

ANKER H. MORTENSEN - JAN GLITZKY - KASPER SVENDSEN

Volumenberegning

- af sand i laddet af lastbil vha. laserscanning



LANDINSPEKTORUDDANNELSENS 10. SEMESTER
AALBORG UNIVERSITET 2005

Volumenberegning

– af sand i laddet af lastbil vha. laserscanning

af

Anker H. Mortensen, Jan Glitzky og Kasper Svendsen

Vejleder:

Carsten Bech

Bivejleder:

Marketa Potuckova

Aalborg Universitet
Institut for Samfundsudvikling og Planlægning
Fibigerstræde 11, 9220 Aalborg Ø

Titel: Volumenberegning – af sand i laddet på lastbil vha. laserscanning

Tema: Teknisk Måling

Projektperiode: 1. februar 2005 til 6. juli 2005

Projektgruppe: 05tm1001

Anker H. Mortensen

Jan Glitzky

Kasper Svendsen

Vejleder: Carsten Bech

Bivejleder: Marketa Potuckova

Sideantal: 113

Appendiks: 2 (16 sider)

Bilag: 9 (47 sider)

Oplag: 7

Synopsis

Dette afgangprojekt tager udgangspunkt i terrestrisklaserscanning. Med baggrund i en konflikt mellem entreprenører og ejere af grusgrave omhandlende hvor meget de lastbiler, der transporterer materialet fra grusgraven, kører med. Nuværende metoder for måling af lastbilers volumen har en usikkerhed på ca. 2 m³, hvilket svarer til 10 % af et læs. For at nedbringe denne usikkerhed vælges, blandt forskellige opmålingsmetoder, laserscanning under hensyntagen til tid, pris og nøjagtighed. En model af et lad i 1:5 fremstilles og en række forsøg udføres, hvoraf der vælges en metode til volumenberegning, som implementeres i et udviklet volumenberegningsprogram. Resultaterne heraf viser at denne metode kan nedbringe usikkerheden til omkring 1 % - dette til en pris på ca. 10 kr. pr. læs og et samlet tidsforbrug på under 2 min.

Abstract

This final project deals with terrestrial laserscanning. Its focus is a conflict between contractors and gravel pit owners concerning the volume of a truck's load when it leaves a gravel pit. Current methods of measuring the volume of a truck have an uncertainty of approximately 2 m³, which corresponds to 10 % of a truck's load. To reduce this uncertainty, laserscanning is chosen from among different measuring methods taking into account time, price and accuracy. A model of a truck body (scale 1:5) is made and a number of experiments are carried out. A method for calculating its volume is subsequently chosen and implemented in a computer program developed for this purpose. The results show that this method can reduce the uncertainty to approximately 1 % at a price of about DKK 10,00 per load and a total time consumption of less than 2 minutes.

Forord

Dette projekt er udarbejdet som gruppe 05tm1001's dokumentation for gennemførelsen af landinspektørstudiets 10. semester under temaet Teknisk måling. Projektet er udarbejdet i henhold til formålsparagraffen for semestret, hvor det overordnede formål er angivet som:

"At dokumentere at den studerende selvstændigt er i stand til at planlægge og gennemføre et projektforsøg på et højt fagligt niveau. Afgangprojektet skal dokumentere den studerendes evne til at anvende videnskabelige teorier og metoder på et tilstrækkeligt højt niveau".

[www.lsn.aau.dk]

Kildehenvisningerne i rapporten er angivet med referencen placeret i firkantede parenteser [] med forkortelser og består af forfatterens efternavn, årstal for udgivelsen samt sidetal, f.eks. [Kristensen, 1997, s. 33]. Er kildehenvisningen inden punktum, henfører kilden til sætningen. Er kilden efter punktum, henfører kilden til flere sætninger. Er kilden efter punktum og på ny linie efter et afsnit, er kilden gældende for hele afsnittet. Citater vil i rapporten være anført i kursiv med tilhørende kildehenvisning. Kildehenvisningerne henviser til kildefortegnelsen bagerst i rapporten.

Aalborg Universitet den 23. juni 2005

Projektgruppens medlemmer:

Anker H. Mortensen

Kasper Svendsen

Jan Glitzky

Indholdsfortegnelse

1 Indledning	9
1.1 Problemorienteret projektarbejde	11
2 Problemområde	13
3 Metoder til mængdebestemmelse	17
3.1 Metoder som anvendes til kontrol	17
3.2 Hvilke metoder anvendes i grusgrave til mængdebestemmelse?	21
3.3 Opsamling	21
4 Problemformulering	23
5 Opmålingsmetode	27
5.1 Metoder	27
5.2 Vurdering af opmålingsmetoder	32
5.3 Valg af opmålingsmetode	47
5.4 Opsamling	48
6 Testfelt	49
6.1 Forberedelser	49
6.2 Udførelse	54
7 Volumenberegning	59
7.1 Volumenberegningsmetoder for strukturerede trådnetsmodeller	59
7.2 Valg af volumenberegningsmetode	65
7.3 Volumenbestemmelsens nøjagtighed	65
8 Rammegenkendelse	69
8.1 Vigtigheden af genkendelsen	69
8.2 Indhold af ascii-fil fra Cyclone	71
8.3 Sortering af data	72
8.4 Metoder til rammegenkendelse	73
8.5 Valg af metode til rammegenkendelse	75
8.6 Opsamling	76
9 Programudvikling	77
9.1 Programbeskrivelse	77
9.2 Programmeringsplatform	77
9.3 Opbygning og indhold af program	78
10 Test af program	95

10.1 Resultater	95
10.2 Kommentarer til resultater	96
10.3 Beskrivelse af resultater	98
11 Implementering	101
11.1 Situationsforløbet	101
11.2 Anbefalinger vedrørende gridstørrelse	102
11.3 Problemstillinger vedrørende implementeringen	102
12 Konklusion	105
12.1 Fremgangsmåden i projektet	106
13 Perspektivering	109
13.1 Systemet i et fremtidsperspektiv	109
13.3 Andre anvendelsesområder	112
13.4 Opsummering	113

Litteraturliste

Appendiks A – Beskrivelse af Cyrax 2500

Appendiks B – Overflademodellering

Bilag A – Interviews

Bilag B – Beskrivelse af loadtronic II

Bilag C – Brovægt

Bilag D – Punktspredning

Bilag E – Oversigt over scanninger

Bilag F - Databehandling

Bilag G – Kontrol af kasse

Bilag H – Korrespondance med Per Paag

Bilag I – Data cd

1 Indledning

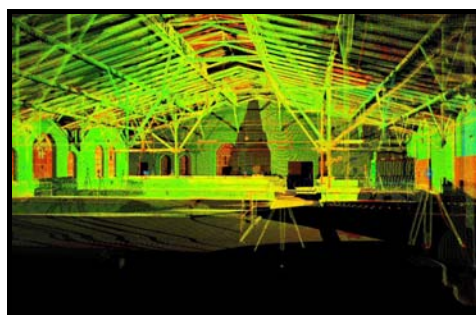
Dette projekt tager udgangspunkt i terrestrisk laserscanning, da projektgruppen finder dette emne interessant, og ser denne form for måling som værende mere og mere anvendelig indenfor flere områder. I takt med den teknologiske udvikling vinder terrestrisk laserscanning mere indpas i forskellige målesituationer og afløser dermed traditionelle målemetoder, fordi metoden bl.a. er tidsbesparende, når der skal indsamles meget information med høj detaljeringsgrad. Anvendelsesområderne for terrestrisk laserscanning ses som værende målesituationer af teknisk karakter og ikke de traditionelle målesituationer, som matrikulære målinger. For at vi som landinspektører skal kunne påtage os disse mere tekniske betonedede opgaver, ser vi det som en nødvendighed at opnå kompetence indenfor dette område for at kunne konkurrere med f.eks. ingeniørerne.

Terrestrisk laserscanning er en særdeles velegnet opmålingsmetode til at indsamle data på kort tid, da man ikke på forhånd behøver at definere, hvilke punkter der skal opmåles, hvilket oftest skal gøres i forbindelse med traditionelt opmålingsarbejde. At skulle definere de enkelte punkter ved traditionel opmåling kan tage lang tid og er specielt meget tidkrævende, hvis der er tale om helt eller delvist utilgængelige punkter. Med laserscanning opmåles næsten alt indenfor et defineret område og måledata tilvejebringes i et sådan omfang, at næsten alle tænkelige spørgsmål - også spørgsmål, der kan dukke op hen af vejen i et opgaveforløb, kan besvares. Laserscanningsdata kan i høj grad bruges som dokumentation for eksisterende bygningsværker og danne grundlag for projekteringsgrundlag i forbindelse med f.eks. renovering eller nybyggeri.

Figur 1.1 og 1.2 viser eksempel på en arbejdsopgave, hvor der er anvendt terrestrisk laserscanning. Figureerne er fra Landinspektørfirmaet Nellemann & Bjørnkjær's laserscanning af Kvægtorvet i Aalborg.



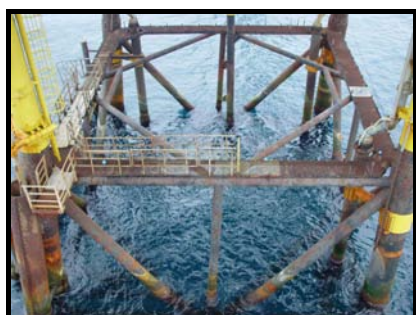
Figur 1.1: Billede af kvægtorvet set indefra.



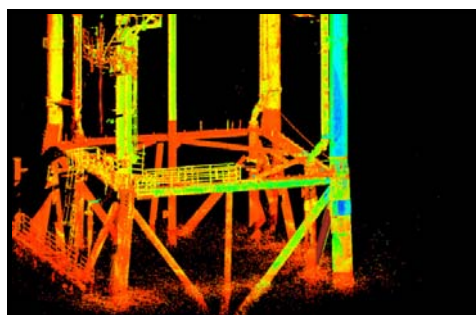
Figur 1.2: Model fra scanning af kvægtorvet.

I forbindelse med problematikken omkring en evt. nedrivning af Aalborg Kvægtorv er der foretaget både ud- og indvendige scanninger af den specielle bygningskonstruktion. Den scannede model kan efterfølgende bruges, hvis bygningen skal rives ned eller opføres et andet sted. Scanningerne danner hermed grundlag for projekteringen, hvad enten det bliver den ene eller anden løsningen, der vedtages.

Figur 1.3 og 1.4 er ligeledes fra Nellemann & Bjørnkjær, og vedrører en arbejdsopgave ved en boreplatform.



Figur 1.3: Billede af rørsystem.



Figur 1.4: Model fra scanning af rørsystemet.

I tilfælde hvor et rørsystem skal forstærkes eller renoveres, kan der være behov for at opmåle den eksisterende konstruktion, hvilket med fordel kan gøres med en laserscanner.

Ovenstående to eksempler på arbejdsopgaver, hvor laserscanning er anvendt, er langt fra fyldestgørende for situationer, hvor laserscanner kan anvendes, men kun et par eksempler på, hvor det anvendes – anvendelsesmulighederne for laserscanning er mangfoldige.

