for at kunne håndtere målingerne med det samlede MKS. De koordinatsystemer, der er nødvendige for dette MKS er:

Koordinatsystem	Betegnelse	Indeks
Body koordinatsystem	B	b
Laserskannerens koordinatsystem	L	l
Ydre referencesystem	N	n

Tabel 6.1 – Nødvendige koordinatsystemer angivet med benævnelse og indeksering.

De interne koordinatsystemer indgår som en fast del af systemet, og de vil ligge fast i forhold til hinanden, på grund af den solide konstruktion. Dermed kan de parametre, der beskriver koordinatsystemerne ift. hinanden, bestemmes gennem en systemkalibrering. Det vil sige en bestemmelse af de transformationer, der er nødvendige for at transformere målinger i et koordinatsystem, f.eks. laserskannerens, til målinger i et andet koordinatsystem, f.eks. bilens. Disse problemstillinger løses i afsnit 6.3 – Transformationer.

Med transformationerne og omregningerne på plads, skabes der klarhed over hvilke parametre, der skal fastlægges i systemkalibreringen for at alle målinger kan relateres til body koordinatsystemet. Med den solide konstruktion på plads og med udgangspunkt i de fastlagte koordinatsystemer og transformationer, kan systemkalibreringen praktisk gennemføres, hvilket beskrives i afsnit 6.4 – Systemkalibrering.

6.1 - Systemkonstruktion

Begrebet systemkonstruktionen dækker over det fysiske design og konstruktionen af MKSet. Det vil i dette projekt sige den fysiske implementering af laserskanneren på DyRoS bilen.

Konstruktionsmæssigt er et af de vigtigste punkter at få bygget en fast og solid ramme til

systemet, hvor laserskanneren kan sættes solidt sammen med DyRoS bilen, således de sidder fuldstændig stabilt ift. hinanden. Det er af afgørende betydning for systemkalibreringen, samt nøjagtigheden og pålideligheden af det samlede MKS. Derudover er det konstruktionsmæssigt vigtigt at få laserskanneren placeret, således at den kan måle de objekter, der ønskes kortlagt med MKSet. Det er i dette projekt kørebanen, der skal kortlægges og derfor er det et krav at laserskanneren monteres således at der er frit udsyn til at måle kørebanen.

På DyRoS bilen findes allerede en fastmonteret konstruktion, hvorpå de eksisterende instrumenter er fastgjort, som beskrevet i kapitel 4 - DyRoS. Denne konstruktion består af solide tagbøjler af jern, samt et skilt, der kan vippes op og ned. Konstruktionen kan ses på billederne i figur 6.1.

Denne konstruktion virker umiddelbart god og solid. Eneste forhold, der kan virke ustabil er skiltet, der kan vippes op og ned. Dette er vigtigt for stabiliteten af platformen, da både GPS antennen, laserafstandsmåleren og hældningssensorerne er monteret øverst på dette skilt. Derfor vil ustabilitet i skiltet påvirke de interne forhold mellem body koordinatsystemet og laserskannerens koordinatsystem. De parametre, der beskriver disse forhold, bestemmes i systemkalibreringen, og forudsættes derefter at være konstante. Det



Figur 6.1 – Billederne viser DyRoS bilen med den eksisterende konstruktion af platformen til positionerings- og orienteringsinstrumenterne. Samt den samlede konstruktion med laserskanneren implementeret.

betyder at risikoen for at parametrene ændres når skiltet vippes op og ned, får direkte indflydelse på nøjagtigheden af de målinger, der foretages med MKSet. Dette er dog ikke et problem, der undersøges nærmere i dette projekt, da det vurderes at være ændringer af

minimal størrelsesorden, men principielt er det en mulig fejlkilde i systemet. Det er derfor også noget, der må tages med i vurderingerne af både systemkalibreringen og de test, der gennemføres af systemet. Det skal dog igen understreges, at når den afstiver, der holder skiltet på plads, er låst, virker konstruktionen umiddelbart stabil.

Til monteringen af laserskanneren på DyRoS er lavet en konstruktion, der fastgøres til bilens nuværende platform. Denne konstruktion er lavet af to aluminiumsprofiler, der er yderligere stabiliseret med to regler og to plader af træ, se figur 6.2. Konstruktionen er udformet således at laserskanneren kan monteres hængende ud over bagenden af bilen, med frit udsyn lodret ned mod kørebanen. Det vil sige at den kommer til at sidde i omtrent samme højde som bilens tag og pege ned mod kørebanen. På den måde kan en situation opnås, hvor skanlinien står ortogonalt på kørselsretningen og på tværs af kørebanen.

Den relativt høje placering af skanneren er med til at give så bredt et skanningsområde som muligt, samtidig med at konstruktionen holdes stabil. Placeringen af skanneren er en afvejning af stabilitet i konstruktionen og størrelsen på skanningsområdet. Med den konstruktion, der er lavet til projektet, sidder skanneren i en effektiv højde på ca. 1,8 meter over kørebanen, hvilket giver et skanningsområde på ca. 4,3 meter, hvilket kun dækker 1½ kørebane.



Figur 6.2 – Konstruktionen lavet til montering af laserskanneren på DyRoS bilen.

Det vil være muligt at placere laserskanneren højere over kørebanen, men det vil kræve en større konstruktion, med mindre stabilitet. Stabiliteten i konstruktionen er vægtet højt i dette projekt, da der arbejdes med en prototype på et MKS og derfor er det mere interessant at arbejde med så stabil en konstruktion som muligt, frem for at opnå et større skanningsområde og dermed mere effektiv MKS.

Med konstruktionen af MKSet på plads, kan det nu klarlægges, hvilke interne koordinatsystemer, der er nødvendige for det samlede MKS.

6.2 - Koordinatsystemer

I et MKS indgår flere forskellige interne koordinatsystemer, der skal relateres til hinanden. Det er nødvendigt at opstille transformationer mellem de forskellige koordinatsystemer, således observationer i de forskellige koordinatsystemer alle kan relateres til samme koordinatsystem – body koordinatsystemet.

I et system, som MKSet i dette projekt, bestående af en opmålingsenhed og en samlet enhed til positionering- og orientering, vil der typisk være tre forskellige koordinatsystemer, der er nødvendige for at håndtere systemet. Det er som nævnt tidligere navigationskoordinatsystemet, body koordinatsystemet og laserskannerens koordinatsystem.

Relationen mellem body- og navigationskoordinatsystem varierer hele tiden, da en af egenskaberne ved et MKS er at det bevæger sig, og derfor ændres positionen og orienteringen ift. navigationskoordinatsystemet.

I den konstruktion vi arbejder med på DyRoS bilen er det disse tre koordinatsystemer, det er nødvendigt at fastlægge for at håndtere systemet.

Alle koordinatsystemer er højrehånds koordinatsystemer med x – akse som 1. –

Navigations koordinatsystem

Den valgte afbildning af jorden i et retvinklet koordinatsystem, der anvendes som referencesystem.

Body koordinatsystem

MKSets grundlæggende koordinatsystem, hvortil alle målinger relateres. Dette koordinatsystem relateres til navigationskoordinatsystemet.

Laserskannerens koordinatsystem

Laserskannerens interne koordinatsystem. Dette koordinatsystem relateres til body koordinatsystemet.

aksen, y – akse som 2. akse og z – akse som 3. akse. Drejninger om en akse er positive, når koordinatsystemet ses langs den aktuelle akse ind mod origo, og drejningen går mod urets retning (jf. tommelfingerreglen).

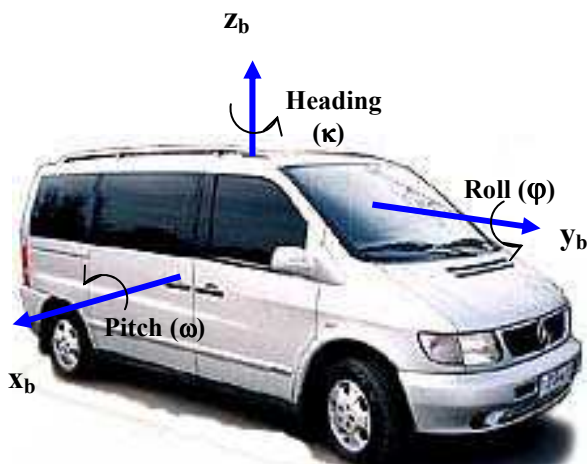
I de følgende afsnit beskrives de enkelte koordinatsystemer, som de er defineret i dette MKS.

Navigationskoordinatsystem

Navigationskoordinatsystemet er det referencesystem, der anvendes til georefereringen af MKSet. Det er altså en afbildning af jorden i et retvinklet koordinatsystem. I dette projekt anvendes en UTM projektion på EUREF89 datum, som det plane referencesystem.

Til højdereferencen anvendes det nye danske højdesystem Dansk Vertikal Reference 1990 – DVR90.

Det er dermed det plane UTM system og højdesystemet DVR90, der tilsammen udgør



Figur 6.3 – Body koordinatsystemets retninger på DyRoS bilen, samt drejningerne ift. navigationskoordinatsystemet.

Body koordinatsystemet

Body koordinatsystemet defineres grundlæggende på DyRoS bilens platform, og er overordnet orienteret med y_b – akse fremad i kørselsretningen, x_b – akse går ud i bilens højre side og z_b – akse er rettet op ad. Dette er også skitseret på billederne i figur 6.3.

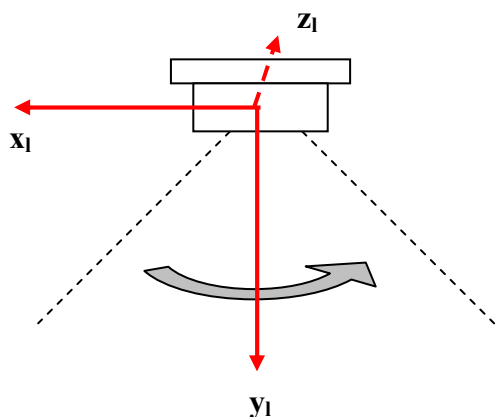
Body koordinatsystemet er det koordinatsystem der refereres til navigationskoordinatsystemet. Orienteringen ift. navigationskoordinatsystemet beskrives ved drejninger, som betegnes heading, pitch og roll. Heading er bilens vinkel i forhold til nord, dvs. drejning omkring z_b -aksen. Pitch betegner den vinkel, som bilen vipper i længderetningen, dvs. drejningen om x_b -aksen. Pitch er positiv når fronten vipper op. Roll betegner den vinkel bilen vipper i tværrretningen, dvs. drejningen om y_b -aksen. Roll er positiv, når højre side af bilen vipper ned mod jorden.

På DyRoS platformen forholder det sig sådan at orienteringssensorerne er placeret i en kasse oppe på skiltet lige under GPS antennen. Denne kasse og sensorerne i den, forudsættes at være monteret sammenfaldende med kørselsretningen og bilens tværrretning [Jensen, 1999]. Det vil i praksis sige at kassen med orienteringssensorerne fastlægger body koordinatsystemet på DyRoS bilen. På billedet i figur 6.3, er det skitseret hvordan retningerne for body koordinatsystemet defineres på kassen med orienteringssensorerne.

Dette er et af de problematiske punkter i opbygningen af dette MKS, idet forudsætningen om at kassen med orienteringssensorerne er monteret sammenfaldende med kørsels- og tværrretningen, giver en ukendt usikkerhed. Derudover giver skiltets vipning op og ned en usikkerhed i placeringen af selve body koordinatsystemet fra gang til gang. Disse aspekter er ikke noget vi gennem dette projekt forsøger at forbedre, idet de har med DyRoS bilens eksisterende platform at gøre, og den ændres ikke.

Laserskannerens koordinatsystem

Laserskanneren udgør opmålingsinstrumentet i dette MKS og det er nødvendigt at kunne referere de målinger, der foretages med



Figur 6.4 – Laserskannerens koordinatsystem orienteret ift. skanner og skanningsvifte.

laserskanneren til body koordinatsystemet, for

derigennem at kunne georeferere målingerne i navigationskoordinatsystemet.

Laserskannerens koordinatsystem er defineret i kapitel 5 – SICK LMS 211, og er igen vist i figur 6.4. En måling fra laserskanneren angives ved en vektor (\mathbf{v}_1) i dette koordinatsystem. Vektoren \mathbf{v}_1 går fra laserskannerens center (origo i koordinatsystemet) til det målte punkt på jorden. Alle målinger med skanneren behandles som vektorer, på denne måde. Det er disse vektorer, der transformeres til body koordinatsystemet.

Med koordinatsystemerne defineret er det muligt at fastlægge de transformationer mellem koordinatsystemerne, der skal anvendes til at referere alle systemets observationer til body koordinatsystemet.

6.3 - Transformationer

Dette afsnit skal give et overblik over de transformationer, der er nødvendige for at relatere målingerne fra laserskanneren til body koordinatsystemet, og derefter positionere og orientere body koordinatsystemet i navigationskoordinatsystemet.

Et overblik over hvordan de tre koordinatsystemer umiddelbart vender i forhold til hinanden i MKSet, gives på den samlede figur af MKSet i bilag F.

Generelle udtryk

For drejningerne i transformationerne gælder generelt

1. aksens drejning kaldes ω ,
2. aksens drejning kaldes φ og
3. aksens drejning kaldes κ .