Udviklingen indenfor terrestrisk laserscanning går i retningen af, at scannerne kommer til at minde om en totalstation i forbindelse med muligheden for at lave opstillinger i kendte punkter og får sine scanninger orienteret med udgangssigte. [Christoffersen, 2004, s. 152-153]

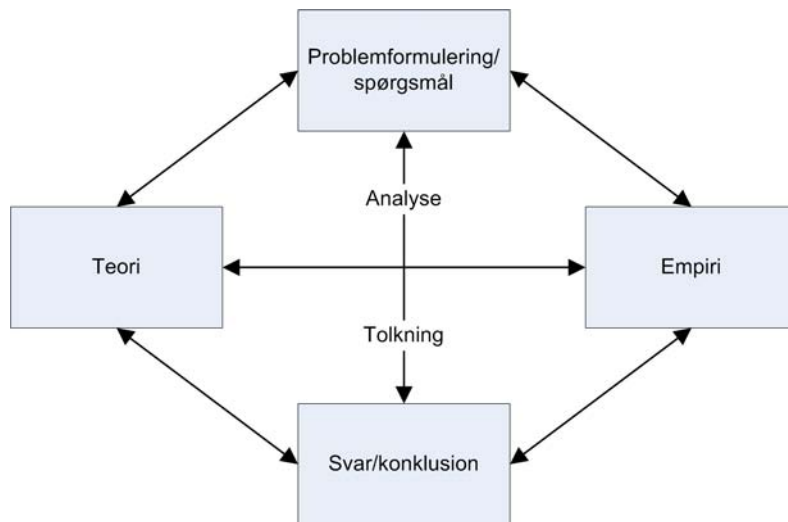
Laserscanningsteknologien er absolut kommet for at blive og dette ikke mindst på grund af nutidens pc-kraft, hvilket gør den efterfølgende behandling af den forholdsvis tunge datamængde nemmere.

1.1 Problemorienteret projektarbejde

Da projektet er problemorienteret, tages udgangspunkt i fire hovedelementer: problemformulering, teori, empiri og svar/konklusion [Aunsborg, 2000].

Projektet vil både indeholde teoretiske og praktiske problemstillinger. Løsningen af teoretiske problemer kræver en videnstilegnelse, både for at kunne forstå problemets natur, men også for at kunne overføre og analysere aktuelle situationer i forhold til problemstillingen. Den primære tilegnelse af viden sker gennem litteraturstudier (teoretiske viden) og korrespondance med relevante personer, som har ekspertise indenfor det område, der ønskes belyst (empirisk viden). Selve søgningen efter litteratur sker på biblioteker samt søgning på internettet, og viden fra praksis indhentes ved interviews.

Sammenhængen mellem de fire elementer er illustreret i figur 1.5.



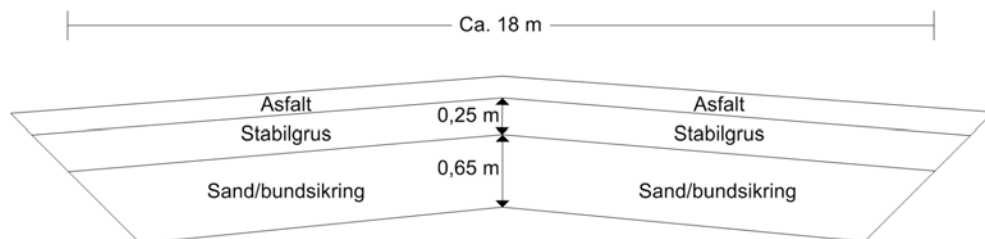
Figur 1.5: Vidensproduktionsprocessens hovedelementer og arbejdsgang [Aunsborg, 2000].

Pilene mellem elementerne er diverse former for analyse, der kobler de fire grundelementer sammen.

2 Problemområde

Dette projekt tager udgangspunkt i et problemområde fra erhvervslivet, og omhandler de problemstillinger, der opstår, når der købes og leveres materialer som sand og stabilgrus. Konflikten opstår mellem entreprenør og vognmand/grusgrav, hvor materialet bestilles og købes. Konflikten beror på en uenighed om, hvor meget de lastbiler, der transporterer materialet fra grusgraven, kører med. På den ene side af konflikten er entreprenørens formodninger og konstateringer om, at lastbilerne ikke har nok sand eller stabilgrus med i forhold til den mængde, der angives på køresedlerne, som senere bruges til afregning. På den anden side af konflikten mener vognmanden/grusgraven, at lastbilerne har den mængde med, som angives på køresedlerne.

For yderligere at anskueliggøre konflikten inddrages det økonomiske aspekt ved at anvende et motorvejsbyggeri som eksempel. På figur 2.1 ses en profil af, hvordan en motorvej opbygges:



Figur 2.1: Tværprofil af en motorvej og hvordan denne opbygges [Bilag A, interview med Jens Henriksen (JH)¹].

Ovenstående tværprofil er ikke gældende for alt motorvejsbyggeri, men er en generel fremstilling af, hvordan disse opbygges. De anvendte tykkelser på de lag, som ses på figur 2.1 er cirka-tykkelser. Tykkelsen på det sand/bundsikring, der bygges ind, er afhængig af, hvilken kvalitet den underliggende jord har, og kan derfor variere meget. Tykkelsen på laget med stabilgrus er derimod mere konkret. [Bilag A, interview med JH]

¹ Jens Henriksen har 35 års erfaring indenfor opmåling og afsætning og driver pt. egen virksomhed (JH Landmåling i Århus).

Ud fra figur 2.1 kan det udregnes, hvor meget sand/bundsikring og stabilgrus der skal anvendes ved et motorsvejsbyggeri på f.eks. 5 km. Disse udregninger er foretaget og kan ses i figur 2.2.

Sand/bundsikringsforbrug ved 5 km motorvej	Stabilgrusforbrug ved 5 km motorvej
$0,65 \times 18,00 \times 5.000 = 58.500 \text{ m}^3$	$0,25 \times 18,00 \times 5.000 = 22.500 \text{ m}^3$

Figur 2.2: Oversigt over forbruget af sand/bundsikring og stabilgrus ved anlæggelse af 5 km motorvej.

Da forbruget af materialer ved byggeri af en 5 km motorvej nu er kendt, kan prisen samt de omkostninger, der er forbundet med en leverance af denne størrelsesorden, udregnes. Disse udregninger kan ses i figur 2.3.

Sand/bundsikring – mængde på 58.500 m ³ :	Stabilgrus – mængde på 22.500 m ³ :
Pris pr. m ³ = 66 kr.	Pris pr. m ³ = 75 kr.
Kvantum pr. læs = 20 m ³	Kvantum pr. læs = 20 m ³
Læs i alt = $58.500/20 = 2925$	Læs i alt = $22.500/20 = 1125$
Usikkerhed pr. læs = 2 m ³	Usikkerhed pr. læs = 2 m ³
Samlet usikkerhed = $2925 \times 2 = 5.850 \text{ m}^3$	Samlet usikkerhed = $1125 \times 2 = 2.250 \text{ m}^3$
Omkostninger = $5.850 \times 66 = 386.100 \text{ kr.}$	Omkostninger = $2.250 \times 75 = 168.750 \text{ kr.}$

Figur 2.3: Udregninger vedrørende det økonomiske aspekt i konflikten.

Vedrørende ovenstående figur 2.3 skal det nævnes, at de 58.500 m³ sand/bundsikring og de 22.500 m³ stabilgrus, der regnes med, udgør omkring 5 måneders salg i en grusgrav [Bilag A, Interview med Kim Juel Rasmussen (KJR)²].

Priserne på sand/bundsikring og stabilgrus, som er anvendt til ovenstående udregninger, er indhentet fra Mindstrupgaard grusgrav marts 2005 [www.mindstrupgaard.dk]. Usikkerheden pr. leverance kan ifølge interviewet med KJR være helt op til 4 m³, men er i udregningerne sat til 2 m³, da projektgruppen anser dette som et gennemsnit.

² Kim Juel Rasmussen har 29 års erfaring indenfor entreprenørbranchen og er adm. direktør i VIXI Aps (Entreprenørfirma i Århus).

Som det ses af figur 2.3, beløber usikkerheden på sand sig i 386.100 kr. og 168.750 kr. på stabilgrus, hvilket giver en samlet usikkerhed på 554.850 kr. Det drejer sig altså om over 100.000 kr. pr. kilometer motorvej.

Konflikten har eksisteret lige så længe, der er handlet med sand og stabilgrus og er aldrig blevet løst. Svaret på, hvorfor denne konflikt aldrig er blevet løst, mener projektgruppen, skal findes i de metoder, de involverede parter anvender til at bestemme den mængde sand og stabilgrus, der leveres. Dette leder projektgruppen frem til projektets initierende problem:

Hvilke metoder anvendes i dag til at fastlægge volumen af en leverance?

Med udgangspunkt i det initierende problem vil projektgruppen i næste kapitel undersøge, hvilke metoder entreprenøren anvender til at konstatere om leverancen stemmer overens med den mængde, der angives på køresedlen. Ydermere undersøges, hvilke metoder der anvendes i grusgravene til at bestemme den mængde, de angiver på køresedlen.

3 Metoder til mængdebestemmelse

For at komme det initierende problem nærmere har dette kapitel til formål at undersøge, hvilke metoder der anvendes i dag til at konstatere volumen af en leverance. Den viden, som danner grundlag for dette kapitel, er tilvejebragt ud fra interviews med entreprenør Kim Juel Rasmussen, landmåler Jens Henriksen samt projektgruppens egne erfaringer med entreprenørbranchen.

Når en entreprenør har bestilt sand eller stabilgrus til f.eks. en byggeplads, foretager entreprenøren kontroller, som skal konstatere, hvor meget den pågældende lastbil har med, og om dette er i overensstemmelse med den mængde, der står på køreseddelen [Bilag A, interview med KJR]. Der eksisterer flere metoder til mængdebestemmelse, som entreprenøren anvender til kontrol og disse belyses i det efterfølgende. Derudover belyses de metoder, som anvendes i grusgravene til mængdebestemmelse.

3.1 Metoder som anvendes til kontrol

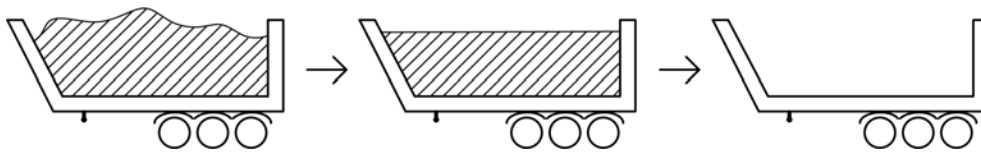
Nuværende praksis indenfor bestemmelse af, hvor meget sand eller stabilgrus, der er på et lad, sker primært ud fra metoder, der enten baseres på volumen eller massefylde. Som det første beskrives de metoder, der baseres på volumen, og efterfølgende beskrives de metoder, der baseres på massefylde.

3.1.1 Volumen

Ved volumenberegning beregnes volumen af mængden ud fra en bestemt fremgangsmåde og målemetode [Bilag A, interview med JH]. I følgende afsnit beskrives de to metoder, som bygger på volumenberegninger.

Metode 1

Inden forklaringen af denne metode er forløbet af processen illustreret på figur 3.1.



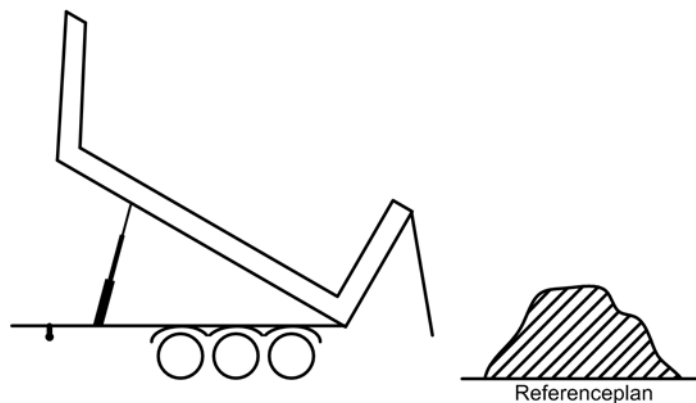
Figur 3.1: Illustration over forløbet af kontrollen (længdeprofil af en sættevogn).

Kontrollen udføres ved at læsset jævnes, så overfladen af læsset tilnærmelsesvis er en vandret flade. Herefter måles afstanden fra den udjævnede flade til overkanten af laddet på lastbilen. Efter endt opmåling tippes sandet af, og der foretages indvendige dimensionsmålinger af det tomme lad, for dermed at beregne volumen af det tomme lad. Efter disse målinger beregnes mængden af det materiale, som var blevet leveret, ved at trække de to målinger/volumen fra hinanden.

[Bilag A, interview med JH]

Metode 2

En anden metode, der også baseres på volumen, er en metode, hvor der opmåles et areal/flade, som chaufføren efterfølgende tipper læsset af på. Arealet/fladen skal dog kun indmåles, hvis der er tale om en ujævn flade, da denne flade er et referenceplan for den efterfølgende opmåling af mængden. Processen er illustreret på figur 3.2:



Figur 3.2: Længdeprofil af aflæsset materiale på et referenceplan.

Når arealet/fladen er fastlagt, bliver chaufføren bedt om at aflæsse materialet og efterfølgende foretages opmålingen af mængden. Opmålingen foretages med totalstation eller med andre lignede opmålingsmetoder, og volumen bestemmes efterfølgende.

[Bilag A, interview med JH]

3.1.2 Massefylde

Ved massefyldte vejes mængden af det materiale, der transporteres, og efterfølgende omregnes den samlede vægt til kubikmeter ved hjælp af en omregningsfaktor. Ved vejningen anvendes der en brovægt, hvis nøjagtighed varierer alt efter brovægtens kapacitet. En brovægt, der kan veje op til 60 ton, har en nøjagtighed på ca. 0,09 % af den samlede vægt, der vejes [Bilag C]. En brovægt er som sådan ikke en almindelig foranstaltning i grusgrave, men kan findes ved større korn og foderstoffer, enkelte større grusgrave eller ved et vejefirma.

Mængdebestemmelsen foregår ved, at den pågældende chauffør bliver bedt om at køre til en brovægt, hvor lastbilen skal vejes med læs på. Herefter bliver chaufføren bedt om at køre til leverancestedet og læsse af for så at køre tilbage til brovægten og blive vejnet tom. Vægten af den pågældende mængde bliver herefter beregnet ved at trække de to vejninger fra hinanden. Da bestillingen af materiale af f.eks. sand typisk bliver bestilt i kubikmeter, er der behov for at få vægten af sandet omregnet til kubikmeter, hvilket sker ved at finde en omregningsfaktor fra vægt til kubikmeter. Som et eksempel på en omregningsfaktor kan nævnes, at 1 m³ sand vejer 1,75 ton, hvilket giver en omregningsfaktor på 1,75. Den beregnede vægt af sandet omregnes herefter med omregningsfaktoren, og antallet af kubikmeter findes. [Bilag A, interview med KJR]

Da der oftest er uenighed om størrelsen af omregningsfaktoren, skal denne også fastlægges. Dette gøres ved at anvende en container, hvor volumen er kendt. Containeren læsses med det pågældende materiale og jævnes ud, så containeren lige præcis er fyldt, hvorefter denne vejes på en brovægt. Hvis der opnås enighed om omregningsfaktoren, benyttes denne til de efterfølgende omregninger fra vægt til kubikmeter. [Bilag A, Interview med KJR]

Vandindholdet i materialet har stor betydning for vægten, da sand og stabilgrus opsuger vand, hvorved vægten af materialet forøges og volumen mindskes, da materialet pakker sig. Kan der stadig ikke opnås enighed om omregningsfaktoren, er det nødvendigt at fastlægge materialets vandindhold. [Bilag A, Interview med KJR]

3.1.3 Opsamling

Efter gennemgangen af de forskellige metoder vil projektgruppen vurdere disse ud fra tre faktorer: tid, pris og nøjagtighed, som alle har betydning for metodernes anvendelighed. Vurderingen foretages for at anskueliggøre fordele og ulemper ved de enkelte metoder.

Vurdering af metoder		Tid	Pris	Pålidelighed
Volumen metode 1	+	-	-	-
	-	Tidskrævende, læsset jævnes manuelt, samt omfangsfuldt opmålingsarbejde.	Jævne læs: 2-3 mand i ca. ½ time, samt opmålingsarbejde og beregning ca. 1 time.	Ikke ret pålidelig - mange usikkerhedsselementer såsom, trampen i læsset ved udjævning. Kontrollen udføres af entreprenørens egne folk.
Volumen metode 2	+	Ikke særlig tidskrævende, opmålingen kan udføres af en mand på kort tid. Dog afhængig af, hvilken opmålingsmetode der anvendes.	Opmålingsarbejde samt beregning kan fortages af en mand ca. 10 minutter.	-
	-	-	-	Ikke ret pålidelig, trampen i bunken når der opmåles.
Massefylde	+	-	-	Stor pålidelighed hvis omregningsfaktor samt vandprocenten er fastlagt. Dette pga. af vægtens høje nøjagtighed
	-	Meget tidskrævende, specielt første gang hvor omregningsfaktor skal bestemmes og endnu mere, hvis vandprocenten skal fastlægges.	Vejning af lastbil, fastlægelse af omregningsfaktor samt bestemmelse af vandprocenten	-

Figur 3.3: Vurderingsskema.

Efter vurderingen af de metoder, der anvendes til kontrol fra entreprenørens side, vil projektgruppen ligeledes undersøge, hvilke metoder vognmanden/grusgraven anvender til volumenbestemmelsen af de samme mængder. Dette gøres for at komme konflikten nærmere.

3.2 Hvilke metoder anvendes i grusgrave til mængdebestemmelse?

I grusgravene er alt mængdebestemmelse bestemt ud fra forskellige vejningsmetoder. I større grusgrave anvendes der brovægte, og i mindre grusgrave anvendes der vægte, som sidder på de maskiner (gummiged), der anvendes til at læsse det pågældende materiale på lastbilerne. Disse to metoder vil nu blive beskrevet.

3.2.1 Brovægt

I større grusgrave anvendes der brovægte, og grunden til at disse kun anvendes i større grusgrave, hænger sammen med prisen. Anskaffelse samt etablering af en brovægt, som kan veje op til 60 ton, koster fra 180.000 kr. til 230.000 kr., hvortil der kommer en merudgift til edb og programmer.

3.2.2 Vægtsystem på gummiged

I mindre grusgrave anvendes der vægte, som sidder på gummigeden. Denne vægt vejer, hvor meget der er i skovlen på gummigeden med en nøjagtighed på $\pm 1\%$ af den samlede vægt af det materiale, der er i skovlen. Dette vægtsystem udgøres af udvendige tryk-, vinkel- og bevægelsescensorer, der alle er tilsluttet en computer med display, der sidder i kabinen på gummigeden. På dette display kan føreren se, vægten af det materiale, han har i skovlen. For yderligere information om dette system - se Bilag B.

3.3 Opsamling

Da materialer som sand og stabilgrus næsten altid bestilles og afregnes i kubikmeter [Bilag A, Interview med KJR] er metoden med vejning, hvad enten det er ved brovægt eller vægt på gummigeden, ikke tilstrækkelig, da denne pga. fastlæggelsen af omregningsfaktoren kan give anledning til stor uenighed imellem entreprenør og vognmand/grusgrav.

4 Problemformulering

I dette kapitel vil der blive samlet op på de to foregående kapitler, hvorefter projektgruppen vil fremsætte en problemformulering.

I kapitel 2 - Problemområde præsenterede projektgruppen konflikten mellem entreprenører og vognmænd/grusgravsejere, når der handles sand og stabilgrus til f.eks. etableringen af en motorvej. Efter projektgruppens beregningseksempel, hvor det kom frem, at det drejer sig om over 100.000 kr. pr. 1 km motorvej, kan der ikke være tvivl, om at konflikten er aktuel. Efter præsentationen blev både entreprenørernes og vognmændenes/grusgravsejernes metoder til mængdebestemmelse undersøgt og i den forbindelse fandt projektgruppen ud af, at de metode som entreprenøren anvender, har en ringe nøjagtighed, og derfor anses pålideligheden af disse som værende mangelfuld. Udstyret som vognmanden/grusgraven anvender i forbindelse med vejning, har en god nøjagtighed. Det er selve proceduren med at omregne vægt til kubikmeter, ved hjælp af en omregningsfaktor, som projektgruppen anser for at problematisk, da der ikke kan opnås enighed om omregningsfaktoren.

Ovenstående konstateringer, mener projektgruppen, er baggrunden for, at konflikten har eksisteret lige så længe, som der er blevet handlet med sand og grus.

Efter foranalysen mener projektgruppen, at den eneste måde hvorpå konflikten evt. kan løses, er ved at udvikle en ny og mere pålidelig metode, som begge parter kan godkende og drage nytte af. Da det vil blive for omfattende at skulle udvikle en ny metode til brug for forskellige materialer (sand, stabilgrus, sten osv.), har projektgruppen valgt at afgrænse undersøgelserne til at omhandle sand. Af ovenstående mener projektgruppen, at der er et behov og mulighed for at finde en løsning på konflikten, hvilket leder projektgruppen frem til følgende problemformulering:

Kan der udvikles en metode, der kan give en mere nøjagtig volumenbestemmelse end de eksisterende - under hensyntagen til tid og pris?

Som "succeskriterium" for metoden, der skal udvikles, har projektgruppen valgt at anvende de tre faktorer: tid, nøjagtighed og pris, som blev anvendt til at vurdere entreprenørens metoder til mængdebestemmelse i afsnit 3.1.3.

Faktorerne beskrives i de følgende afsnit, da projektgruppen efterfølgende vil anvende disse som grundlag for eventuelle valg, der skal foretages igennem projektet. De tre faktorer er tæt forbundet med hinanden forstået på den måde, at ændres forholdet ved f.eks. at en målesituation tager længere tid, vil det måske have indflydelse på en bedre nøjagtighed, men prisen vil måske stige.