De generelle drejningsmatricer for hver af de tre akser er givet ved:

$$D_{\omega} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\omega & -\sin\omega \\ 0 & \sin\omega & \cos\omega \end{bmatrix} \quad \text{Formel 6.1}$$

$$D_{\varphi} = \begin{bmatrix} \cos\varphi & 0 & \sin\varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\varphi & 0 & \cos\varphi \end{bmatrix} \quad \text{Formel 6.2}$$

$$D_{\kappa} = \begin{bmatrix} \cos\kappa & -\sin\kappa & 0 \\ \sin\kappa & \cos\kappa & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{Formel 6.3}$$

Vinklerne ω , φ , og κ erstattes af de aktuelle drejninger for den enkelte transformation. Der korrigeres i rækkefølgen:

- 1. akse (ω),
- 2. akse (φ) og
- 3. akse (κ).

[Bäumker, 2001]

Laserskanner til body koordinatsystem

Laserskannerens akser er ikke orienteret på samme måde som body koordinatsystemets akser. Derfor transformeres laserskannerens koordinatsystem således at dets akser orienteres som body koordinatsystemets akser. Det sker med følgende matrice:

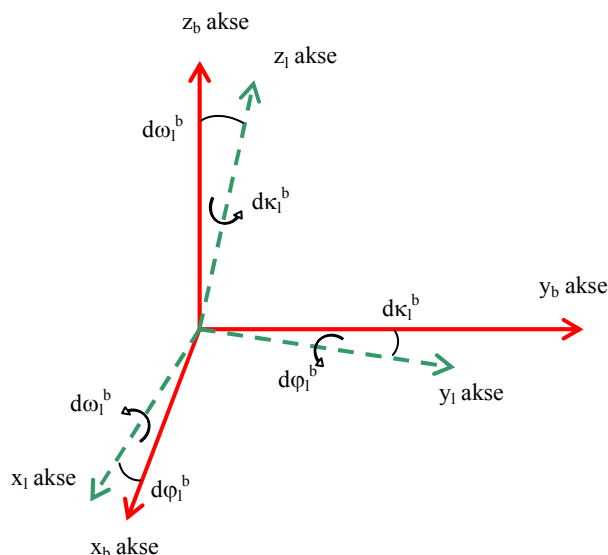
$$T_l^b = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad \text{Formel 6.4}$$

Efter denne transformation mangler der stadig at blive korrigeret for de små vinkelafvigelse, der er mellem akserne i laserskannerens koordinatsystem og body koordinatsystemet. Dette er skitseret i figur 6.5.

Denne korrektion sker med drejningsmatricen (D_l^b), der transformerer målingerne fra laserskannerens koordinatsystem til body koordinatsystemet. Vinkelafvigelserne ($d\omega_l^b$, $d\varphi_l^b$, $d\kappa_l^b$) mellem de to koordinatsystemer skal fastlægges i systemkalibreringen. Den samlede drejningsmatrice, der korrigerer for vinkelafvigelserne er en kombination af de tre drejningsmatricer, der drejer om hver af de tre akser.

Dermed kan drejningsmatricen (D_l^b) beregnes efter udtrykket:

$$D_1^b = D_\kappa \cdot D_\varphi \cdot D_\omega \quad \text{Formel 6.5}$$



Figur 6.5 – Vinkelafvigelse mellem laserskannerens koordinatsystem og body koordinatsystemet.

Hvor vinkelafvigelseerne $d\omega_1^b$, $d\phi_1^b$, $d\kappa_1^b$ indsættes i de respektive drejningsmatricer. Med drejningerne på plads, mangler vi kun flytningerne mellem origo i laserskannerens koordinatsystem og origo i body koordinatsystemet. Denne flytning beskrives ved en vektor (v_1^b) mellem de to punkter.

I praksis går vektor v_1^b mellem laserskannerens center og GPS antennens center. Denne vektor måles fysisk ved systemkalibreringen.

Dermed kan det samlede udtryk til transformation af målinger fra laserskannerens koordinatsystem til body koordinatsystemet opstilles.

$$v_b = D_1^b \cdot T_1^b \cdot v_l + v_1^b \quad \text{Formel 6.6}$$

De transformationer, der er beskrevet her, udgør de regne operationer, der skal til for at referere laserskannerens målinger til body koordinatsystemet. Dette skridt er vigtigt for efterfølgende direkte at kunne georeferere målingerne i UTM.

Body til navigationkoordinatsystemet

Georefereringen af målingerne foretaget med MKSet sker idet målingerne beskrevet i bodykoordinatsystemet transformeres til navigationskoordinatsystemet.

De parametre, der anvendes til denne transformation er de parametre positionerings- og orienteringssensorerne på DyRoS leverer. Det vil sige GPS positioner samt heading, pitch og roll værdier for MKSet.

GPS positionerne gives ved vektoren v_b^n der angiver GPS antennens position i navigationskoordinatsystemet.

Heading, pitch og roll beskriver drejningerne af body koordinatsystemet ift. navigationskoordinatsystemet. Det vil sige

- Heading er $d\kappa_b^n$
- Pitch er $d\omega_b^n$
- Roll er $d\phi_b^n$

De betyder at drejningsmatricen D_b^n gives ved

$$D_b^n = D_\kappa \cdot D_\phi \cdot D_\omega \quad \text{Formel 6.7}$$

Hvor vinkelafvigelseerne $d\omega_b^n$, $d\phi_b^n$ og $d\kappa_b^n$ indsættes i de respektive drejningsmatricer.

Det samlede udtryk for georefereringen af målinger givet i body koordinatsystemet (v_b) bliver da:

$$v_n = D_b^n \cdot v_b + v_b^n \quad \text{Formel 6.8}$$

Hvor det målte punkts koordinater i navigationskoordinatsystemet er elementerne i vektor v_n .

For at de beskrevne transformationer kan gennemføres skal systemkalibreringen fastlægge de seks positionerings- og orienteringsparametre, der indgår som variable i ligningerne. Disse 6 parametre er:

- 3 drejninger
 - $d\omega_l^b$
 - $d\phi_l^b$
 - $d\kappa_l^b$

- 3 flytninger
 - koordinaterne i vektor v_l^b

6.4 - Systemkalibrering

Et af de essentielle problemområder inden for mobile kortlægningssystemer er systemkalibreringen, dvs. fastlæggelse af de interne positionerings- og orienteringsparametre, mellem systemets instrumenter.

Ved kinematisk kortlægning med et MKS, er det også nødvendigt at synkronisere de enkelte instrumenter i MKSet. Det vil i forbindelse med dette MKS handle om at synkronisere målingerne fra laserskanneren med GPS observationerne og orienteringssensorenes observationer. Det gør det muligt at binde observationerne sammen tidsmæssigt således at den rette position og orientering kan bestemmes til de enkelte punkter målt med laserskanneren.

Dette aspekt i udviklingen af et MKS, vil vi, ikke komme nærmere ind på i dette projekt, som beskrevet i kapitel 3 – Problemformulering. Dermed kan den prototype på et MKS, der arbejders med i dette projekt, kun fungere ved statiske målinger.

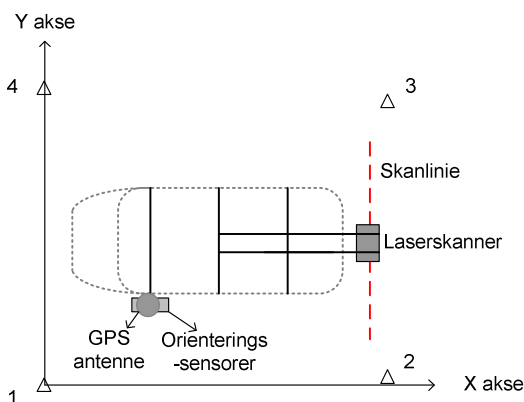
Metoder til systemkalibrering

En nøjagtig systemkalibrering er essentiel for at opnå en god nøjagtighed i opmålingerne med MKSet, og derfor er det vigtigt at de metoder,

der anvendes til systemkalibreringen er pålidelige og nøjagtige. Vi har i dette projekt behandlet to forskellige metoder til systemkalibrering:

- Direkte måling
- Beregning

Begge metoder anvender målinger foretaget med totalstation i et lokalt koordinatsystem etableret hos Vejdirektoratet i Skanderborg. Dette lokale koordinatsystem er defineret ved fire punkter, der er bestemt gennem en netmåling af et lukket polygon. Denne netmåling er dokumenteret i på CDen bag i rapporten, og det lokale koordinatsystem, der er fastlagt ud fra de fire punkter er skitseret i figur 6.6, hvor også DyRoS bilens placering under kalibreringen er vist.



Figur 6.6 – Det lokale koordinatsystem anvendt ved systemkalibreringen, samt DyRoS bilens placering under kalibreringen.

Indmålingen af detailpunkterne i systemkalibreringen foretages polært med totalstationen, enten med mini prisme eller reflektorløst. Beregningen af de polære koordinater er foretaget i Matlab scriptet *polaer.m* der er vedlagt på CDen.

Systemkalibreringen er tilrettelagt således at der til hvert punkt måles fra mindst to opstillinger. Dermed har vi mindst to sæt koordinater til hvert punkt.

For at kravene specificeret i scenario 1, se afsnit 2.1 – Indledende problemstilling, kan opfyldes med det MKS, der udvikles i dette projekt, er det nødvendigt at undersøge, hvor godt parametrene i systemkalibreringen skal bestemmes.

Kravene til højdenøjagtigheden er de største. Det er nødvendigt at den relative højdenøjagtighed ligger under 1 cm og den absolutte højdenøjagtighed skal ligge på 1 – 3 cm.

I et MKS er der mange fejlkilder der vil have indflydelse på den endelige nøjagtighed. Det er både fejlkilder i georefereringen af MKSet, dvs. observationerne fra GPSen og orienteringssensorerne og målingerne fra laserskanneren, men det er også usikkerhederne på parametrene fra systemkalibreringen. Usikkerhederne på disse parametre vil slå igennem som systematiske fejl og derfor er det vigtigt at de minimeres.

Det vurderes at usikkerheden i bestemmelsen af vinkelafvigelseerne højst må bidrage med 1 cm i højden.

Højden påvirkes primært af usikkerheden i bestemmelsen af roll og pitch. Hvorimod det er heading vinklen, der har indflydelse på den plane nøjagtighed.

Det er usikkerheden på vinkelafvigelsen $d\omega_1^b$ der har størst indflydelse på højden af de målte punkter. Den afstand denne vinkelafvigelse influerer på, er afstanden langs y_b akse mellem GPS og laserskanner. Denne afstand er ca. 3 meter. På den afstand svarer en højdeforskel på 2 cm til en vinkel på $0,4^\circ$ og en højdeforskel på 1 cm svarer til en vinkel på $0,2^\circ$. Det er altså vinkeløjagtigheder i den størrelsesorden der er nødvendige for at fejlbidraget herfra på et minimum.

Fejl i flytningerne mellem body koordinatsystemet og laserskannerens koordinatsystem vil umiddelbart give tilsvarende systematiske fejl i enten planen eller højden af målingerne. Derfor er det vigtigt at disse flytninger bestemmes så godt som muligt.

Den metode vi vælger at anvende i praksis er metoden med direkte måling, hvilket er en fysisk/mekanisk måling af de parametre der skal fastlægges. Denne metode gennemgås derfor først. Beregningsmetoden behandles

efterfølgende, men den er ikke gennemført i praksis i dette projekt.

Direkte måling

Den direkte måling af transformationsparametrene foregår ved at de objekter på DyRoS bilen, der rent fysisk repræsenterer koordinatsystemerne, indmåles med totalstation i det lokale koordinatsystem.

Det er altså laserskannerens koordinatsystem og body koordinatsystemet, der indmåles. Ud fra målingerne af de to koordinatsystemer i det samme lokale koordinatsystem, kan transformationsparametrene uddrages. Det vil sige de 3 drejninger $d\omega_1^b$, $d\phi_1^b$, $d\kappa_1^b$ og vektoren v_1^b .

I de to næste afsnit gennemgås indmålingen af henholdsvis body koordinatsystemet og laserskannerens koordinatsystem, hvorefter vinkelafvigelseerne ($d\omega_1^b$, $d\phi_1^b$, $d\kappa_1^b$) og vektoren (v_1^b) mellem de to koordinatsystemer kan bestemmes.

Indmåling af body koordinatsystemet

Bodykoordinatsystemet er, som beskrevet i afsnit 6.2 – Koordinatsystemer, defineret med origo i GPS antennen og akseretningerne er orienteret efter kassen med orienteringssensorerne. Indmålingen af body koordinatsystemet sker derfor ved at indmåle

punktet for GPS antennen, samt siderne på kassen med orienteringssensorerne.

GPS antennen indmåles med 4 - 5 punkter fra hver af de fire opstillinger i polygonpunkterne. Det betyder at det endelige koordinatsæt til GPS antennen i det lokale koordinatsystem, er et gennemsnit af i alt 17 punkter.

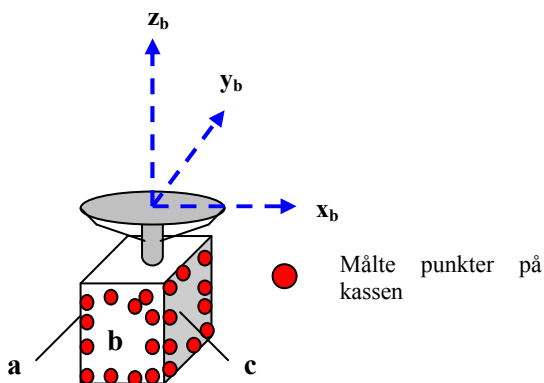
De endelige koordinater til GPS antennen i det lokale koordinatsystem er:

$$X_{GPS} = 99,899 \text{ m}$$

$$Y_{GPS} = 103,375 \text{ m}$$

$$Z_{GPS} = 103,220 \text{ m}$$

Siderne på kassen bestemmes ved at foretage en række målinger på hver af kassens sider og derefter beregne det bedste plan mellem de punkter, der er målt på den aktuelle side af



Figur 6.7 – Princip for indmåling af kassen med orienteringssensorerne. De målte punkter udgør grundlaget for at modellere hver af kassens sider.

kassen.

Målingerne til kassen med orienteringssensorerne er vist på figur 6.7, samt på punktskitsen for systemkalibreringen i bilag G.

Siderne er modelleret ved at finde det bedste rette plan mellem de målte punkter. Dette er gjort med Matlab-scriptet *plan_fit.m* [Cedderholm, 2005], der anvender en udjævning efter mindste kvadraters princip, til at finde det bedste plan gennem en 3D punktmængde. Scriptet er vedlagt på CDen.

De fire planer vi har målt på kassen beskrives ved deres normalvektorer angivet i det lokale koordinatsystem.

$$\mathbf{a}_{nv} = \begin{bmatrix} 3,3307 \\ 42,1711 \\ -1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{b}_{nv} = \begin{bmatrix} 63,8184 \\ -4,9016 \\ -1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{c}_{nv} = \begin{bmatrix} 4,5496 \\ 60,8092 \\ -1 \end{bmatrix}$$

Retningen af \mathbf{y}_b akse beregner vi dog ikke på baggrund af de modellerede planer på kassen. I stedet har vi indmålt centret i hvert af hjulenes

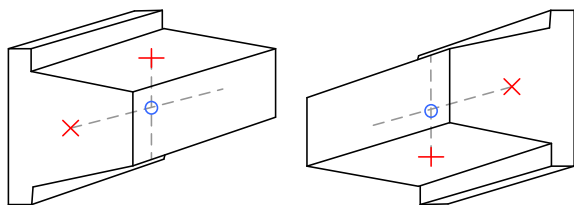
nav. Det giver mulighed for at danne to linier mellem hhv. forhjulene og baghjulene. Disse linier forudsættes at være ortogonale med bilens kørselsretning, og dermed skal body koordinatsystemets y_b akse ligge ortogonal på disse linier.

Retningerne i xy -planet af det lokale koordinatsystem, for de to linier, der dannes mellem hhv. forhjulene og baghjulene, midles til én retning. Denne retning er heading vinklen for body koordinatsystemet i det lokale system. Den kalder vi dk_b^{lok} .

Dette er en simpel, men nøjagtig fysisk definering af y_b akсен.

Laserskannerens koordinatsystem

Laserskannerens koodinatsystem er, som beskrevet i afsnit 6.2 – koordinatsystemer, defineret med origo i det roterendes spejls centrum, y_1 aksen går frem i midten af skanplanet og x_1 aksen går ud til højre for



- Skannerens center
- × Målte punkter på kassen

Figur 6.8 – Principet for indmåling af laserskannerens center.

laserskanneren (se også figur 6.4 i afsnit 6.2).

For at indmåle skannerens koordinatsystem i det lokale koordinatsystem er det nødvendigt at bestemme skannerens centrum (origo) samt skanlinien på jorden. Derved kan position og orientering af laserskannerens koordinatsystem fastlægges ift. det lokale koordinatsystem.

Det er ikke muligt at indmåle laserskannerens centrum direkte, da det er placeret inde i skannerkassen. Derfor afmærkes centrets projektioner ud på skannerkassens sider, som vist i figur 6.8, og det er disse punkter der indmåles i det lokale koordinatsystem. Punkterne afmærkes efter mål angivet på tegningerne af skanneren i den tekniske manual [SICK 2005b]. Centret findes så ud fra midtpunkterne på de linier, der forbinder de målte punkter på skannerkassen.

Skannerens centrum, beregnet ud fra disse målinger, har de lokale koordinater:

$$X_{skan} = 102,942 \text{ m}$$

$$Y_{skan} = 104,042 \text{ m}$$

$$Z_{skan} = 101,755 \text{ m}$$

Dermed er origo i laserskannerens koordinatsystem bestemt i det lokale koordinatsystem. For at fastlægge orienteringen af laserskannerens koordinatsystem i det lokale koordinatsystem er skanlinien defineret på jorden og indmålt ved tre yderligt beliggende

punkter i hver side, dvs. 6 punkter i alt. Dette er skitseret på punktskitsen for systemkalibreringen i bilag G. Metoden til at definere skanlinien er den samme som benyttet til test af laserskanneren, se kapitel 5 - SICK LMS211.

Orienteringen i det lokale koordinatsystem, i z_{lok} - og $z_{y_{\text{lok}}}$ - planet, fastlægges ud fra to vektorer mellem skan centrum (origo) og hvert af de to yderste punkter på skanlinien (pkt. 18 og 23 på skitsen i bilag G). Det gør det muligt at fastlægge orienteringen af laserskannerens koordinatsystem i forhold til det lokale koordinatsystem.

Retningen for skanlinien, i xy_{lok} - planet, findes ved at bestemme den bedste rette linie gennem de 6 punkter, der er indmålt til definition af skanlinien, se punktskiten i bilag G.

Beregningerne af laserskannerens position og orientering fremgår af regnearkene *skancenter_lok_koor.xls* og *skanlinie_lok_koor.xls* på CDen. Dermed er laserskannerens koordinatsystem positioneret og orienteret i det lokale koordinatsystem.

Beregning af parametrene

Den vektor, der beskriver flytningen mellem body koordinatsystemet og laserskannerens koordinatsystem, går mellem GPS antennen og

laserskannerens centrum. Det vil sige origo i hhv. body og laserskannerens koordinatsystem.

$$\mathbf{v}_1^b = \begin{bmatrix} 0,9697 \\ -2,9605 \\ -1,495 \end{bmatrix}$$

Vinkelafvigelsen mellem body koordinatsystemet og laserkoordinatsystemet, kan beregnes som afvigelsen mellem denne retning ($\mathbf{dk}_b^{\text{lok}}$) for \mathbf{y}_b akse og retningen for skanlinien, der også er indmålt i det lokale koordinatsystem.

Vinkelafvigelsen mellem body koordinatsystemet og laserskannerens koordinatsystem i xy -planet bliver da:

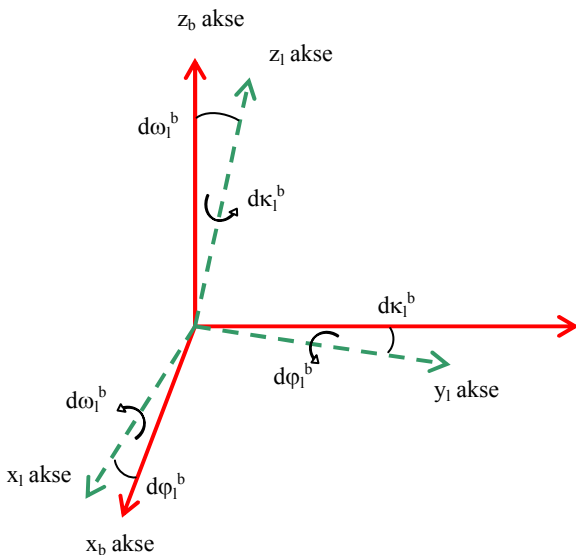
$$\mathbf{dk}_1^b = 0,289^\circ$$

For at vi kan bestemme de to øvrige vinkelafvigelser, $\mathbf{d}\omega_1^b$ og $\mathbf{d}\phi_1^b$ transformeres de vektorer, der bruges til at bestemme disse vinkler, til et koordinatsystem med samme plane retning som body koordinatsystemet. Dette tilnærmede body koordinatsystem benævnes \mathbf{B}' . Det sker med drejningen $\mathbf{dk}_b^{\text{lok}}$ om z_{lok} akse. Transformationen gennemføres fordi vinklerne $\mathbf{d}\omega_1^b$ og $\mathbf{d}\phi_1^b$ bliver bestemt forkert, hvis de fastlægges ud fra z_{lok} - og $z_{y_{\text{lok}}}$ -planerne i det lokale koordinatsystem. Derfor er det nødvendigt at bestemme disse to vinkler i det tilnærmede body koordinatsystem \mathbf{B}' .

Vinkelafvigelsen $d\phi_1^b$ bestemmes ud fra skannerens centerlinie og normalvektorerne til plan a og c givet i \mathbf{B}' koordinatsystemet. Det giver drejningen om y_1 akse mellem body koordinatsystemet og laserskannerens koordinatsystem, se figur 6.9.

$$d\phi_1^b = -0,495^\circ$$

Den sidste vinkelafvigelse mellem body koordinatsystemet og laserskannerens koordinatsystem er $d\omega_1^b$, drejningen om x_1 akse i laserskannerens koordinatsystem. Denne vinkelafvigelse bestemmes ud fra hældningen på skanplanet og hældningerne på b planet, i x_b, y_b planet.



Figur 6.9 – Vinkelafvigelserne mellem laserskannerens koordinatsystem og body koordinatsystemet.

$$d\omega_1^b = 1,492^\circ$$

Beregningerne af vinkelafvigelserne kan ses i regnearket *systemkalibrering.xls* på CDen.

Dermed er alle parametre fra systemkalibreringen fastlagt, og kan nu anvendes til transformation af målinger fra laserskanneren til body koordinatsystemet.

Der er flere fejlkilder der kan give usikkerheder i parametrene bestemt efter denne metode. Det er bl.a. modelleringen af de planer der danner siderne på kassen med orienteringssensorerne og dernæst er det definitionen af skanlinien på jorden. Disse to fejlkilder vil have indflydelse på vinkelafvigelserne, da det er herudfra at de fastlægges. Indmålingen af GPS antennen og laserskannerens center, dvs. origo i de to koordinatsystemer influerer på nøjagtigheden af vektor \mathbf{v}_1^b .

Det sidste skridt i georefereringen består i at positionere og orientere body koordinatsystemet i navigationskoordinatsystemet. Det anvendes inclinometerne i smallPOS enheden samt GPS'en til. Gennem systemkalibreringen har vi foretaget en simpel kontrol af målingerne fra inclinometerne, som behandles i det følgende.

Korrektion af orienteringssensorerne

Orienteringssensorerne på DyRoS bilen målte under systemkalibreringen drejningerne pitch og

roll. De værdier sensorerne gav, er dog ikke sammenfaldende med de værdier vi har målt os frem til, og dermed defineret body koordinatsystemet efter. Derfor giver det anledning til at foretage en korrektion af orienteringssensorerne.

I roll gav sensoren en vinkel på $0,252^\circ$. Det er en positiv vinkel, dvs. at bilens højre side (x_b -aksen) vipper ned.

Den roll værdi vi har beregnet ud fra de modellerede planer a og c er $1,147^\circ$.

Det betyder at målingerne fra roll sensoren på DyRoS skal korrigeres ift. vinkelafvigelse fra systemkalibreringen.

Roll korrektion: $1,147^\circ - 0,252^\circ = 0,895^\circ$

I pitch gav orienteringssensoren en vinkel på $1,321^\circ$. Det vil sige at sensorens målinger skal korrigeres ift. vinkelafvigelse fra systemkalibreringen.

Den pitch værdi vi har beregnet ud fra det modellerede plan b er $1,147^\circ$.

Pitch korrektion: $0,895^\circ - 1,321^\circ = -0,426^\circ$

Dette er en simpel måde at korrigerer for vinkelafvigelser mellem sensorerne og body koordinatsystemet. I princippet burde der foretages en større test og kalibrering

sensorerne, men det kan ikke umiddelbart lade sig gøre i dette projekt, på grund af begrænset tid til rådighed. Da orienteringssensorerne er en del af selve DyRoS bilens opsætning, hører en kalibrering af disse til et af de projektområder, vi ikke umiddelbart kan beskæftige os med, og som vi derfor har afgrænset os fra.

Disse korrektioner af orienteringssensorerne er en del af georefereringen af MKS'et og derfor et led i transformationen mellem body koordinatsystemet og navigationskoordinatsystemet. Denne transformation er allerede givet ved formel 6.8, men beskrives igen i afsnit 6.5 – Opsamling på systemudviklingen.

Beregning

I dette afsnit redegøres kort for en alternativ metode til systemkalibrering af et MKS. Der er tale om en mere matematisk metode til at bestemme vinkelafvigelse og vektoren mellem body og laserskannerens koordinatsystem.

Denne metode foregår ved at gennemføre en måling med MKSet og definere den målte skanlinie på jorden. Den definerede skanlinie måles ind i et lokalt koordinatsystem, og kan så sammenholdes med målingerne fra laserskanneren. Derigennem kan transformationsparametrene beregnes som de drejninger, der er mellem de to linier.

Formlen til bestemmelse af vinkelafvigelse er den samme som anvendes til samlede georeferering af målingerne fra laserskanneren. Det vil sige en kombination af formel 6.6 og 6.8.

$$\mathbf{v}_n = \mathbf{v}_b^n + \mathbf{D}_b^n * \mathbf{D}_1^b * \mathbf{T}_1^b * \mathbf{v}_1 + \mathbf{v}_1^b \quad \text{formel 6.9}$$

Her vil komponenterne i \mathbf{v}_n være givet ved koordinater på den definerede skanlinie på jorden i det lokale koordinatsystem.

Vektoren \mathbf{v}_b^n vil også være givet ved koordinaterne til GPS antennen i det lokale koordinatsystem. Vektor \mathbf{v}_1^b kan beregnes ud fra de lokale koordinater til hhv. GPS antenne og laserskannerens center, på samme måde som det er sket i metoden med direkte måling.