Tid

Tiden, der er tale om i forbindelse med dette projekt, er den tid, det tager at foretage opmålingen af laddet på lastbilen. Jo hurtigere, jo bedre. Ingen har fortjeneste af en lastbil, som holder stille. Når lastbilerne ikke skal kontrolleres foregår processen i grusgraven i et kontinuerligt flow – de kører ind, bliver læsset og kører væk igen. Alt andet end lige vil det være afgørende for at opnå succes, at dette flow ikke bremses. Skal flow'et af opmålingsmæssige årsager alligevel standses for at få en bedre mængdebestemmelse af sandet, vil det være afgørende, at standsningen bliver så kortvarig som muligt.

Nøjagtighed

I projektgruppens beregningseksempel i kapitel 2 regnes med en usikkerhed på 2 m³ pr. læs, svarende til 10 % af de 20 m³, som lastbilerne gennemsnitligt medbringer pr. læs. På baggrund heraf drejer det sig om at finde en metode, der kan nedsætte denne usikkerhed. Projektgruppen har ikke på forhånd nogen tilkendegivelser om, hvilken nøjagtighed der ønskes, men kunne usikkerheden på hvert vognlæs nedsættes så meget, at den mængde, som er indbefattet i usikkerheden, er ubetydelig, ville det være det bedste.

Pris

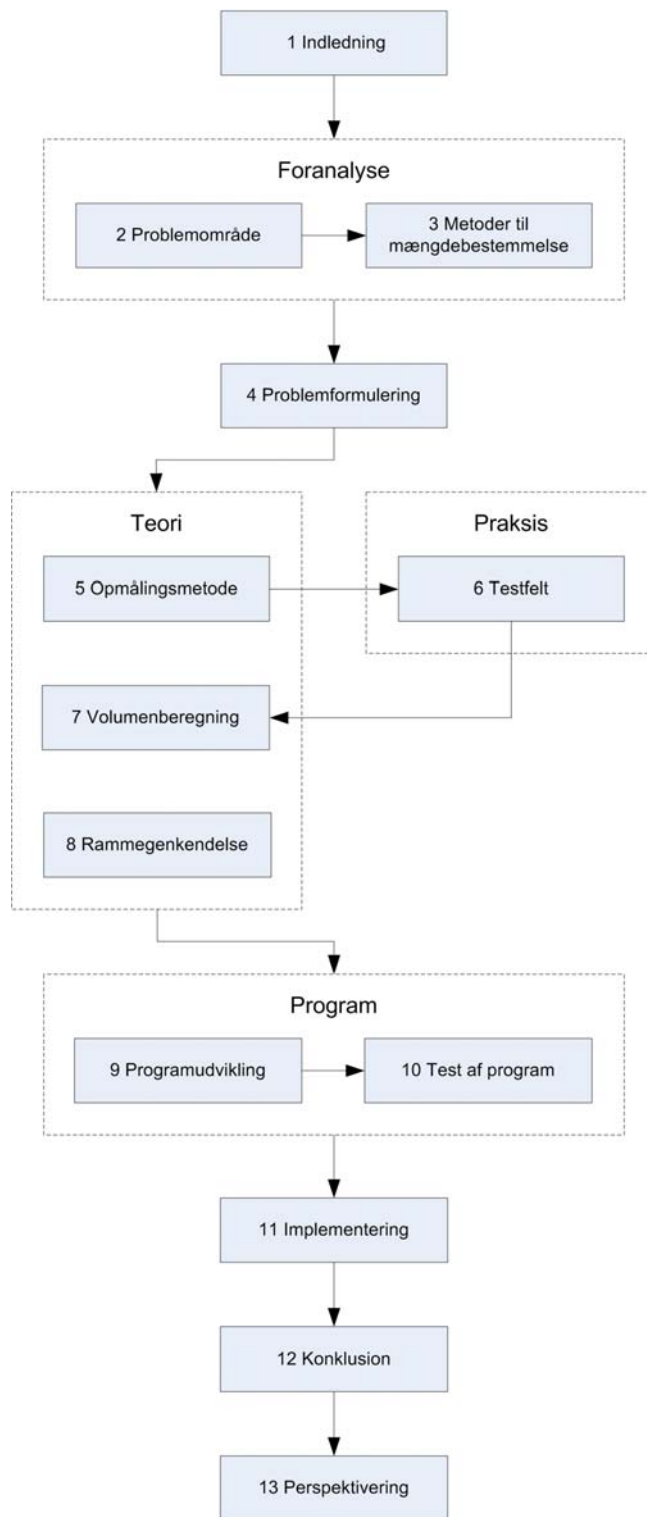
Angående pris anser projektgruppen det både for timeløn og for prisen på instrument og materialer. I nogle tilfælde vil valg af instrument og metode betyde lav

pris, men fordi metoden kræver en mand eller flere, og det tager lang tid at foretage opmålingen, vil det måske blive dyrere end valget af et dyrere instrument, men som kan operere selv. Når projektgruppen vil vurdere om prisen er holdbar, vil det derfor være nødvendigt at sætte prisen i relief med tid og nøjagtighed.

I næste kapitel vil projektgruppen undersøge, hvilke opmålingsmetoder som kan anvendes til løsning af problemformulering ud fra de tre faktorer: tid, nøjagtighed og pris.

4.1 Projektstruktur

Efter problemformuleringen er figur 4.1, som kan ses på næste side, udarbejdet. Dette er gjort for at skabe overblik over projektets opbygning.



Figur 4.1: Projektstruktur.

5 Opmålingsmetode

Dette kapitel vil indeholde en beskrivelse af de forskellige opmålingsmetoder, som projektgruppen finder anvendelige til løsning af problemformuleringen. Beskrivelserne af metoderne skal sidst i dette kapitel danne grundlag for et valg af den opmålingsmetode, som projektgruppen vil arbejde videre med.

5.1 Metoder

De opmålingsmetoder, der beskrives i dette kapitel, relaterer sig til teknisk opmåling og tager udgangspunkt i faktorerne: tid, nøjagtighed og pris, som blev beskrevet i kapitel 4. Udover disse faktorer er dokumentationen også vigtigt, da vognmanden/grusgraven skal kunne dokumentere overfor entreprenøren, hvor meget hver enkel leverance indeholder og dette på en sådan måde, at der ikke opstår tvivl omkring rigtigheden af det pågældende volumen.

Projektgruppen ser fire mulige opmålingsmetoder, og disse er følgende:

1. Manuel opmåling med totalstation
2. Automatisk opmåling med totalstation
3. Laserscanning
4. Digital Fotogrammetri

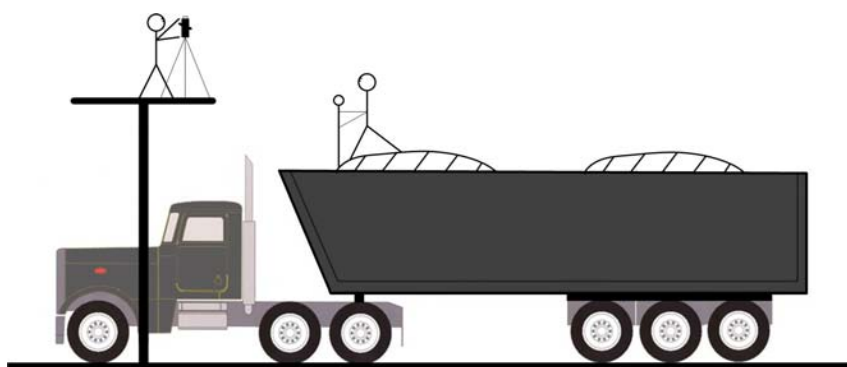
Disse fire opmålingsmetoder vil i det efterfølgende blive beskrevet ud fra, hvordan projektgruppen ser deres anvendelse i forhold til problemstillingen.

Resultatet af metoderne vil være det samme, nemlig x , y og z koordinater til de målte punkter. Beregningen af volumen vil derfor foregå på samme måde for alle metoderne, og derfor beskrives de ikke under hver enkelt metode. Resultatet af beregningen kan chaufføren vente på at få med i form af en køreseddel, hvis beregningen kan foretages indenfor et par minutter. Tager beregningerne længere tid, kører chaufføren efter endt opmåling, og resultatet kan evt. sendes online til chaufføren og/eller modtageren af sandet, der kan udskrive resultatet som dokumentation for leverancen. Hvilken løsning der skal vælges, kan der på nuværende

tidspunkt ikke siges mere om, da dette afhænger af beregningstiden. Fælles for alle beregningerne er, at de anses for at kunne foretages af en mand.

Metode 1

Den første metode omhandler manuel opmåling med totalstation og opmålingssituationen er vist på figur 5.1.



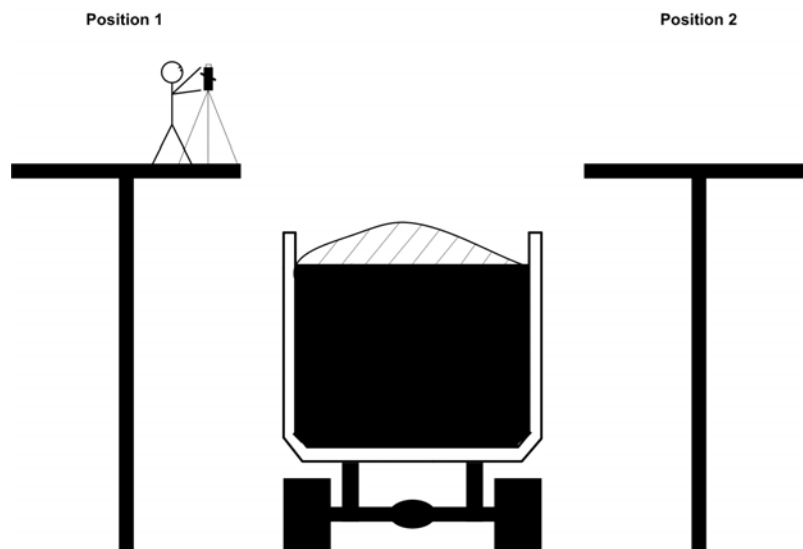
Figur 5.1: Opmålingssituationen for manuel opmåling med totalstation set fra siden.

Forløbet for denne metode vil være, efter at lastbilen er læsset med sand, kører den til opmålingsstedet, som er en portal eller lignende, hvorpå der er bygget et plateau, hvor totalstation og operatøren af denne befinder sig. Selve opmålingen vil foregå ved, at personen med prismet i laddet definerer de punkter (bund-, top- og overgangspunkter) i sandbunken, som skal måles for at få det bedste resultat.

Selve opmålingen skal foretages af to mand, en til styring af totalstation og en til at placere prismet.