Drejningsmatricen \mathbf{D}_b^n med heading, pitch og roll værdier kan bestemmes ud fra orienteringen i det lokale koordinatsystem. Det vil sige at heading er body koordinatsystemets retning i det lokale koordinatsystem og pitch og roll gives af observationerne fra orienteringssensorerne.

\mathbf{T}_1^b er fastlagt på forhånd og \mathbf{v}_1 fås fra laserskannerens observationer. Dermed er der kun drejningsmatricen \mathbf{D}_1^b mellem body og laserskannerens koordinatsystem tilbage. Den kan altså beregnes, da alle øvrige komponenter i formelen er kendte, og ud fra koefficienterne i den beregnede \mathbf{D}_1^b kan vinkelafvigelse fastlægges. Det kan gøres gennem en samlet

ujævning, hvor laserskannerens målinger til den definerede linie indgår som observationer. De ubekendte er så drejningerne $d\omega_1^b$, $d\phi_1^b$ og $d\kappa_1^b$.

Denne metode til beregning af parametrene i systemkalibreringen er som før nævnt ikke gennemført i praksis i dette projekt. Den er set anvendt i udviklingen af et MKS ved Institut Cartogàfic de Catalunya i Barcelona [Talaya, 2004].

6.5 - Opsamling

Gennem dette kapitel er den samlede udvikling af MKSet behandlet. Ud fra de koordinatsystemer, der indgår i dette MKS, opstilles de transformationer, der er nødvendige for at håndtere systemet og relatere de målinger, der foretages med laserskanneren til body koordinatsystemet.

Med transformationerne på plads, er det klarlagt hvilke parametre, der skal fastlægges gennem systemkalibreringen. Disse 6 parametre er:

- 3 drejninger
 - $d\omega_1^b$
 - $d\phi_1^b$
 - $d\kappa_1^b$
- 3 flytninger
 - koordinaterne i vektor \mathbf{v}_1^b

På den baggrund er der valgt en metode til systemkalibreringen. Systemkalibreringen gennemført ved metoden med direkte måling, og de 6 parametre er blevet fastlagt.

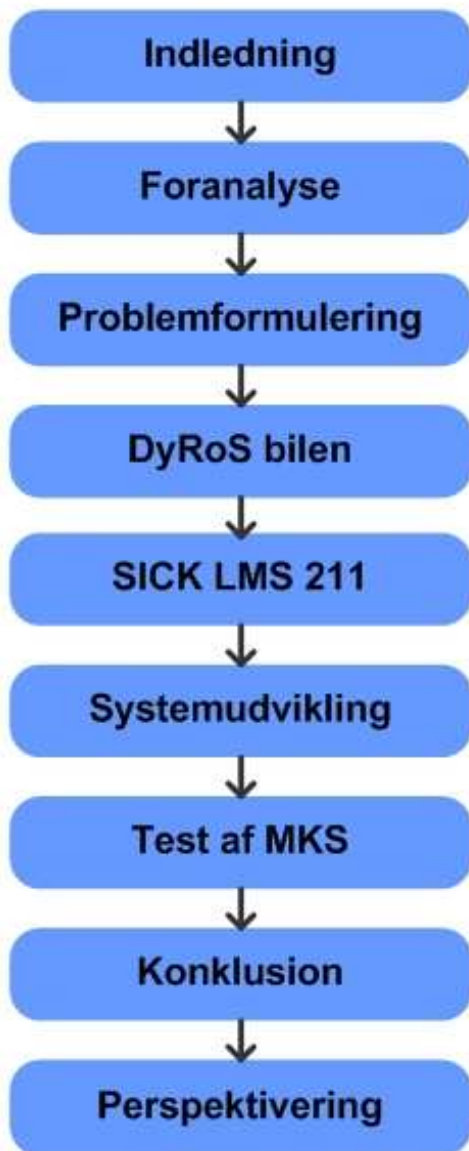
Med systemkalibreringen på plads er vi klar til at opstille den samlede georeferering af målinger foretaget med MKSet. Formlen for georefereringen er allerede givet ved formel 6.8, der beskriver transformationen fra body koordinatsystemet til navigationskoordinatsystemet. Et samlet udtryk for de transformationer, der skal til at løse georefereringen er givet ved udtrykket i formel 6.9:

$$\mathbf{v}_n = \mathbf{v}_b^n + \mathbf{D}_b^n * \mathbf{D}_l^b * \mathbf{T}_l^b * \mathbf{v}_l + \mathbf{v}_l^b$$

Beregningerne af de georefererede målinger er gennemført i Matlab-scriptet *georef.m*, der er vedlagt på CDen. De georefererede målinger, der beregnes i dette script korrigeres også for de afvigelser vi har konstateret på inclinometrene i smallPOSen, dvs. de roll og pitch korrektioner på orienteringssensorerne, der er fastlagt sidst i systemkalibreringen.

Dermed er MKSet udviklet og vi kan herefter gennemføre nogle statiske test med det samlede MKS, for at kunne vurdere resultatet.

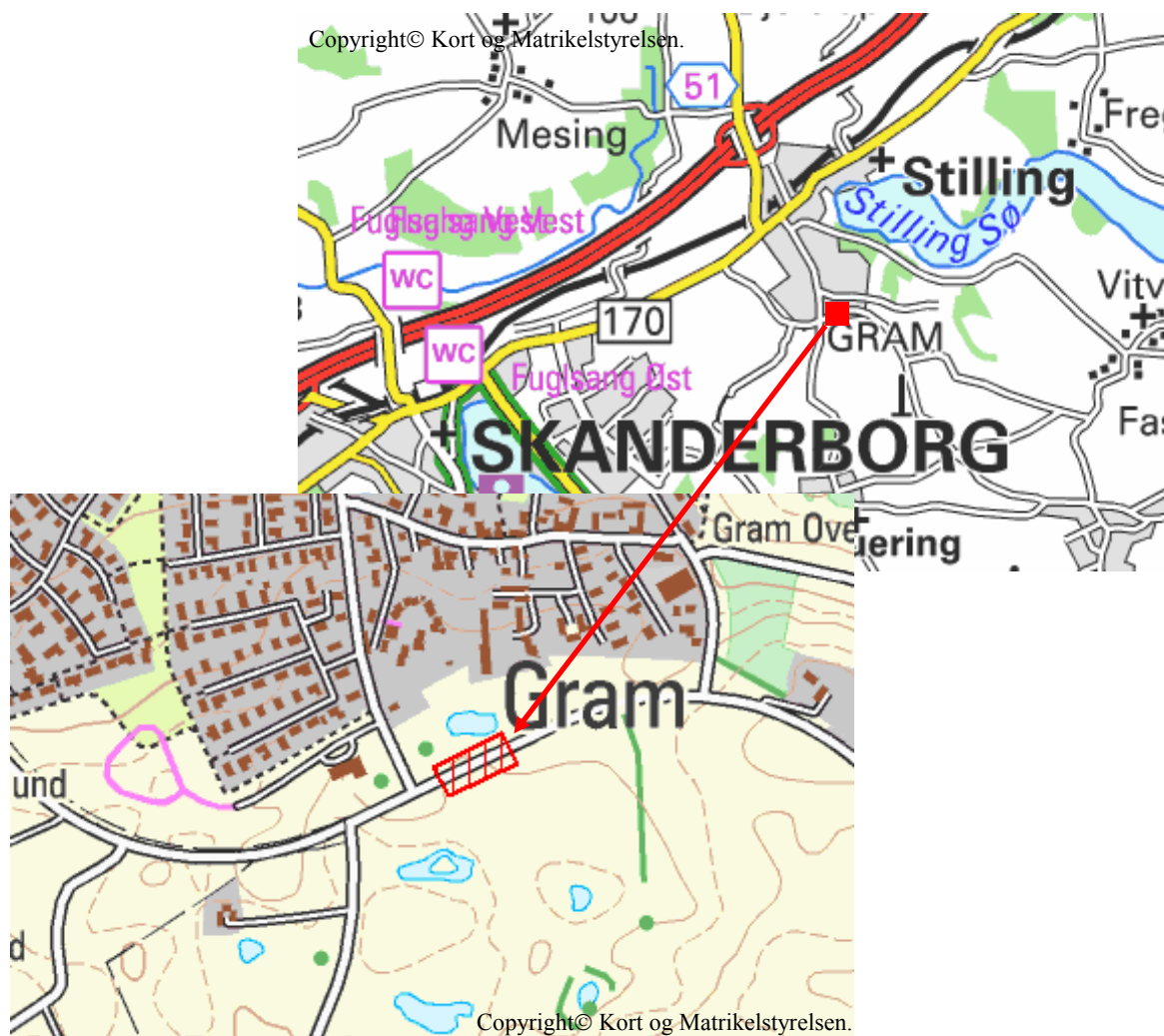
7 – Test af MKS



I dette kapitel behandles de test der er gennemført med den udviklede prototype. Der er tale om statiske test i et testfelt lidt uden for Skanderborg.

Overordnet set består dette kapitel af to afsnit. Først beskrives det testfelt, der er etableret for at kunne teste prototypen, dernæst præsenteres metoderne i teori og praksis og der vurderes på resultaterne opnået ved de tre test, der er udført. Disse tre test er statiske test, kaldet ”stop and go” test 1 til 3. Princippet i ”stop and go” tests

er at der måles, køres lidt frem, måles osv. Da det ligger ud over rammerne for dette projektet at behandle problemer vedrørende tidsynkronisering, er MKSet dermed ikke i stand til at foretage kørende målinger og derfor er dette ikke testet.



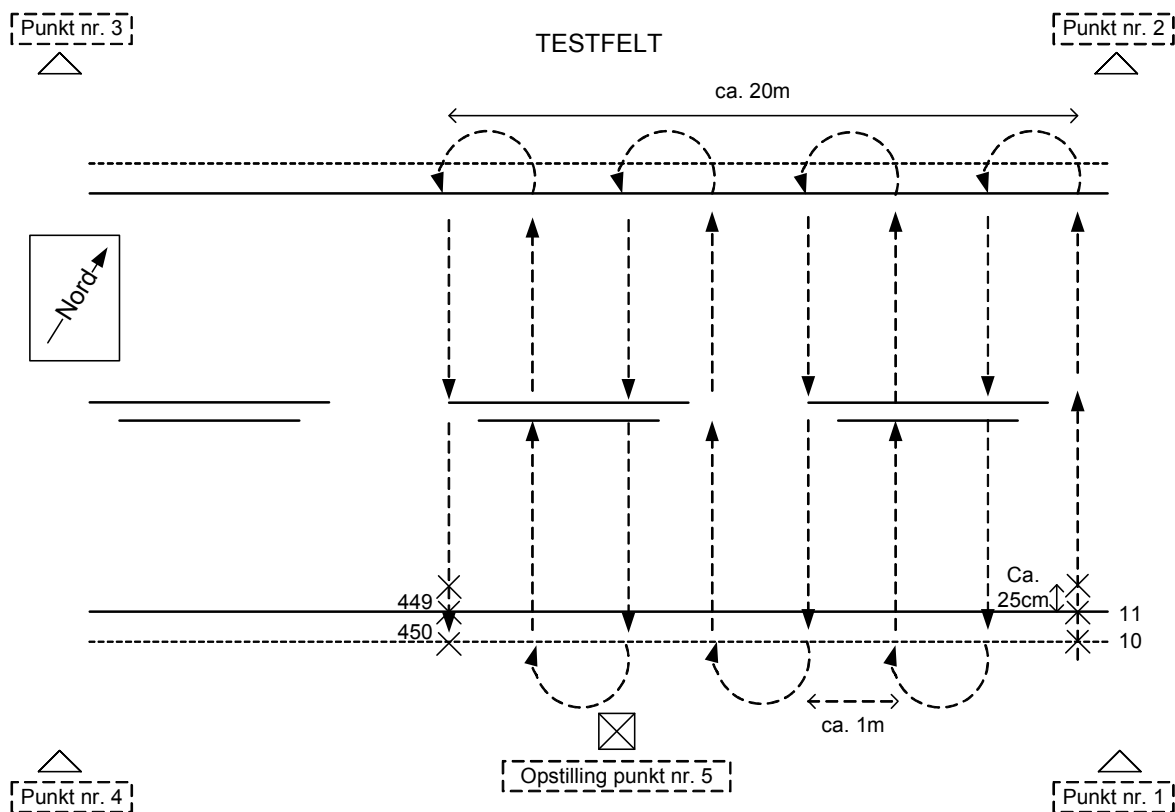
Figur 7.1 - Kort, der viser placering af testfeltet. Øverst et færdselskort fra 2004 i 1:200.000 og nederst et kort 25-dæmpet fra 2004 i 1:25.000. Kortene er lavet i Visit 4.2. Signaturforklaring kan findes på [Geodatabiblioteket, 2005]. Nord er opad.

7.1 - Testfelt

Testfeltet består af et øst-vest gående vejstykke på ca. 20 meter af Virringsvej ved Skanderborg, se figur 7.1. Vejen er højt placeret i landskabet og der er bymæssig bebyggelse (Gram) på nord siden og åbne marker på sydsiden. Dermed er der frit udsyn til GPS satellitterne. Vejen er forholdsvis nyanlagt (Den findes f.eks. ikke på kort fra 2001), dvs. ny jævn asfalt og klare hvide striber. Der er ikke synlig sporkøring eller huller i asfalten, og der er ikke andre genstande, så som f.eks. grus fra en markvej. Vejen består af

en kørebane i hver retning med kantstriber og midterstribe, se figur 7.2.

Data, der beskriver testfeltet er genereret på baggrund af 3D punkter indsamlet med totalstation, Leica TCRA1105. Dokumentationen for denne opmåling findes på CDen bagerst i rapporten. Valget af opmålingsinstrument stod mellem enten en totalstation eller en laserskanner, set i forhold til det i højden mere præcise nivellerinstrument.



Figur 7.2 - Skitsering for udformningen af testfeltet "Virringsvej".

De punkterne der skal måles beskriver en rimelig jævn og glat overflade – vejen. Ud fra punkterne skal der genereres en model af vejen, hvilket beskrives i afsnit 7.2 – Testberegning og vurdering. Vores ræsonnement er at mange punkter indsamlet med en totalstation eller laserskanner vil kunne give en ligeså god model, som hvis der var målt væsentlig færre, men lidt bedre punkter med et nivellerinstrument. Men det er klart at hvis der havde været større relative højdeforskelle i vejen, f.eks. sporkøring eller større huller ville et nivellerinstrument kunne komme på tale. Kravet i scenario 1 er en relativ nøjagtighed på 1 cm i højden og lidt over i planen samt en absolut 2-3 cm i plan og højde. For at kunne benytte modellen af testfeltet som en beskrivelse af vejen som den ser ud i virkeligheden, er det derfor nødvendigt at vi holder os under disse krav. Kravet til modellen er skønsmæssig derfor sat til 5 -10 mm i højden og planen relativt, absolut tilføres det fejlbidraget fra GPSen på 1cm. i planen og 1-1.5cm. i højden. Vi vurderer dog at det til denne opgave vil være tidsmæssigt væsentligt langsommere med et nivellerinstrument, da der så efterfølgende skal måles vejlinier og kanter med en totalstation, for at få vejen bestemt i planen. Derfor er en totalstation eller laserskanner mere egnet til opgaven, set i dette lys.

Forholdet mellem anvendelsen af en laserskanner eller en totalstation er rimelig ens nøjagtighedsmæssigt. En terrestrisk laserskanner

f.eks. Leica HDS 3000, kan målet et grid af punkter, med en oplyst 3D nøjagtighed på 6 mm [Leica, 2005]. Det er dog ikke testet hvad nøjagtigheden i praksis er under de forhold (geometri, refleksion osv.) der gør sig gældende ved netop dette testfelt. Punkter målt polært med totalstation, Leica 1105-serien og almindelig prisme har erfaringsmæssigt en 3D nøjagtigheden på 6-8mm, altså ca. det samme.

Det er derimod hurtigere og vil give flere punkter med laserskanneren. Derfor vurderes HDS3000 som det bedste instrument til at etablere testfeltet, hvis der ikke skulle måles vejlinier og kanter. Dette kan laserskanneren nemlig ikke umiddelbart, da den måler ikke-selektive punkter. Derfor valgte vi en dag da vejret var godt at bruge 2 timer på opmåling af net samt testfelt med totalstationen.

Princippet for opmålingen af testfeltet er generelt det samme som ved systemkalibreringen. Der er etableret 4 netpunkter, uden om testfeltet. Ligeledes er der etableret et opstillingspunkt for totalstationen. Placeringen af opstillingspunktet er ikke midt for testfeltet, da det under planlægningen var meningen at der skulle etableres et større testfelt end det faktiske. Ændringen af størrelsen på testfeltet, hænger sammen med at det ikke var helt klart under planlægningen af testfeltet, om der kunne udføres kørende målinger eller ej. Testfeltet er beregnet som et lokalt koordinatsystem og derefter er det hele

transformeret til UTM på euref89 datum og højdesystemet er DVR90. Det er sket på baggrund af RTK målinger til de 4 netpunkter og opstillingspunktet, transformationsrapporter er vedlagt på CDen.

Punkterne på vejen er placeret med ca. 25 cm imellem i tværetningen og ca. 1m i længderetningen. Desuden er kanterne på vejafstribningerne målt samt kanten på vejen, således der er mulighed for en sammenligning, hvis de kan genfindes i data fra MKSet.

7.2 - Testberegning og vurdering

Resultatet af ”stop and go” testene er tre punktskyer bestående af 3D punkter der ligger inden for samme geografiske område som testfeltet. Punktskyerne fra MKSet og testfeltmålingerne skal sammenlignes med det formål at vurdere nøjagtigheden af målingerne fra MKSet, samt kontrollere disse målinger for systematiske fejl. Det vil sigte fejl i enten systemkalibrering, konstruktion eller instrumenter.

Da punktskyerne ikke umiddelbart kan sammenlignes er det nødvendigt at modellere vejoverfladen ud fra hver punktsky, for på den måde at få nogle flader, der kan sammenlignes. Ved at sammenligne modellerne findes forskellene og disse forskelle benyttes til at beregne et udtryk for nøjagtigheden af MKSet. Denne nøjagtighed er dog afhængig af den

metode, der benyttes til at modellere punktskyerne. Da modellerne har indflydelse på nøjagtigheden, er valget af et testfelt som er rimelig jævnt, det vil sige de højdeændringer, der findes indbyrdes mellem punkterne i testområdet er forholdsvis små, en fordel. Derfor er det også godt at der ikke er sporkøring eller huller i vejen, der kan være svære at modellere.

Dette afsnit beskriver hvordan denne modellering og sammenligning rent principielt er forgået. Først behandles den software, der er benyttet og derefter den metode, der er brugt. Resultatet af sammenligningen præsenteres og diskuteres til sidst.

Software

Til at modellere punktskyerne og lave sammenligningerne er programpakken ArcGIS benyttet, men der kunne lige så godt være benyttet et andet program. Det kunne f.eks. være *ImageStation Digital Mensuration* (ISDM) [Intergraph, 2005], der er et program benyttet indenfor fotogrammetrien, til blandt andet kvalitetsvurdering af højdemodeller. Det kunne også være et CAD program, som ofte benyttes af ingeniører eller landinspektører til tekniske tegninger. ArcGIS er udelukkende valgt på grund af projektgruppens gode kendskab til programmet og funktionerne, samt dets gode værktøjer til visualisering. At der er et indgående kendskab til programmet er vægtet højt i denne sammenhæng, da den egentlige

modellering ligger uden for rammerne i dette projekt, og kun er anvendt i den nødvendige udstrækning, det kræves for at kunne modellere og sammenligne de to punktskyer.

De benyttede dele af ArcGIS programmerne er ArcCatalog, som er filhåndtering delen, ArcMap, hvor beregningerne er foregået og ArcScene, som er benyttet til at visualisere punktskyer, modeller og resultater i 3D.

Kort beskrevet er dataflowet at filen indeholdende punkternes 3D koordinater geokodes i programmet således vi får 2D punkter med højdeinformationen tilknyttet som attribut. På baggrund af 2D punktskyen dannes et *Triangular Irregular Network* (TIN). Dette TIN konverteres herefter til et raster med en cellestørrelse på 10 cm. Det udarbejdede raster for både testfeltet og resultatet fra MKSet trækkes fra hinanden, således vi ender op med et raster, der beskriver forskellen mellem de to modeller. Denne forskel udgør residualerne, og ved en beregning efter formel 4.3 kan den samlede nøjagtighed findes. Undervejs kan de to TIN modeller, raster billeder eller punktskyer sammenlignes visuelt, og dermed medvirke til at afsløre om der er nogle tendenser i afvigelse, der kunne skyldes systematiske fejl i MKSet.

Ovenstående gennemgang af dataflowet er som nævnt, kort og i det følgende er de enkelte trin derfor forklaret yderligere, da det er dataflowet,

der danner grundlag for præsentationen af resultaterne.

Resultater

Det er dog ikke alle dele af dataflowet, der er lige vigtige i forhold til præsentationen af resultaterne. Det er det punkt, der er markeret med rødt:

- Geokodning af komma separeret tekstfil.
- Generering af TIN model.
- Konvertering af TIN model til raster format med en cellestørrelse på 10cm.
- Beregninger på raster modellerne.
- Visualisering.

Ligeledes indgår visualiseringerne sammen med de punkter, hvor de er benyttet. Dermed er der kun de tre midterste punkter tilbage, og de behandles i det følgende i hver deres afsnit. Overordnet redegøres kort for de valg der er truffet og ligeledes beskrives teorien bag. Derefter præsenteres de faktiske resultater, dog kun en gennemgang for sammenligningen mellem ”stop and go” test 1 og testfeltet. Resultaterne fra ”stop and go” test 2 og 3 præsenteres efterfølgende i den samlede vurdering.

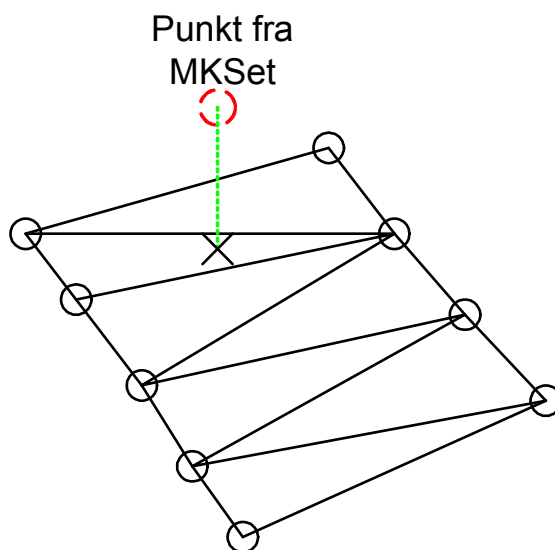
Generering af TIN model

Udgangspunktet for at kunne generere en TIN model er en 2D punktsky, hvor højdeinformationerne findes som en attribut eller "feature", som det kaldes i ArcMap. TIN er en forkortelse for Triangular Irregular Network, hvilket på dansk kan oversættes til irregulær triangulations netværk. Det betyder at der er genereret trekanter mellem alle punkterne i punktskyen og attributterne lagres for massemidtpunktet af trekanterne. Dermed findes en middel koordinat og en middel højde på baggrund af tre punkter.

Denne metode er benyttet, da man hermed beskriver en overflade - vejen, på baggrund af punktskyen, hvilket er nødvendigt for at kunne finde højdeinformation til et givent punkt.

Metoden er benyttet for punktskyen, der beskriver testfeltet, se figur 7.4, men til punktskyen fra MKSet er det ikke nødvendigt at anvende denne metode.

Det er nemlig muligt at sammenligne et 3D punkt fra MKSet med højden i det tilsvarende plane punkt i TIN modellen, skitseret i figur 7.3. Dette resulterer i en forskel i højden for alle punkterne fra MKSet i forhold til den "rigtige" højde fra testfeltet, det vil sige residualerne for målingerne med MKSet. Dermed kan en samlet spredning udregnes. Denne metode er dog ikke benyttet, da metoden ikke er god til visuelt at vurdere om der er systematiske fejl. Det eneste

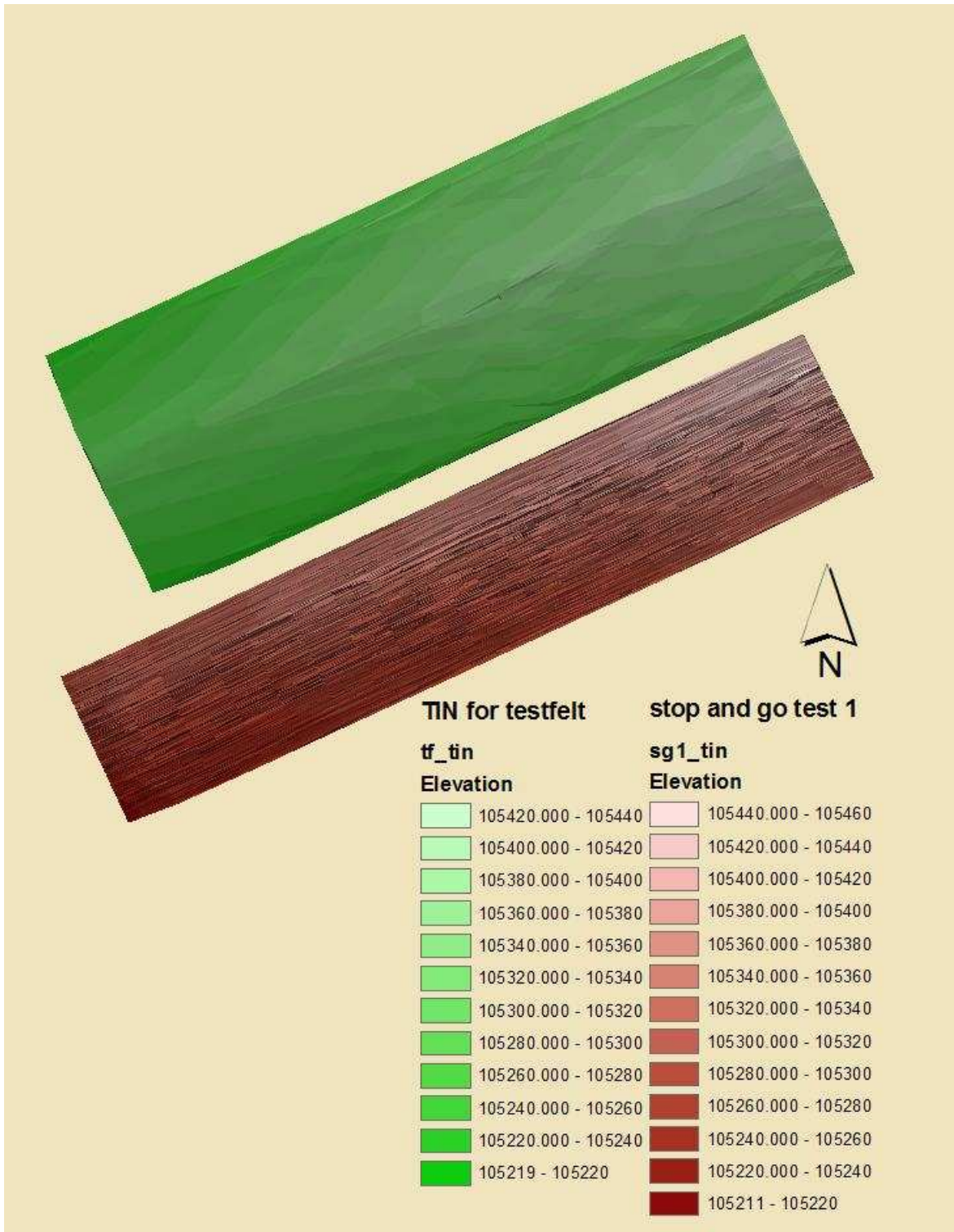


Figur 7.3 Metode hvor et 3D punktet fra MKSet sammenlignes med den tilsvarende højde i TIN modellen af testfeltet.