Metode 2

Denne metode minder meget om metode 1, dog med den forskel at der anvendes en reflektorløs totalstation, hvilket bevirker, at der ikke skal gå en mand rundt oppe i laddet med et prisme. For at illustrere, hvordan projektgruppen forestiller sig, at opmålingssituationen kunne se ud, er figur 5.2 udarbejdet:



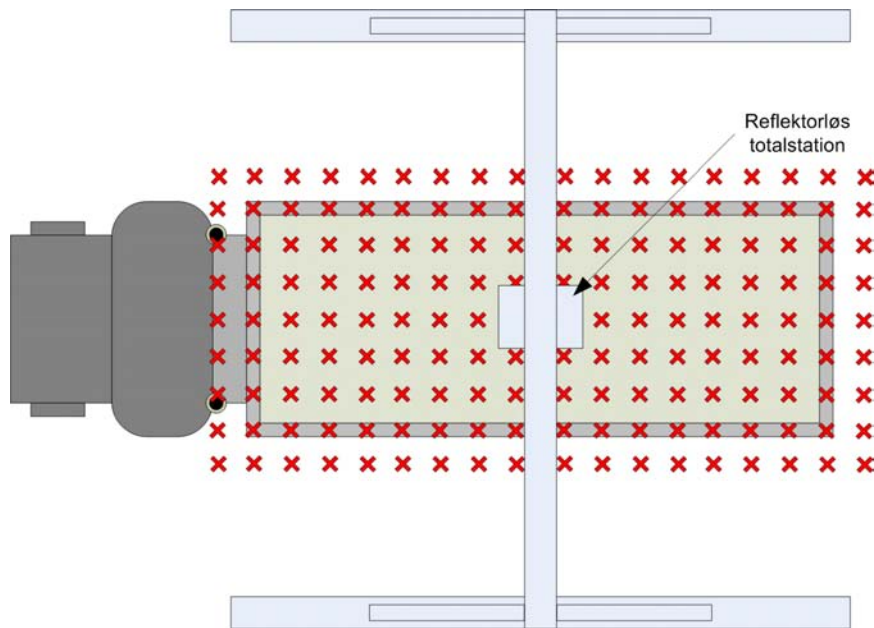
Figur 5.2: Opmålingssituationen med reflektorløs totalstation set bagfra.

Som situationen er vist i figur 5.2, skal lastbilen ikke køre ind under en portal, som det var tilfældet ved metode 1. Her kører lastbilen frem til opmålingsområdet, der består af to plateauer, som er etableret på hver side af lastbilen. Ved denne metode skal målingerne foretages fra to forskellige positioner, som f.eks. på hver side af lastbilen - se figur 5.2. Grunden til, at der skal måles fra to positioner, er, at med mindre totalstationen kan hæves meget højt over laddet, kan ikke alle nødvendige punkter måles fra kun én opstilling. Det vil sige, at operatøren og den reflektorløse totalstation må skifte opmålingsposition - fra det ene plateau til det andet. Efter de nødvendige målinger er foretaget fra begge opstillinger, beregnes volumen.

Da der også er en anden mulighed i forbindelse med denne metode, vil denne blive beskrevet i det efterfølgende og benævnet som metode 2a.

Metode 2a

En anden mulighed ved anvendelse af reflektorløs totalstation ville være at programmere den til at foretage opmålingen automatisk enten fra plateauerne eller ved at hænge den op over laddet. Opmålingen vil foregå ved, at der defineres et område (f.eks. fra venstre øverste hjørne til højre nederste), hvori der ønskes et vist antal punkter målt - se figur 5.3.

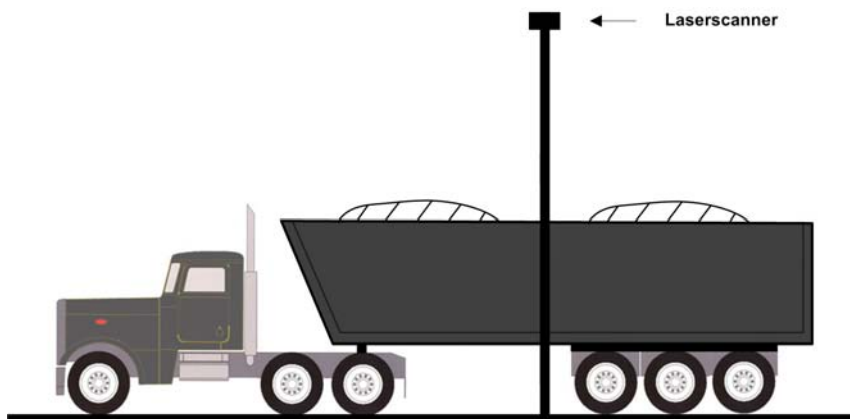


Figur 5.3: Illustrerer princippet (set oppefra) i en hængende reflektorløs totalstation, hvor de røde krydser er de punkter der automatisk måles.

Metoden vil da minde meget om laserscanning, som præsenteres i det følgende afsnit.

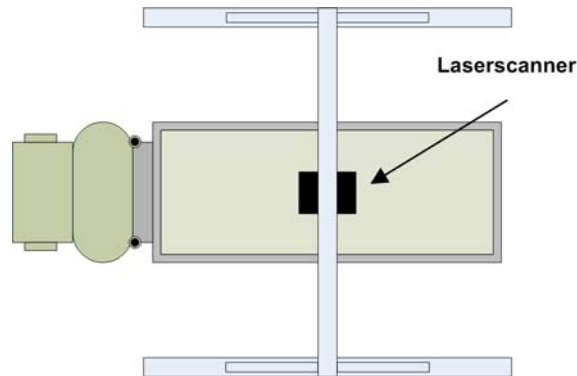
Metode 3

Denne metode omhandler opmåling ved hjælp af laserscanner og for at illustrere, hvordan opmålingssituationen er tiltænkt er figur 5.4 udarbejdet:



Figur 5.4: Opmålingssituation med laserscanner set fra siden.

For yderligere at illustrere opmålingssituationen er figur 5.5 udarbejdet, som viser situationen ovenfra.



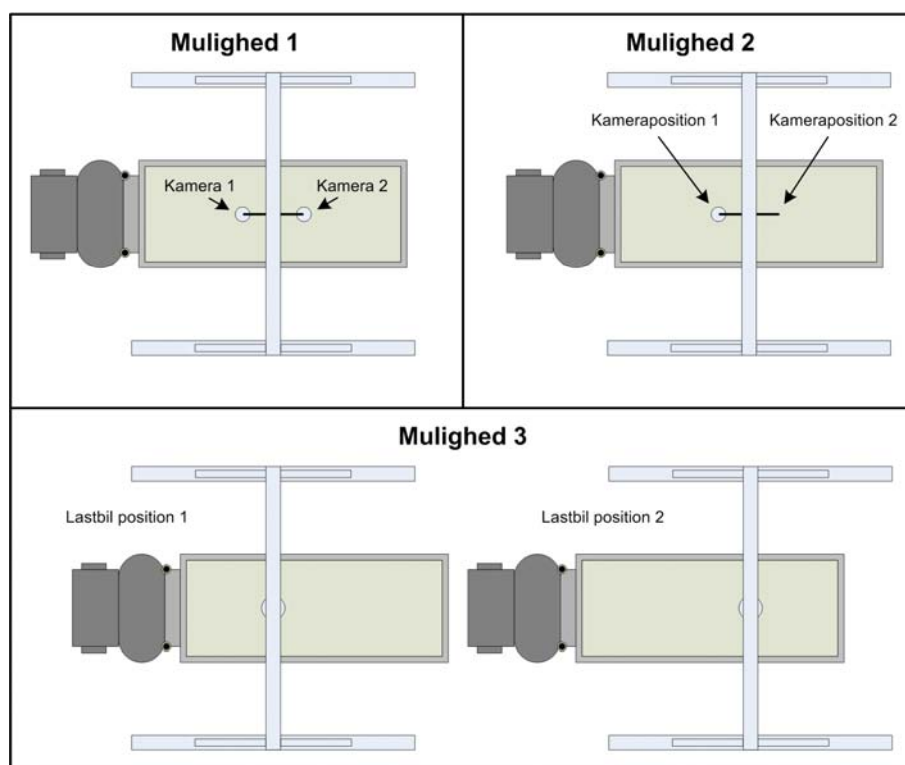
Figur: 5.5: Opmålingssituationen med laserscanner set fra oven.

Som figur 5.4 og 5.5 viser, skal lastbilen, efter den er blevet læsset med sand, køre ind under en portal, hvor den skal scannes.

Metode 4

Den fjerde metode omhandler opmåling af laddet vha. digital fotogrammetri. For at kunne udføre 3D-målinger af sandbunken på laddet vha. fotogrammetri, er det nødvendigt med minimum to billeder af det samme område taget fra to forskellige opstillinger (overlap). Billederne skal tages oppefra, ligesom det var tilfældet ved laserscanningen, og kan tages både analogt og digitalt. Projektgruppen vil dog kun fokusere på den digitale metode, da denne anses for at mest anvendelig i dette tilfælde.

Der er forskellige muligheder for at få taget to billeder af laddet fra to forskellige positioner. For det første kunne der hænges to kameraer op i hver deres position. For det andet kunne man også nøjes med ét kamera, som, efter at have taget et billede i den ene position, på en skinne eller lignende automatisk glider over i den anden position og tager billede nummer to. En tredje mulighed kunne være at flytte lastbilen, efter det første billede er taget. For at tydeliggøre mulighederne har projektgruppen lavet figur 5.6.



Figur 5.6: Illustrerer de tre forskellige muligheder for brugen af fotogrammetri i projektgruppens tilfælde.

For efterfølgende at kunne bestemme parametre for orientering af billederne, er det nødvendigt at placere paspunkter i yderområderne af billederne og gerne i forskellige niveauer, for at geometrien og dermed nøjagtigheden bliver bedre.

Målingen i billederne kunne manuelt foregå ved, at paspunkterne og de punkter, der skal bruges til beregningen af volumen, måles af en person vha. et fotogrammetriprogram, som f.eks. ImageStation, DTM eller Photomodeler. Processen kunne også foregå automatisk, da nogle programmer (bl.a. DTM og Photomodeler) indeholder funktioner, der f.eks. automatisk kan måle punkterne, som senere skal anvendes til volumenberegningen.

5.2 Vurdering af opmålingsmetoder

Efter beskrivelserne af de fire opmålingsmetoder vil de i dette afsnit blive bedømt ud fra faktorerne tid, nøjagtighed og pris, som blev beskrevet i kapitel 4. Denne

bedømmelse skal senere danne grundlag for, hvilken af de fire metoder, der skal anvendes i det videre forløb.

Da anskaffelsen af instrumenter osv. for at anvende én af de fire beskrevne metoder kan være en betydelig udgift for en grusgrav, regnes der i de følgende beregningseksempler med en afskrivning over 10 år. De omkostninger, der er beregnet ved hver enkel metode, er dem, som projektgruppen anser for værende betydningsfulde. Der ses altså bort fra låneomkostninger, hvis pengene til systemet skal lånes og renteindtægter i tilfælde af, at firmaet har pengene.

Til vurderingen af de metoder, der kræver manuelt arbejde, har projektgruppen udarbejdet en oversigt med prisen vedrørende arbejdslønnen for manuelt arbejde. Da der regnes med en afskrivning over 10 år er arbejdslønnen ligeledes beregnet over 10 år. Udregningerne og resultaterne ses i figur 5.7.

Arbejdsløns over 10 år	
Arbejdsløns pr. time – 1 mand	150 kroner
Timer pr. uge	37,5 timer
Timeforbrug på 10 år	$37,5 \times 45 \times 10 = 16.875$ timer
I alt	$16.875 \times 150 = 2.531.250$ kroner

Figur 5.7: Pris for arbejdsløns over 10 år.

Timelønnen er sat til 150 kr. pr. mand, hvilket svarer til en timeløn for en specialarbejder. Grunden til, at det er en specialarbejder, udregningerne er baseret på, er, at det ikke formodes at være realistisk at ansætte en måletekniker, der skal have en væsentlig højere løn end en specialearbejder. Som projektgruppen ser det, vil en måletekniker kunne oplære en specialearbejder i, hvordan målingerne skal foretages. På baggrund af disse antagelser vil der i opstartsperioden være behov for en måletekniker, men denne omkostning er ikke medregnet, da der vil være tale om en kort periode.

Med hensyn til nøjagtigheden vil vurderingen ske ud fra, hvilken nøjagtighed de enkelte instrumenter har. Dette gøres, da det på nuværende tidspunkt er den eneste nøjagtighed, der kan vurderes ud fra, da der endnu ikke er valgt, hvilken me-

tode der skal bruges til volumenberegningen. Hvor nøjagtigt et instrument kan foretage en punktbestemmelse, er som sådan også et udtryk for, hvor godt volumen kan bestemmes, da nøjagtigheden heraf hænger sammen med, hvor godt punkterne er bestemt. Projektgruppen har derfor kun valgt at vurdere metodernes nøjagtighed ud fra den punktspredning, der kan opnås med de enkelte instrumenter. Efter valg af opmålingsmetode i dette kapitel og valg af volumenberegningssmetode i kapitel 8 udregnes den forventede spredning på volumen.

De instrumenter, der anvendes i de forskellige metoder, er valgt ud fra de instrumenter, der er til rådighed på studiet. Priserne på de forskellige instrumenter er indhentet fra de pågældende fabrikanter.

Til vurderingen af tiden er der taget udgangspunkt i interviewet med Jens Henriksen, som nævner, at der skal måles omkring 80 punkter for at give en tilfredsstillende volumenbestemmelse af sand på laddet af en lastbil [Bilag A, Interview med JH]. Ud fra dette kan projektgruppen beregne, hvor langt tid det tager for en mand med f.eks. reflektorløs totalstation at måle 80 punkter. Hvor langt tid tager det f.eks. for en laserscanner? Hvor meget mere koster den i anskaffelse? Kan det overhovedet betale sig at anvende et instrument, som ikke er bemandet osv.? Til beregningen af volumen anvendes et program, og beregningstiden for alle fire metoder bliver derfor cirka den samme afhængigt af antallet af punkter, der skal beregnes. Af den grund vil beregningstiden ikke medregnes i vurderingen af metodernes tidsforbrug.

Metode 1

Den første metode omhandler manuel opmåling af læsset med prismeafhængig totalstation. Til vurderingen af metoden har projektgruppen taget udgangspunkt i anvendelsen af en Leica TC 1105 totalstation.

Tid

Det vurderes at tage omkring 15 sek. at opmåle et punkt, hvilket giver en total tid for opmålingen af de 80 punkter, på 20 min.

Nøjagtighed

Ved anvendelse af en TC 1105 totalstation regnes der med en punktnøjagtighed $\sigma_{P_{XYZ}}$ på ca. 1 cm jf. bilag D.

Pris

Omkostningerne der er forbundet med denne metode, udgøres af instrument, arbejds løn til selve opmålingen og køb af beregningsprogram. Ved udregningen af den samlede omkostning vedrørende denne metode tages der udgangspunkt i, hvor mange læs der skal opmåles over de 10 år, som systemet afskrives over. På baggrund af interviewet med Kim Juel Rasmussen regnes der med et årligt salg på 200.000 m³. Dette leder frem til følgende beregninger, som kan ses i figur 5.8.

Omkostninger vedrørende arbejds løn		
Læs i alt	$\frac{200.000 \text{ m}^3 \times 10}{20 \text{ m}^3}$	100.000 læs
Arbejdstimer	20 min x 100.000	33.333 timer
Personer	$\frac{33.333}{16.875}$	2 personer
Omkostninger	2 x 2.531.250	5.062.500 kroner

Figur 5.8: Udregningen vedrørende arbejds løn for metode 1.

Som det ses af ovenstående figur 5.8, kan to mand klare at opmåle de 100.000 læs over 10 år. En nærmere forklaring af, hvordan situation rent praktisk skulle foregå, vil projektgruppen ikke komme nærmere ind på, men blot konstatere, hvilke omkostninger der er ved denne metode vedrørende arbejds løn.

For at kunne beregne den samlede omkostning for denne metode, er yderligere beregninger foretaget, og disse kan ses i figur 5.9.

Omkostningerne vedrørende metode 1 over 10 år	
Instrument	115.000 kr.
Arbejdsløn	5.062.500 kr.
Program til beregning	10.000 kr.
I alt	5.187.500 kr.

Figur 5.9: Total omkostninger vedrørende metode 1.

Som det ses af ovenstående figur 5.9, er omkostningerne vedrørende etablering og anskaffelse af portalen ikke medregnet. Dette skyldes, at der i alle de fire metoder skal etableres næsten de samme portaler, og disse omkostninger betragtes derfor som værende ens for alle metoder. Omkostningerne er derfor heller ikke medregnet i de efterfølgende tre metoder.

For at illustrere, hvad det vil koste at få bestemt volumen pr. læs, er følgende udregninger foretaget i figur 5.10.

Omkostningerne for volumenbestemmelse pr. læs over 10 år		
Omkostninger		5.187.500 kr.
Pris pr. læs	$\frac{7.718.750}{100.000}$	51,88 kr.

Figur 5.10: Pris pr. læs ved anvendelse af metode 1.

Metode 2

Denne metode omhandler opmåling af læsset med reflektorløs totalstation, hvor læsset skulle opmåles fra to positioner. Instrumentet, som projektgruppen ser anvendt til denne metode, er en Leica TCR 1105 totalstation.

Tid

Tidsforbruget for denne metode tager udgangspunkt i, at opmålingen med en reflektorløs totalstation tager ca. 10 sek. pr. punkt, hvilket giver en total tid for opmålingen af de 80 punkter på ca. 14 min. Da opmålingen skal foretages fra to forskel-

lige plateauer regnes der med ca. 3 min., for at flytte fra det ene plateau til det andet. Dette giver et samlet tidsforbrug pr. læs på 17 min.

Nøjagtighed

Ved anvendelse af en TCR 1105 totalstation regnes der med en punktnøjagtighed $\sigma_{P_{XYZ}}$ på ca. 1 cm jf. bilag D.

Pris

Omkostningerne, der er forbundet med denne metode, udgøres ligeledes af instrument, arbejds løn til selve opmålingen og køb af beregningsprogram. Som det første led i beregningen af den samlede omkostning udregnes omkostningen vedrørende arbejds lønnen - se figur 5.11.

Omkostninger vedrørende arbejds løn		
Læs i alt	$\frac{200.000 \text{ m}^3 \times 10}{20 \text{ m}^3}$	100.000 læs
Arbejdstimer	17 min x 100.000	28.333 timer
Personer	$\frac{28.333}{16.875}$	2 personer
Omkostninger	2 x 2.531.250 kr.	5.062.500 kr.

Figur 5.11: Udregningen vedrørende arbejds løn for metode 2.

Som det fremgår af figur 5.11, er den tiltænkte situation, med at metoden skal kunne udføres af en mand, ikke holdbar. Der skal i teorien anvendes to mand - en på hvert plateau til at udføre opmålingerne. Hvordan dette praktisk skulle udføres, vil projektgruppen ikke komme nærmere ind på, men blot konstatere, hvilke omkostninger, der er forbundet med arbejds lønnen.

For at kunne beregne den samlede omkostning for denne metode, er yderligere beregninger foretaget, og disse kan ses i figur 5.12.

Omkostningerne vedrørende metode 2 over 10 år	
Instrument	130.000 kr.
Arbejds løn	5.062.500 kr.
Program til beregning	10.000 kr.
I alt	5.202.500 kr.

Figur 5.12: Totalomkostninger vedrørende metode 2.

For at illustrere, hvad det vil koste at få bestemt volumen pr. læs, er følgende udregninger foretaget, og kan ses i figur 5.13.

Omkostningerne for volumenbestemmelse pr. læs over 10 år		
Omkostninger		5.202.500 kr.
Pris pr. læs	$\frac{5.202.500}{100.000}$	52,03 kr.

Figur 5.13 Pris pr. læs ved anvendelse af metode 2.

Metode 2a

Denne metode omhandler opmåling af læsset med servostyret reflektorløs totalstation, hvor læsset skulle opmåles fra én position. Instrumentet, som projektgruppen ser anvendt til denne metode, er en Leica TCRA 1105 totalstation, da det er totalstationer af denne type, som projektgruppen har til rådighed.

Tid

Tidsforbruget for denne metode tager udgangspunkt i at opmålingen med en servostyret reflektorløs totalstation tager ca. 5 sek. pr. punkt, hvilket giver en total tid for opmålingen af de 80 punkter på lige knap 7 min.

Nøjagtighed

Ved anvendelse af en TCRA 1105 totalstation regnes der med en punktnøjagtighed

$\sigma_{P_{XYZ}}$ på ca. 1 cm jf. bilag D.

Pris

Omkostningerne, der er forbundet med denne metode, udgøres af instrument, arbejds løn til beregningen og udvikling af programmet. Som det første led i beregningen af den samlede omkostning udregnes arbejds lønnen - se figur 5.14.

Omkostninger vedrørende arbejds løn		
Læs i alt	$\frac{200.000 \text{ m}^3 \times 10}{20 \text{ m}^3}$	100.000 læs
Arbejdstimer	7 min x 100.000	11.667 timer
Personer	$\frac{11.667}{16.875}$	1 personer
Omkostninger	1 x 2.531.250 kr.	2.531.250 kr.

Figur 5.14: Udregningen vedrørende arbejds løn for metode 2a.

For at kunne beregne den samlede omkostning for denne metode, er yderligere beregninger foretaget, og disse kan ses i figur 5.15.

Omkostningerne vedrørende metode 2a over 10 år	
Instrument	220.000 kr.
Arbejds løn	2.531.250 kr.
Program til beregning	10.000 kr.
I alt	2.761.250 kr.

Figur 5.15: Total omkostninger vedrørende metode 2a.

For at illustrere, hvad det vil koste at få bestemt volumen pr. læs, er følgende udregninger foretaget, og kan ses i figur 5.16.

Omkostningerne for volumenbestemmelse pr. læs over 10 år		
Omkostninger		2.761.250 kr.
Pris pr. læs	$\frac{2.761.250}{100.000}$	27,61 kr.

Figur 5.16: Pris pr. læs ved anvendelse af metode 2a.

Metode 3

Denne metode omhandler opmåling af læsset med laserscanner og til vurderingen har projektgruppen taget udgangspunkt i Cyrax 2500.