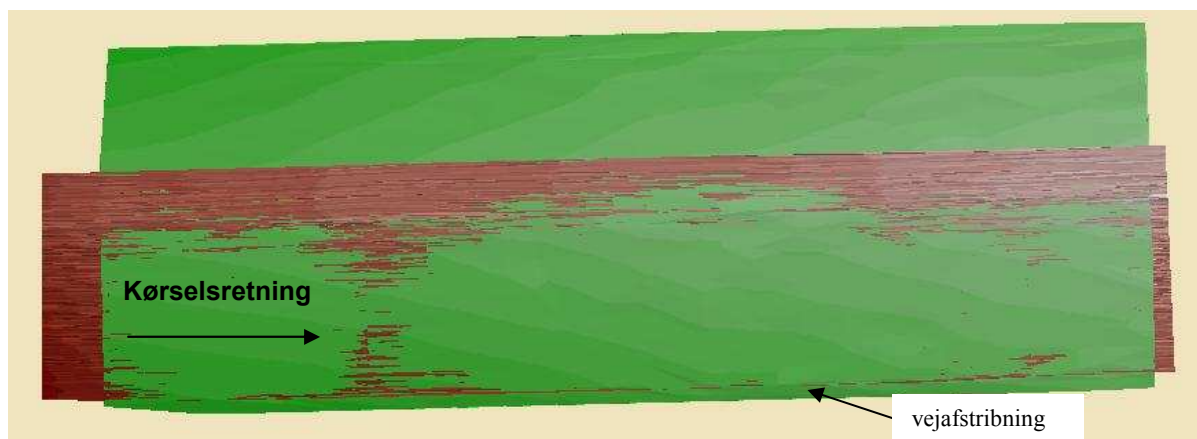
grundlag, der er for denne type af vurderinger er data, det vil sige tal.

Derfor er en anden metode brugt, hvor de visuelle muligheder kan benyttes. Beregningsmæssigt mht. spredninger osv. er det dog i princippet det samme.

Metoden består i at der også genereres en TIN model for den punktsky, der er målt med MKSet, se figur 7.4. Dermed har man to overflademodeller der visuelt kan sammenlignes, f.eks. i 3D i ArcScene, se figur 7.5. Der kan dog ikke umiddelbart beregnes forskelle mellem de to TIN modeller, så enten skal det ske ved ovennævnte metode, skitseret i figur 7.3, ellers skal det ske i raster.



Figur 7.4 - TIN model genereret for både testfeltet og punktskyen målt med MKSet.



Figur 7.5 - Det grønne lag er TIN modellen for testfeltet og det brune lag er TIN modellen for stop and go test 1. Farverne varierer efter den absolute højde, dvs. jo mørkere farve jo lavere højde. Farvekurver er inddelt i intervaller med 2cm.

I figur 7.5 er resultaterne af de to TIN modeller sammenlignet, og det fremgår tydeligt at der er tale om data for det samme område. Den brune overflade er målingerne fra MKSet og den grønne overflade er testfeltet. Der ser ud til at være en lille systematisk fejl idet målingerne fra MKSet konsekvent ligger over testfeltet for de yderste punkter målt i MKSets venstre side. Det vil sige de punkter der ligger lige over midten af testfeltet, placeret i modsatte kørebane. Disse målinger er for korte ift. testfeltet. Det kan dog skyldes den dårlige refleksion på asfalten kombineret med en lille indfaldsvinkel på de yderste målinger i et skan. Derimod er der en tendens til at de midterste punkter i skanningerne med MKSet er målt en smule for lange.

En anden ting der dukker op i disse visualiseringer er at man kan ane vejstriberne, se f.eks. den lange brune stribe nederst i figur 7.5. De næste figurer vil dog vise forskellen mellem de to modeller og afstribningen bedre, så derfor fortsættes vurderingen der.

Konvertering af TIN til raster

Der er en umiddelbar fordel ved at konvertere TIN modellerne til raster, og fortage kvalitetsberegningen her, i stedet for punkt ud fra metoden, beskrevet tidligere. Det er at resultatet, altså afvigelseerne grafisk kan præsenteres som en rasterflade og sammenlignes med de to øvrige rasterflader genereret ud fra TIN modellerne.

Det sker ved at de to TIN modeller, fra hhv. MKSet og testfeltet, konverteres til et raster med en cellestørrelse på 10 cm, se bilag H - figur H.1. Denne cellestørrelse er valgt ud fra betragtninger om at testfeltet, som beskrevet indledningsvis i kapitlet, er rimeligt fladt med en jævn stigning. Derfor er det tilstrækkeligt med en pixelstørrelse på 10 cm, for at kunne beskrive overfladen. Pixelstørrelsen ikke dog heller ikke valgt større, da formålet med denne metode er at give et visuelt resultat der kan danne grundlag for vurderingen.

Beregninger og vurderinger på raster modellerne

Når de to TIN modeller er konverteret til raster, benyttes en ”*raster calculator*”, en funktion der gør det muligt at udføre forskellige matematiske udregninger på et raster. Her subtraheres raster modellen fra MKS målingerne med modellen der beskriver testfeltet, se formel 7.1.

$$R_m - R_t = r \quad \text{Formel 7.1}$$

R_m – Raster model af MKS målinger,

R_t – Raster model af testfelt,

r – residualer.

For denne resulterende rastermodel der giver residualerne for målingerne med MKSet, fås mindste værdi, største værdi, sum, middel og spredning, hvilket er de oplysninger vi skal bruge for at kunne beskrive resultatet af

Parameter	Test 1	Test 2	Test 3
r min.	-29,4	-60	-55,4
r max	74,2	89,4	31,1
Spredning	12,3	17,5	14,3
Middel	-1,5	-5,7	-19,2

Tabel 7.1 – Værdier for forskellen mellem de målte overflader og testfeltet.

sammenligningen. De raser overflader vi får ud af denne beregning er vist i bilag H – figurerne H.2 og H.3. Resultaterne for de tre sammenligninger af hhv. test 1,2 og 3 er givet i tabel 7.1. Resultatet, model af afvigelserne fra test 2 og 3 findes ligeledes i bilag H i figur H.4.

Af værdierne for forskellene mellem de sammenlignede overflader, fremgår det at spredningen på residualerne ligger mellem 12 og 17 mm. Dette er altså det generelle udtryk for nøjagtigheden af målingerne med MKSet. Denne angivelse af nøjagtigheden for målingerne med MKSet er altså udtrykt ved spredningen på residualerne mellem de sammenlignede overflader. Vi kan ligeledes se at de maksimale afvigelser ligger på højest 9 cm.

Der ser ud til at være en fejl i målingerne fra laserskanneren, som kan skyldes at der måles til asfalt. Det kunne tyde på at der er en systematisk fejl i laserskannerens målinger fordi der måles på en asfaltoverflade. Dette giver dårlige intensitetsværdier i retursignalerne, hvilket kan give forkerte afstandsmålinger. Der er dog ikke noget i manualen til laserskanneren

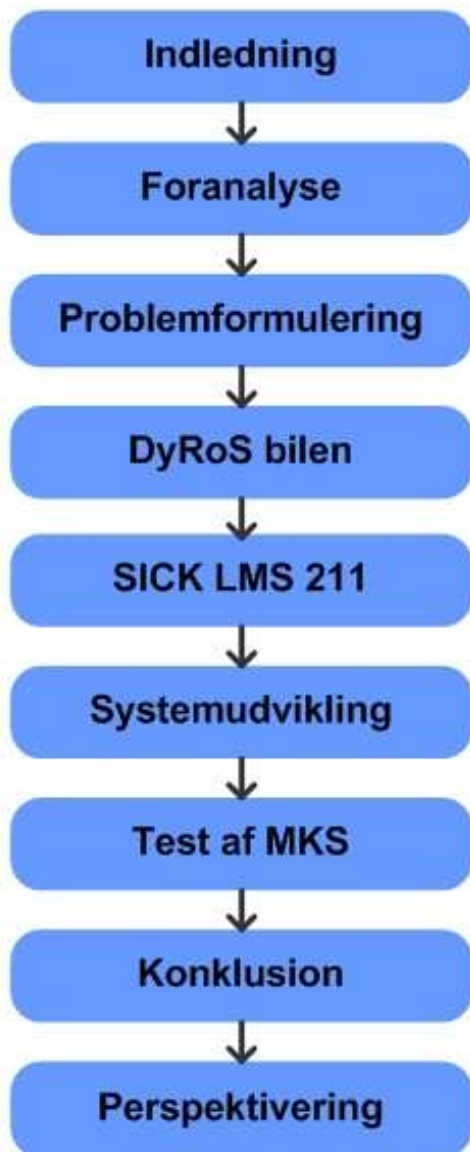
der viser hvordan den målte afstand afhænger af intensiteten. Derfor vil det kræve yderligere test af laserskanneren på forskellige materialer, hvis der skal findes en korrektionsfaktor for en sådan fejl. Dette er ikke noget vi skal beskæftige os yderligere med i dette projekt, blot påpege at vurderes at være årsagen til en del af højdefvigelse.

Det kan også være årsag til højden registreres forkert på den anden side af midterstripen, altså på kørebanen i den modsatte retning. Her vil der nemlig være en hældning er væk fra bilen samtidig med den dårlige refleksion.

Et andet forhold, der er kommet til udtryk i modellerne, er afstribningen der træder tydeligt frem i de enkelte modeller af målingerne med MKSet. Det skal understreges at grunden til dette, er at intensiteten i retursignalet er så forskellige mellem hhv. de hvide striber og den mørke asfalt, at det giver udslag i laserskannerens afstandsmålinger. Derfor træder afstribningen frem i modellerne. Vi har i et regneark vedlagt på CDen, forsøgt at bruge dette forhold til at kontrollere den plane afvigelse i MKSets tværretning. Det har vi gjort ved at tage de plane koordinater til hhv. afstribningens kant i testfeltet og i målingerne fra laserskanneren. Dette er selvfølgelig ikke en gyldig metode til at kontrollere den plan afvigelse, men det kan give en indikation af om der er store og grove forskydninger i planen.

For midterstriberne er afvigelse ikke over 5 cm og enkelte er nede på 2 – 3 cm, men ved de to målinger der er foretaget ved kantstriberne er afvigelse oppe på ca. 12 cm. Det eneste vi kan vurdere ud fra dette er at der ikke er store systematiske fejl i de plane koordinater. Forskellen mellem afvigelse inde ved midterstriberne og ude ved kantstriberne kan kun tages som intensitetens forskellige indflydelse på den målte afstand, ved de forskellige vinkler i et skan.

8 - Konklusion



Den samlede konklusion for projektet gives gennem dette kapitel, hvor der konkluderes på de vigtigste aspekter af projektarbejdet, specielt på løsningen af problemformuleringen og på projektet som helhed.

Gennem dette projektarbejde, inden for emnet mobil kortlægning, har vi været omkring flere forskellige aspekter af emneområdet. Som afslutning på rapporten, konkluderes der i dette kapitel på de vigtige aspekter af projektarbejdet og specielt på løsningen af problemformuleringen.

De aspekter vi kan konkludere på ud fra projektarbejde består ikke kun af tal, så som præcisioner og nøjagtigheder. Metoder, principper og erfaringer, er i lige så høj grad et resultat af arbejdet med udviklingen af prototypen på et MKS.

Projektet kunne kun være gennemført på baggrund af det gode netværk af eksterne parter. Det er Vejdirektoratet, Lammert Bies samt firmaerne SICK og smalltouch, og disse partners samarbejdsvilje har været afgørende for projektets gennemførelse. Uden disse givtige eksterne samarbejder, var projektet ikke blevet til det, det er.

8.1 - De vigtigste aspekter

I gennemgangen af de vigtigste aspekter er det forsøgt at benytte den samme rækkefølge som projektet er afrapporteret i. Ikke alle aspekter af projektet er beskrevet i denne gennemgang, hvilket ikke betyder at de er uvæsentlige i forhold til det samlede opnåede resultat. Det er mere et udtryk for de mange erfaringer fra

behandlingen er et udsnit af et omfangsrigt og kompliceret emne – mobil kortlægning.

Formålet med projektet har været at udvikle en prototype på et MKS, hvori en linie laserskanner indgår som opmålingsinstrument. Til at styre projektarbejdet er det valgt at benytte Adolphsens model for problemorienteret projektarbejde. Til udviklingen af MKSet er den form for prototyping, der kaldes for ”smid-væk” benyttet. Det betyder at der er fokus på at principper, viden og erfaringer videreføres til udviklingsarbejdet med en ny prototype.