Tid

Det tidsmæssige aspekt ved denne metode skal ses i lyset af, at scanneren kan måle 1000 punkter i sekundet, hvilket betyder at de 80 punkter, som Jens Henriksen mente var nok til en rimelig volumenbestemmelse, måles på meget kort tid.

Nøjagtighed

Ved anvendelse af en Cyrax 2500, kan der forventes en nøjagtighed omkring 6 mm på et målt punkt jf. Appendiks A.

Pris

Omkostningerne, der er forbundet med metode 3, udgøres af laserscanner med tilhørende bærbar pc og køb af beregningsprogram. Disse omkostninger kan ses i figur 5.17.

Omkostningerne vedrørende metode 3 over 10 år	
Instrument	1.000.000 kr.
Program til beregning	10.000 kr.
I alt	1.010.000 kr.

Figur 5.17: Omkostningerne ved metode 3.

For at illustrere, hvad det vil koste at få bestemt volumenet med laserscanner pr. læs, er følgende udregninger foretaget, og kan ses i figur 5.18.

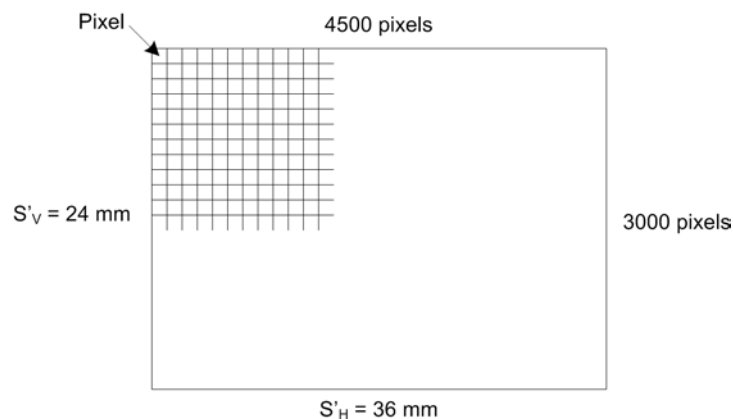
Omkostningerne for volumenbestemmelse pr. læs over 10 år		
Læs i alt	$\frac{200.000 \text{ m}^3 \times 10}{20 \text{ m}^3}$	100.000 læs
Omkostninger		1.010.000 kr.
Pris pr. læs	$\frac{1.010.000}{100.000}$	10,10 kr.

Figur 5.18: Pris pr. læs ved anvendelse af metode 3.

Metode 4

Denne metode omhandler opmåling af læsset med vha. digital fotogrammetri. Projektgruppen mener, at alle tre muligheder (se figur 5.6), som tidligere er beskrevet, kunne anvendes i virkeligheden. Det vil dog være for omfangsrigt at vurdere alle tre muligheder, og derfor har projektgruppen valgt, at mulighed 1 (to kameraer hængende i to forskellige positioner) vil være den eneste, som i det følgende vurderes. Det er svært at argumentere for valget af mulighed 1, da der er fordele og ulemper ved hver metode, og disse fordele og ulemper afhænger af mange forskellige parametre. Projektgruppen mener dog, at mulighed 1 er den mest realistiske af de tre. Derudover vurderer projektgruppen mulighed 1 til at være den hurtigste, mest stabile og mest fejlsikrede, da hverken kamera eller lastbil skal bevæge sig til en ny position, efter det første billede er taget. I det følgende vurderes mulighed 1.

Til vurderingen har projektgruppen taget udgangspunkt i Kodak DCS Pro 14n, der har en opløsning på 13,5 megapixels (4.500 x 3.000 pixels) og et billedformat på 36 x 24 mm – se figur 5.19.



Figur 5.19: Specifikationerne for Kodak DCS Pro 14n.

Tid

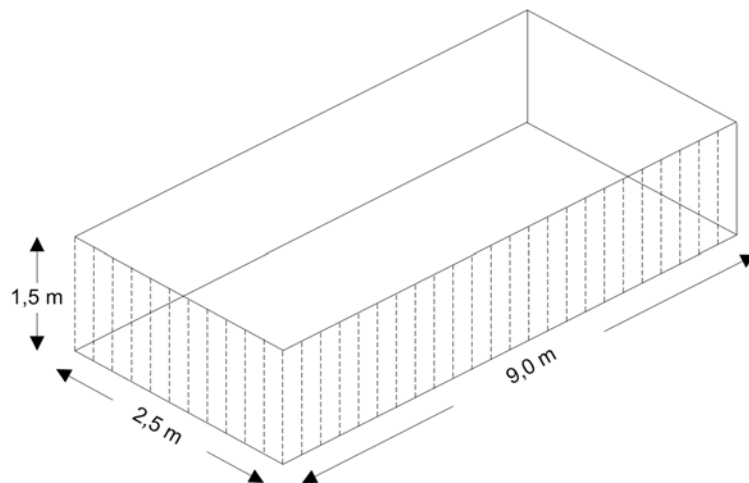
Projektgruppen vurderer, at det ikke vil tage mere end et par sekunder at tage de to billeder. Tidsforbruget for den automatiske måling af punkter på sandet er vurderet ud fra et eksempel med et modelområde (se evt. figur 5.22) på 6.600 x 10.900 pixels, hvor DTM (fotogrammetrisk program) blev sat til at "matche" (finde de samme punkter i begge billeder) hver anden pixel i både række og søjle, og derefter interpolere et grid over punkterne. Dette tog DTM ca. 55 min. I projektgruppens tilfælde er billedernes opløsning på 4.500 x 3.000 pixels, hvilket med et 80 % overlap giver et modelområde på 3.600 x 3.000, og "matches" hver anden pixels i række og søjle som i ovenstående eksempel, giver det følgende tid:

$$\frac{3600 \cdot 3000}{6600 \cdot 10900} \cdot 55 \text{ min.} = 8,25 \text{ min.}$$

Af ovenstående beregning har projektgruppen vurderet, at fra billederne tages til volumen er beregnet, vil der gå ca. 10 min.

Nøjagtighed

En afgørende faktor for nøjagtigheden for metoden er, hvor højt kameraerne skal hænge over laddet. Til beregningen af højden er det nødvendigt at kende objektstørrelsen, som projektgruppen har sat til 3 x 10 m ud fra dimensionerne for laddet af lastbilen - figur 5.20. Tallene er taget fra en producents hjemmeside [www.lastas.dk].



Figur 5.20: Illustrerer laddets dimensioner.

Objektstørrelsen er sat til 3 x 10 m, for at sikre at hele laddet kommer med i modelområdet (overlappet mellem de to billeder der tages).

Til beregningen af højden h mellem kameraerne og laddet har projektgruppen anvendt følgende formel:

$$h = \frac{(B \cdot c)}{(p \cdot S'_H)}$$

hvor

B = objektstørrelsen i m (10 m (længden af området, der skal dækkes) – se figur 5.20).

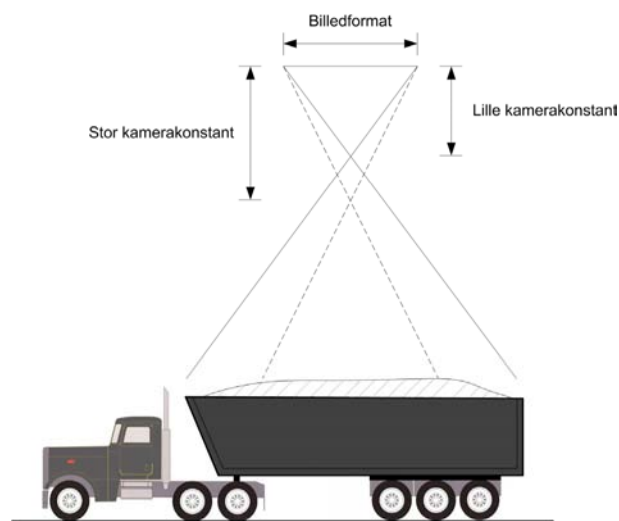
c = kamerakonstanten (14 mm).

p = billedoverlap (80 %).

S'_H = billedformat (36 mm).

Den linse, der følger med kameraet, har en kamerakonstant på 35 mm, hvilket, ifølge ovenstående formel betyder, at kameraet, skal hænge 12 m over laddet af lastbilen. Projektgruppen har på nettet (www.canon.dk) fundet en linse med en kamerakonstant på kun 14 mm, hvilket betyder, at kameraet skal hænge 5 m over laddet. Kunne det lade sig gøre at finde en linse med en endnu mindre kamerakonstant og/eller et kamera med et større billedformat, ville afstanden mellem ka-

mera og lad blive endnu mindre, hvilket vil være mere anvendeligt. Betydningen af kamerakonstanten og billedformatet har projektgruppen illustreret på figur 5.21.



Figur 5.21: Illustrerer kamerakonstanten og billedformatets betydning for afstanden mellem lad og kamera.

Når højden er kendt, kan det beregnes, hvor stort et område på jorden hvert billede vil dække, og dermed hvor paspunkterne kan placeres. Placeringen af paspunkterne ser projektgruppen som en vigtig del af vurderingen af metoden, for hvis paspunkterne placeres for tæt på lastbilen er der risiko for, at punkterne bliver ustabile. Hvis paspunkterne ikke er stabile vil nøjagtigheden blive ringere og metoden upålidelig. Dimensionerne af det område, som hvert billede vil dække, beregnes vha. følgende formler – se efterfølgende figur 5.22:

$$S_H = S'_H \cdot \frac{h}{c} \quad \text{og} \quad S_V = S'_V \cdot \frac{h}{c}$$

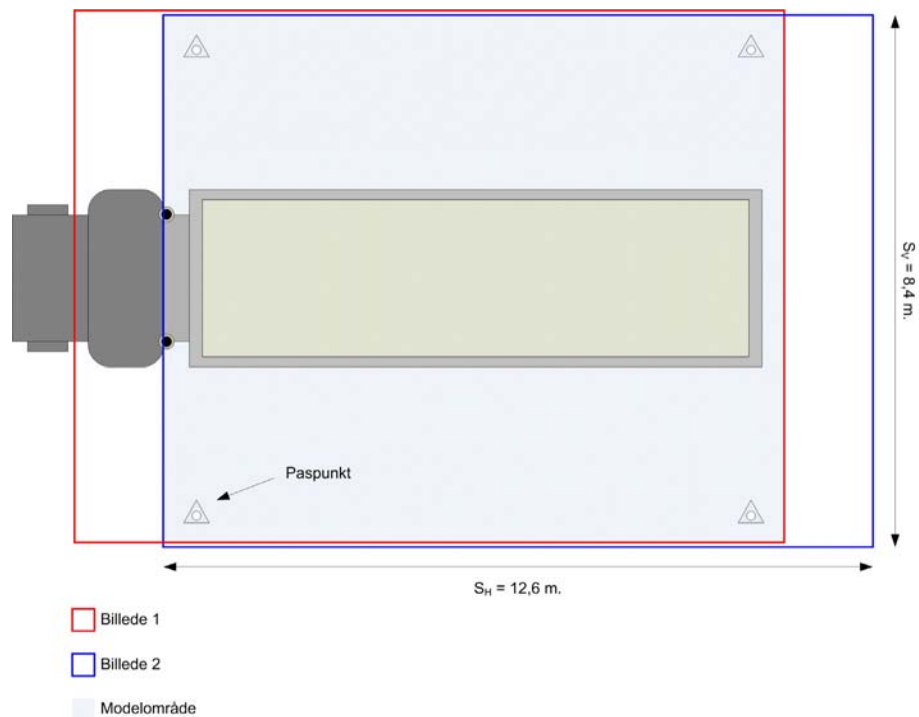
hvor

$$S'_H = 36 \text{ mm}$$

$$S'_V = 24 \text{ mm}$$

$$h = 5 \text{ m}$$

$$c = 14 \text{ mm}$$



Figur 5.22: Viser placeringen af paspunkter omkring lastbilen.