Gennem kapitel 2 - foranalyse, blev der opstillet tre forskellige scenarier til hvordan det kan være relevant at anvende MKSer i Vejdirektoratet. Forskellen på de tre scenarier består blandt andet i omfanget af opmålingen med MKSet. Det er valgt at arbejde ud fra det første og mest grundlæggende af disse scenarier. Det handler om at få skabt det basale datagrundlag, nemlig en opmåling af kørebanen samt vejafstribninger. Det er nødvendigt at opmålingen har en relativ nøjagtighed på 1 cm i højden og lidt dårligere i planen. Absolut skal nøjagtigheden ligge mellem 1 – 3 cm i både plan og højde.

Det har fra starten af projektet været ønsket at anvende en laserskanner som opmålingsinstrument. At det kan lade sig gøre i teorien, er endvidere understøttet gennem analysen af eksempler på eksisterende MKSer i afsnit 2.4 – Mulige løsninger til systemet.

På baggrund af denne analyse er der foretaget en vurdering af hvilken type MKS, der egner sig bedst til det valgte scenario. Her er vi kommet frem til den konklusion at det er et bilbaseret MKS. Den vurdering er bl.a. foretaget ud fra overvejelser om fuldstændighed og nøjagtighed i opmålingerne og de modelleringer, der efterfølgende kan laves ud fra datagrundlaget. Konkret benyttes DyRoS bilen, da det er et eksisterende MKS ved Vejdirektoratet og derfor umiddelbart kan indgå i projekt i praksis.

Ligeledes er der gennemført en analyse af hvilken laserskanner, der umiddelbart egner sig bedst til implementeringen i prototypen på et MKS. Denne analyse viste at laserskanneren af mærket Acuity AR4000 er bedst egnet, og laserskanneren fra SICK, der er til rådighed i projektet, vurderes også at være egnet. Det der gør laserskanneren fra Acuity bedre egnet, er specifikationerne omkring nøjagtigheden og en større åbningsvinkel. Disse faktorer er selvfølgelig vigtige i udviklingen af et endeligt MKS, men i arbejdet med prototypen i dette projekt, er det fuldt ud tilstrækkeligt med laserskanneren fra SICK. Specielt da der arbejdes med en smid-væk prototype, hvor principper, metoder og viden er vigtigere end resultaterne.

En af de ting, der er med til at gøre både laserskanneren fra Acuity og SICK attraktive i forbindelse med opmåling og kortlægning med

MKS'er, er de relativt lave priser på under 50.000 kr. Det gør at de økonomiske aspekter i anskaffelsen af en laserskanner, der kan anvendes til mobil kortlægning, er overskuelige.

Laserskanneren fra SICK har igennem projektet vist sig at være en rigtig god og pålidelig laserskanner, der kan levere målinger af en acceptabel præcision og nøjagtighed, hvilket er vist gennem kontrollerede tests.

Resultatet fra testene af præcision og nøjagtighed er at laserskanneren kan måle med en præcision på 3,2 mm og nøjagtigheden ligger på ca. 4 mm. Dette er gode resultater for denne laserskanner, men resultatet afhænger selvfølgelig af de ydre forhold for målingerne. Det vil bl.a. sige afstand, materialer og indfaldsvinkler.

Resultatet for test af størrelsen på footprintet ligger mellem 2,5 cm og 3 cm ved en afstand på knap 2 meter, hvilket svarer til den højde laserskanneren er monteret i på DyRoS bilen.

Det MKS, der ligger til grund for den prototype på et MKS vi har arbejdet med i dette projekt, er DyRoS bilen fra Vejdirektoratet. Denne bil er anvendt som det georefererede grundlag for MKSet. Det vil sige vi har brugt den opsætning, som DyRoS har med GPS og orienteringssensorer, der leverer observationer til georefereringen. Da DyRoS anvendes i det daglige arbejde hos Vejdirektoratet har vi

afgrænset os fra at lave om på bilens opsætning og anvendt den som den er.

Vi har gennem dette projektarbejde ikke fundet indikationer på fejl i de positionerings- og orienterings observationer som DyRoS bilen leverer. Det er dog specielt et forhold i konstruktionen af bilen, der virker lidt ustabil og potentielt kan udgøre en fejlkilde. Det er placeringen af GPSen og smallPOS enheden på skiltet, der vippes op og ned hver gang bilen anvendes. Dette forhold kan gøre at de parametre, der fastlægges i systemkalibreringen ændrer sig fra gang til gang DyRoS anvendes. Ændringer i disse parametre vil få direkte indflydelse på de målinger, der foretages med MKSet, i form af systematiske fejl.

Det bringer os frem til systemkalibreringen og den metode, der er anvendt hertil. Vi har valgt den metode vi kalder for direkte måling, hvilket er en fysisk/mekanisk måling af de parametre der skal fastlægges. Ved denne metode har vi fået fastlagt de 6 parametre, der nødvendige for systemkalibreringen til MKSet. Det er de tre flytninger i vektoren mellem body koordinatsystemet og laserskannerens koordinatsystem, samt de tre vinkelafvigelse mellem disse to koordinatsystemer.

Efter systemkalibreringen er gennemført, har vi opstillet beregningsrutiner til efterprocessering af de observationer, der er indsamlet under opmålingen med MKSet. Det er positionerings-

og orienteringsobservationerne fra GPS og smallPOS, samt målingerne fra laserskanneren.

Den samlede prototype er efterfølgende testet i et testfelt på Virringsvej lidt uden for Skanderborg. Der er tale om statiske test af MKSet, da det er valgt at problemstillingerne med synkroniseringen af tiden mellem DyRoS og laserskanneren ligger uden for rammerne af projektet.

Der er gennemført tre testkørsler i testfeltet, hvilket giver tre overflader, der hver især kan sammenlignes med referencegrundlaget fra opmålingen af testfeltet. Sammenligningen af overfladerne er gennemført i ArcGIS gennem rasteranalyser. Dette er nok en utraditionel metode i forbindelse med tekniske projekter, men vi mener det har virket rigtigt godt. Specielt de visuelle fortolkninger i sammenligningerne styrkes ved anvendelsen af ArcGIS. De statistiske vurderinger af resultaterne er ved denne metode fundet ved at residualerne beregnes som et raster. Spredningerne på residualerne er for de tre test givet i tabel 8.1.

	Test 1	Test 2	Test 3
Spredning	12,3	17,5	14,3

Tabel 8.1 – Spredningerne på residualerne mellem de målte overflader fra MKSet og testfeltets overflade.

8.2 - Projektet som helhed

Når projektet ses i sin helhed, og der er samlet op på alle de enkelte delene, kan vi konkludere at det i vid udstrækning er lykkedes at få udviklet et MKS, der egner sig til brug i Vejdirektoratet. Laserskanneren er gennem systemudviklingen blevet integreret på DyRoS bilen med en metode, der gennem testene af systemet, har vist sig at være anvendelig. Som svar på problemformuleringen kan vi altså konkludere at den anvendte metode til integrationen af en SICK linie laserskanner på DyRoS bilen kan anvendes og det vil være muligt at anvende et sådant MKS til kortlægning af veje, efter kravene i scenario 1.

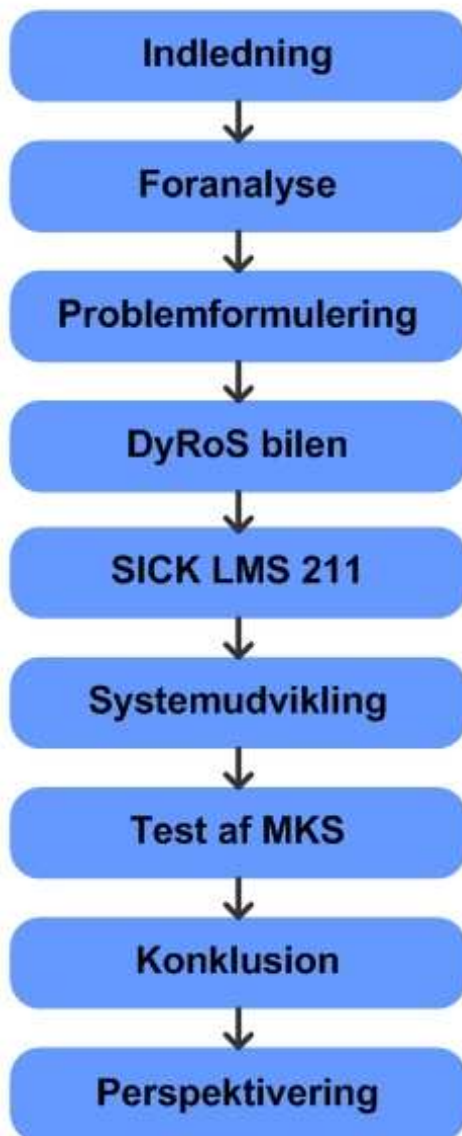
Overordnet set kan det konkluderes at målet med den generelle metode til udviklingen af prototypen, en smid-væk prototype, er nået. Det vil sige at vi har udviklet et MKS, der ikke er mere end en prototype på et MKS, og kan efterfølgende ikke umiddelbart anvendes i praksis. Dette er dog ikke negativt ment, for meningen med en smid-væk prototype er, jf. kapitel 1 – Indledning, at blive klogere og bruge de resultater og den viden man har opnået, til at udvikle en bedre prototype. Denne prototype kan så efterfølgende udvikles og vil så være af typen ”udviklende” eller ”design-drevet”.

Udviklingen af et MKS skal altså ses som en iterativ proces, hvor erfaringer og viden taget med fra en iteration i udviklingen til den næste.

Der er efter dette projektarbejde selvfølgelig også gjort en del erfaringer, der kan vendes til forbedringer i processen med at udvikle et nyt MKS. Igennem projektarbejdet er foretaget mange valg, som er begrundet i denne rapport. Vi har gjort os en masse erfaringer ved at skulle vurdere og træffe de forskellige valg. Der har i dette projekt været tale om en smid-væk prototype, og det er derfor meningen at erfaringerne skal benyttes i udviklingen af den prototype, der skal blive til det egentlige MKS.

Udviklingen af et MKS, til præcisions opmåling, må helt klart ses som en iterativ proces, der skal gennemføres flere gange, før man opnår et resultat, der kan anvendes til egentlig kortlægning. I en sådan proces kan dette projektarbejde anses som første iteration og det må derfor følges op af yderligere udvikling, før der opnås et egentligt brugbart mobilt kortlægningssystem.

9 - Perspektivering



Denne perspektivering tager fat på de aspekter, hvor de primære videreudviklinger kan finde sted i den næste iteration i udviklingen af dette MKS.

Der er flere ting omkring udviklingen af MKSet, som kunne være gjort anderledes, hvilket er naturligt set i forhold til de mange valg, der er truffet gennem projektarbejdet. Der er næsten uendelig mange kombinationer, hvormed projektet kan udformes indenfor emneområdet. I dette afsnit belyses nogle af de valg vi kan se perspektiver i at revidere, hvis vi skulle lave en ny prototype, dvs. anden iteration set i forhold til konklusionen.

- Flere opmålingsinstrumenter.
- Synkronisering af tiden.
- Kørende måling.
- Perspektiver i forhold til konstruktion af en ny prototype.
- Brug af GIS programmer til visualisering af resultater.

Det første punkt er at benytte flere forskellige opmålingsinstrumenter for derigennem at kunne kortlægge flere objekter eller sikre en større fuldstændighed i de objekter, der kortlægges. Dette tror vi kan være en fordel set i forhold til registrering af vejlinierne, som i scenario 1, men også i forhold til de andre scenarier eller helt andre opmåling opgaver. Dermed ikke sagt at en laserskanner, hvor intensiteten er en del af output ikke kan bruges til detektering af vejlinier, men et kamera vil umiddelbart kunne give et bedre datagrundlag for netop vejlinierne. Styrkerne og svaghederne af disse to typer

opmålingsinstrumenter er dog ikke analyseret til bunds i dette projekt.

Det andet punkt er at få styr på problemerne vedrørende synkroniseringen af tiden. I dette projekt er det forsøgt at synkronisere de to computere ved hjælp af GPS-tiden, hvilket ikke lykkedes på grund af teknisk opsætning i DyRoS bilen. Problemerne befinder sig i periferien af, eller lidt uden for, landinspektørens fagområde, og det er nærmere ingeniører eller dataloger, der har styr på dette. F.eks. er det firmaet smalltouch, der har udført synkroniseringen af instrumenterne på DyRoS.

Det er dog et spændende område, da det har stor betydning for et godt og stabilt MKS. Det gælder at jo bedre synkronisering og jo bedre sensorer og instrumenter, jo hurtigere er det muligt at køre med MKSet. Dermed mindskes generne for medtrafikanterne og der opmåles et større stykke vej pr. time. Vi kunne forestille os at synkroniseringen kunne ske ved at det blev fastlagt, hvor lang tid der går fra de forskellige enheder registrer til computeren lagre data således en samlet præcis datafil kunne genereres. Data kunne tidsstemples, når de blev registreret i computeren, hvis den udstyres med et ur, der går præcist over kortere tid og synkroniseres vha. GPS-tiden. Således vil MKSet også umiddelbart kunne integrere andre opmålingsinstrumenter efter en systemkalibrering. Der er som nævnt mange problemer i at få det til at virke, men det kan

lade sig gøre, har andre firmaer vist, se kapitel 2 – Foranalyse.

Det tredje punkt er kørende målinger, som efter en præcis synkronisering af den interne tid i MKSet vil kunne foretages. For at de kørende målinger skal være effektive skal det være muligt nemt og hurtigt at indstille på de forskellige der har indflydelse på punkttæthed og punktantal. Det bedste vil være hvis der blev udviklet software, som den i DyRoS bilen, hvor alle sensorer og instrumenter mere eller mindre kan håndteres. Her ville det også være muligt at lave det således at der kunne indlæses en fil med de forskellige parametre, således kunne operatøren af systemet være en der ikke havde den store erfaring eller viden om systemet – altså billigere arbejdskraft end en landinspektør. Dermed ville systemet være mere cost-effektiv.

Det fjerde punkt er perspektiver i forhold til konstruktion af en ny prototype, hvilket svarer til anden iteration jf. konklusionen. Det vil være fornuftigt at lave et mindre og mere kompakt platform hvor GPS, orienteringssensorer og opmålingsinstrumenter er placeret tættere sammen. Konkret i dette projekt ville det være en fordel, hvis GPSen og smallPOS enheden flyttes ned fra skiltet til lige oven på konstruktionen ved laserskanneren. Dermed ville afstandene og dermed fejlene fra systemkalibreringen ikke slå så hårdt igennem og ligeledes vil konstruktionen blive mere stabil og ikke være hæmmet en mulig usikkerhed i

bevægelige dele, som tilfældet med skiltet på DyRoS.

Metoden til systemkalibrering i projektet er udviklet og testet kan resultatet viser at den umiddelbart bruges igen i udviklingen af et MKS, således er det f.eks. muligt at skifte SICK laserskanneren ud med en anden, eller flytte rundt på sensorerne. Det kunne dog være spændende at udvikle og afprøve flere forskellige metoder til systemkalibrering og efterfølgende lave en sammenligning af metoderne. Dermed ville man finde svagheder og styrker ved de forskellige og måske endda være i stand til at rangordne dem, således den bedste, næstbedste osv. findes.

Afslutningsvis benyttede vi i projektet ArcGIS til modellering og sammenligning af punktskyerne. Der er ikke foretaget en tilbundsgående undersøgelse af hvilke muligheder, der er i at benytte denne form for software. Vi tror dog at mange af funktionerne i ArcGIS, f.eks. gode visualiseringsmuligheder vil kunne gavne processen med at sammenligne og vurdere data.

Hermed er afrapporteringen af et spændende og meget lærerigt projektarbejde slut, men inden de lukker rapporten kan vi anbefale at se den vedlagte CD.

10 - Litteraturliste

10.1 - Artikler

- [Alamús, 2004] Alamús, R. et al.; 2004; On the accuracy and performance of the GEOMÒBIL system; Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC); Barcelona
- [Aunsborg, 1997] Aunsborg, Christian; 1997; Projektarbejdets teori og metode; Institut for Samfundsudvikling og Planlægning; Aalborg Universitet
- [Bäumker, 2001] Bäumker, M og Heimes, F.J.; 2001; New Calibration and Computing Method for Direct Georeferencing of Image and Scanner Data Using the Position and Angular Data of a Hybrid Inertial Navigation System; University of Applied Sciences Bochum Germany; OEEPE-Workshop 2001.
- [Clark, 2004] Clark, J. og Robson, S.; 2004; Accuracy of measurements made with CYRAX 2500 laser scanner against surfaces of known colour; Department of Geomatic Engineering, University College London.
- [Cramer, 2004] Cramer, Michael; 2004; Performance of medium format digital aerial sensor systems; Institute for Photogrammetry; University of Stuttgart.
- [Cramer, 2002] Cramer, M. og Stallmann, D.; 2002; System calibration for direct georeferencing; Institute for Photogrammetry; University of Stuttgart.
- [Cramer, 2001] Cramer, Michael; 2001; On the use of direct georeferencing in airborne photogrammetry; Institute for Photogrammetry; University of Stuttgart.
- [Ellum, 2002] Ellum, Cameron og Naser, El-Sheimy, 2002, Land-based mobile mapping systems, Photogrammetric engineering and remote sensing.

- [Guarnieri, 2004] Guarnieri, A. Vettore, A. og Remondino, F.; 2004; Photogrammetry and ground-based laser scanning: Assessment of metric accuracy of the 3D model of Pozzoveggiani church; FIG working week 2004.
- [Haasnoot, 2001] Haasnoot, Huug; 2001; Aerial survey of fix assets in the right-of way; International conference; FIG work week 2001.
- [Höhle, 2005] Höhle, Joachim; 2005; fotogrammetrien efter den 20. ISPRS kongres; Aalborg Universitet.
- [Jensen, 1995] Vad, Henrik Jensen; 1995; DyRoS Dynamic Road Surveying Vurdering af DyRoS konceptet til indmåling af veje, Anlægsområdet Vejdirektoratet.
- [Jensen, 1999] Vad, Henrik Jensen; 1999; DyRoS 3 – en rationel opmåling af vejgeometri; Dansk Vejtidskrift 6-7/99; URL www.vejtid.dk
- [Jensen] Vad, Henrik Jensen; *udateret* ; Dynamik Road Surveying – The DYROS Concenpt; Anlægsområdet, Vejdirektoratet.
- [Kjærdsdam] Kjærdsdam, Finn; *udateret*; Problem-oriented research: The production of knowledge in the field of urban and regional planning; Department of Development and Planning, University of Aalborg.
- [Lichti, 2004] Lichti, Derek; Gordon, Stuart; 2004; Error propagation in georeferenced terrestrial laser scanner point clouds for cultural heritage recording; FIG Work week 2004; Athen; Grækenland.
- [Talaya, 2004] Talaya, J. et al.; 2004; Integration of a terrestrial laser scanner with GPS/IMU orientation sensors; institute Cartegràfic de Catalunya (ICC); Barcelona.
- [Vallet, 2004] Vallet, J., Skaloud, J., 2004. Development and Experiences with A Fully-Digital Handheld Mapping System Operated From A Helicopter, The

International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Istanbul, Vol. XXXV, Part B, Commission 5.

[Vejdirektoratet] Vejdirektoratet; DyRoS Dynamic Road Surveying; Vejdirektoratet.

[Vejdirektoratet, 2004] Vejdirektoratet, Svend-Erik Breumsø; 2004; Frihøjdemålinger; Vejdirektoratet.

[Vejdirektoratet, 2005] Vejdirektoratet; 2005; Kørende måling af vejlinier, Produktblad.
URL: www.vd.dk

[Wehr, 1999] Wehr, Aloysius og Lohr, Uwe; 1999; Airborne laser scanning – an introduction and overview; ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing volume 54.

[Wulf, 2003] Wulf, Oliver og Wagner, Bernardo; 2003; Fast 3D-Scanning Methods for Laser Measurement Systems; Institute for Systems Engineering, University of Hannover, Germany.

[Zhao, 2004] Zhao, Huijing og Shibasaki, Ryosuke; 2004; Updating digital geographic database using vehicle-borne laser scanners and line cameras; Center for spatial information science; University of Tokyo.

[Zhao, 2001] Zhao, Huijing og Shibasaki, Ryosuke; 2001; Reconstructing urban 3D model using vehicle-borne laser range scanners; Center for spatial information science; University of Tokyo.

10.2 - Bøger

[Adolphsen, 2000] Adolphsen, Jes, Problemer i videnskab 2.udgave, 2000, Aalborg Universitetsforlag.

- [Kaspar, 2004] Kaspar, M et. al., Laser Scanning in civil engineering and land surveying, 2004, VEGA s.r.o. Hradec Králové, ISBN 80-900 860-7-1.
- [Reeve, 1999] Reeve, Derek og Petch, James; 1999; GIS Organisations and People; Taylor and Francis.
- [Vejdirektoratet, 2005] Vejdirektoratet; 2005; Anlægsområdet – bygger og forbedrer statens veje; Vejdirektoratet, anlægsområdet.

10.3 - Internetsider

- [Bies, 2005] Bies, Lammert; 2005; besøgt 060605
URL: <http://www.lammertbies.nl/comm/info/crc-calculation.html>
- [Cederholm, 2005] Cederholm, Peter; 2005; Aalborg Universitet; besøgt 060605
URL: <http://www.land.aau.dk/~pce>
- [FLI-MAP, 2005] FLI-MAP®; 2005; besøgt 060605
URL: <http://www.flimap.nl>
- [Fugro, 2005] Fugro-Inpark; 2005; besøgt 060605
URL: www.fugro-inpark.nl
- [Geodatabiblioteket, 2005] Geodatabiblioteket; 2005; besøgt 060605
URL: <http://www.geodatabiblioteket.dk>
- [HELIMAP, 2005] HELIMAP; 2005; besøgt 060605
URL: www.helimap.com
- [Intergraph, 2005] Intergraph; 2005; ISDM; besøgt 060605
URL: <http://imgs.intergraph.com/isdm/>

- [Leica, 2005] Leica geosystems; 2005; besøgt 060605
URL: http://hds.leica-geosystems.com/products/HDS3000_description.html
- [Prototyping, 2004] Prototyping; 2004; besøgt 060605
URL: http://www.but.auc.dk/sg/sg33/intra/dit2/2software_Prototyping.pdf
- [SICK, 2005a] SICK, 2005, LMS – Laser Measurement Systems - Product overview; besøgt 060605
URL: www.sick.dk
- [SICK, 2005b] SICK, 2005, LMS 200 / LMS 211 / LMS 220 / LMS 221 / LMS 291 – Laser Measurement Systems – Technical description; besøgt 060605
URL: <http://team.caltech.edu/members/SICK/LMS%20Technical%20Description.pdf>
- [SICK, 2001] SICK; 2001; Quick manual for LMS communication setup – hardware setup and measurement mode configuration; version 1.0; besøgt 060605
URL: <http://team.caltech.edu/members/SICK/LMS%20Communication%20Manual.pdf>
- [SICK, 2003] SICK; 2003; Telegrams for operating / configuring the LMS 2XX Laser Measurement Systems – Telegram listing; Firmware version V2.10 / X1.14.; besøgt 060605
URL: <http://team.caltech.edu/members/SICK/LMS%20Telegram%20Listing.pdf>
- [Smalltouch, 2005] Smalltouch; 2005; besøgt 060605
URL: www.smalltouch.dk
- [Stage, 2003] Stage, Jan; 2003; besøgt 060605

URL:

<http://www.cs.auc.dk/~jans/courses/hci-courses/db-2003/ppt/Lektion06.ppt>

[Stud.vejl., 2005]

Studievejledningen for 10. semester teknisk måling; 2005; besøgt 060605

URL:

<http://www.lsn.aau.dk/landinsp/l10geoinformatik/vejl.php?nt=17&s=298>

[TopoSys, 2005]

TopoSys, 2005; besøgt 060605

URL: www.toposys.com

[Wikipedia, 2004]

Wikipedia – den fri encyklopædi, besøgt 060605

URL: <http://da.wikipedia.org/wiki/Forside>

10.4 - Projekter fra Aalborg Universitet

[Frederiksen, 2003]

Frederiksen, Lise; et.al.; 2003; Terrestrisk Laserscanning – En undersøgelse af præcision og nøjagtighed; Landinspektørstudiet; 8. semester; Aalborg Universitet.

[Hellemann, 2002]

Hellemann, Morten; et. al.; 2002; Terrestrisk Laserscanning – Undersøgelser af Cyrax 2500; Landinspektørstudiet; 9. semester; Aalborg Universitet.

[Jensen, 2004]

Jensen, Torben; Rasmussen, Morten; Pedersen, Lau; 2004; Mobil Kortlægning – En håndholdt prototype; Landinspektørstudiet, 8. semester; Aalborg Universitet.

[Lysehøj, 2003]

Lysehøj, Gitte; Nielsen, Eskil; Terrestrisk Laserscanning – Invendig 3D opmåling; Landinspektørstudiet; 10. semester; Aalborg Universitet.

[Rasmussen, 2000]

Rasmussen, Johnny; Flatman, Andrew; 2000, Laserscanning – En kvalitetsvurdering; Landinspektørstudiet; 10. semester; Aalborg Universitet.

Bilagsoversigt

Bilag A	Akronymer og ordliste
Bilag B	Projektstruktur
Bilag C	Referat af møde med Vejdirektoratet Torsdag d. 3-2-2005.
Bilag D	Sammenlignings- og vurderingstabel for laserskannere
Bilag E	Dokumentation for test af laserskanner
Bilag F	Samlet figur over MKSet og dets koordinatsystemer
Bilag G	Punktskitse for systemkalibreringen
Bilag H	Figurer til resultat vurdering

Gennem dette afgangsprøve ved landinspektørstudiet undersøges hvordan en linie laserskanner fra SICK kan integreres på DyRoS bilen fra Vejdirektoratet.

Indledningsvis opstilles tre scenarier for hvordan mobil kortlægning kan anvendes hos Vejdirektoratet. Et af scenarierne vælges som udgangspunkt for udviklingen af en prototype på et MKS. Det vurderes gennem foranalysen at et bilbaseret MKS, i form af DyRoS bilen, der anvender en linie laserskanner til opmålingen egner sig bedst til dette MKS.

På den baggrund gennemføres en sammenligning af egnede laserskannere til MKSet. Til projektarbejdet er stillet en laserskanner fra SICK til rådighed, og det er derfor denne skanner, der integreres på DyRoS bilen.

Inden arbejdet med integration og systemkalibrering på DyRoS, gennemføres nogle test af laserskanneren. Den testes for præcision og nøjagtighed i målingerne samt for footprintets størrelse.

Herefter integreres laserskanneren på DyRoS bilen og systemkalibreringen gennemføres efter en metode kaldet "direkte måling". Dette er en fysisk/mekanisk fastlæggelse af parametrene i kalibreringen.

Til slut gennemføres tre test af MKSet i et testfelt etableret til formålet. Testene vurderes gennem overflade- og rasteranalyser i ArcGIS.

Afgangsprøve

Landinspektørstudiet 2005

Aalborg Universitet

Gruppe 2