Det er vigtigt, at paspunktens koordinater ikke ændrer sig med tiden, og derfor skal paspunkterne placeres, så de er stabile, også efter 1.000 lastbiler er kørt igennem portalen. Afstanden fra lastbilen til punkterne vil dog være ca. 2,5 m, og bl.a. derfor vurderer projektgruppen, at paspunkterne kan placeres, så de ikke bliver ustabile.

Når højden er kendt, er det muligt at beregne, hvor godt punkterne kan måles i billederne. Beregningen af σ_z foretages vha. følgende formel:

$$\sigma_z = m_b \cdot \frac{h}{b} \cdot \sigma_{P_\xi} \quad [\text{Kraus, s. 27}]$$

hvor

$$\text{Måleforholdet: } m_b = \frac{h}{c}$$

$$h = 5 \text{ m}$$

$$c = 14 \text{ mm}$$

$$\text{Basislængden (afstanden mellem kameraerne): } b = S'_H \cdot m_b - B$$

B = objektstørrelse (10 m (længden af området, der skal dækkes) – se figur 5.22)

Punktspredningen ($\frac{1}{2}$ pixel (digital)): $\sigma_{p_z} = \frac{1}{2} \times (36/4500) = 4 \mu\text{m}$.

Dette giver følgende nøjagtighed på z koordinaten: $\sigma_z = \pm 2,5 \text{ mm}$.

Herefter beregnes σ_x og σ_y vha. af følgende formler:

$$\sigma_x = \sqrt{\left(\frac{X'_{\max}}{c} \cdot \sigma_z\right)^2 + \left(\frac{h}{c} \cdot \sigma_{x'}\right)^2} \quad [\text{Kraus, s. 27}]$$

$$\sigma_y = \sqrt{\left(\frac{Y'_{\max}}{c} \cdot \sigma_z\right)^2 + \left(\frac{h}{c} \cdot \sigma_{y'}\right)^2} \quad [\text{Kraus, s. 27}]$$

hvor

$$X'_{\max} = 18\text{mm}(S'_H / 2)$$

$$Y'_{\max} = 12\text{mm}(S'_V / 2)$$

$$c = 14\text{mm}.$$

$$h = 5\text{m}.$$

$$\sigma'_{x'} = \sigma'_{y'} = \sigma_p / \sqrt{2} = 2,8\mu\text{m}.$$

Dette giver $\sigma_x = 3,4 \text{ mm}$ og $\sigma_y = 2,3 \text{ mm}$. Heraf kan en tredimensionel spredning beregnes:

$$\sigma_{XYZ} = \sqrt{\frac{(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2)}{3}} = 2,8\text{mm}.$$

Pris

Omkostningerne, der er forbundet med metode 4, udgøres af kameraer, linser og køb af beregningsprogram - se figur 5.23.

Omkostningerne vedrørende metode 4 over 10 år	
Kamera (2 stk.)	90.000 kr.
Linse (2 stk.)	50.000 kr.
Program til beregning	20.000 kr.
I alt	160.000 kr.

Figur 5.23: Omkostningerne ved metode 4.

Kameraerne (2 stk. Kodak DCS Pro 14n) kan købes via internettet for 45.000 kr. pr. stk. [www.edbpriser.dk]. Derudover koster linserne, som projektgruppen fandt på Canons hjemmeside, 25.000 kr. pr. stk., hvilket giver en samlet pris på 140.000 kr. for kameraer og linser. Dertil kommer prisen på Photomodeler (10.000 kr.), som indeholder funktioner til automatisk måling i billederne, hvilket tidligere er beskrevet. Efter målingen i Photomodeler haves x, y og z koordinater til hvert eneste af de målte punkter på sandet i billederne, hvilket er det samme som efter en laser-scanning af sandet. Derfor er det udover Photomodeler også nødvendigt at købe et beregningsprogram til selve volumenberegningen, som ved de andre fire metoder (10.000 kr.).

For at illustrere, hvad det vil koste at få bestemt volumenet vha. fotogrammetri pr. læs er følgende udregninger foretaget, og kan ses i figur 5.24.

Omkostningerne for volumenbestemmelse pr. læs over 10 år		
Læs i alt	$\frac{200.000 \text{ m}^3 \times 10}{20 \text{ m}^3}$	100.000 læs
Omkostninger		160.000 kr.
Pris pr. læs	$\frac{160.000}{100.000}$	1,60 kr.

Figur 5.24: Pris pr. læs ved anvendelse af metode 4.

5.3 Valg af opmålingsmetode

I dette afsnit foretages valget af den opmålingsmetode, som anses for at være den bedst egnede. Valget bygges på den forudgående beskrivelse af metoderne.

Figur 5.25 er udarbejdet for at illustrere, hvordan de forskellige metoder vurderes.

Vurdering af metoder		Tid	Nøjagtighed	Pris
Metode 1	Fordel		Ca. 10 mm	
	Ulempe	Tidsforbrug på ca. 20 minutter pr. læs.		51,88 kroner pr. volumenbestemmelse
Metode 2	Fordel		Ca. 10 mm	
	Ulempe	Tidsforbrug på ca. 17 minutter pr. læs.		52,03 kroner pr. volumenbestemmelse
Metode 2a	Fordel		Ca. 10 mm	
	Ulempe	Tidsforbrug på ca. 7 minutter pr. læs.		27,61 kroner pr. volumenbestemmelse
Metode 3	Fordel	Under 1 minut	Ca. 6 mm	10,10 kroner pr. volumenbestemmelse
	Ulempe			
Metode 4	Fordel	Tidsforbrug på ca. 2 minutter pr. læs.	2,8 mm	1,60 kroner pr. volumenbestemmelse
	Ulempe			

Figur 5.25: Fordele og ulemper ved de forskellige metoder.

Som det ses af figur 5.25, er der to metoder, der kan bruges til det videre forløb – metode 3 (laserscanning) og metode 4 (digital fotogrammetri). Ud fra ovenstående skema ses det, at metode 4 vil være den bedste at arbejde videre med ud fra den betragtning, at prisen pr. volumenbestemmelse er omkring 6 gang billigere i forhold til metode 3. Projektgruppen vælger dog, på trods af denne konstatering, at arbejde videre med metode 3. Grunden til dette er projektgruppens interesse for laserscanning, samt at perspektivet/udviklingsmulighederne for laserscanning anses for at være store. Disse perspektiver og udviklingsmuligheder beskrives nærmere i Kapitel 13 – perspektivering.

5.4 Opsamling

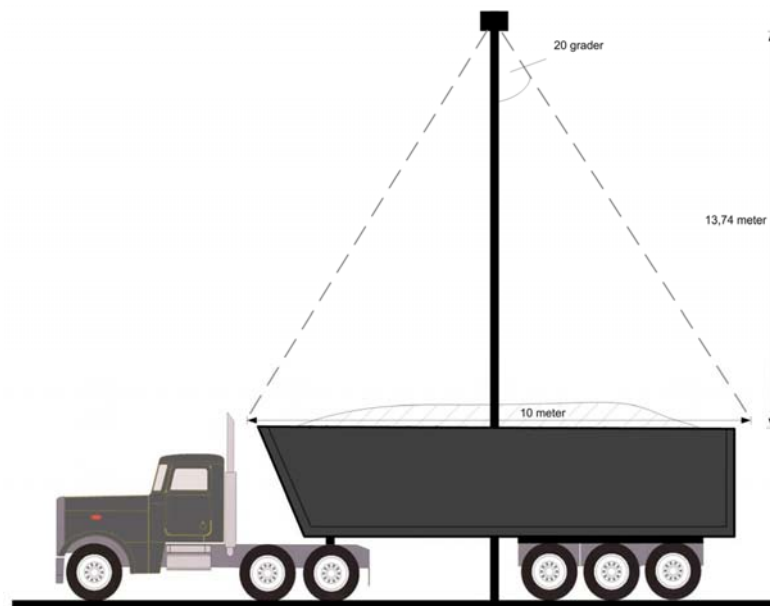
Projektgruppen har i dette kapitel beskrevet og vurderet forskellige løsningsmodeller, som evt. kunne anvendes til at løse føromtalt konflikter. Af disse løsningsmodeller er laserscanning valgt, og det følgende bliver nu at teste, om projektgruppens formodning, om at laserscanneren kan anvendes, holder stik, og hvis ja, hvor gode resultater kan der opnås.

6 Testfelt

I dette kapitel beskrives, hvordan projektgruppen vil teste laserscanneren. Først beskrives planlægningen og de forberedelser, som er gennemført forud for selve udførelsen af forsøgene, som beskrives til sidst i kapitlet.

6.1 Forberedelser

Projektgruppen har foretaget forskellige forberedelser i forbindelse med at kunne teste metoden med Cyrax 2500. De forskellige tests foretages med en model og noget sand, fordi de samme betingelser og forhold kan skabes uden projektgruppen behøver at skulle låne/leje en lastbil samt opstille en portal eller lign. foranstaltninger for at kunne komme til at scanne lastbilens lad ovenfra. Derudover ville det være nødvendigt at rejse en portal eller lign. på ca. 14 m, da Cyrax 2500 med en scanningsvinkel på 40° (appendiks A) vil kræve en sådan højde for at kunne scanne hele laddet – se figur 6.1.



Figur 6.1: Viser hvor højt laserscanneren skal placeres over lastbilens lad.

Projektgruppen har fået fremstillet en model af et lad i træ, som har dimensionerne B: 0,5 m L: 1,8 m H: 0,3 m og deraf en volumen på 270 liter. Dimensionerne på mo-

delkassen svarer til størrelsesforholdet 1:5 af en sættevogn – se figur 5.20. Det er ikke afgørende at størrelsesforholdet er præcist, men det giver et mere realistisk billede af forholdene, samt det kan evt. forhindre eller afdække forhold som kunne opstå, hvis ikke størrelsesforholdet er i overensstemmelse med virkeligheden. Det vigtigste i denne sammenhæng med hensyn til den kasse som bygges er, at bredden på rammen på kassen bliver den samme som i virkeligheden. Dette er vigtigt, fordi valget af gridstørrelse i scanningsmetoden er afgørende for at kunne genkende rammen på kassen, hvilket vi senere vil vende tilbage i kapitel 9 – Rammegenkendelse. Modelkassen ses på figur 6.2.

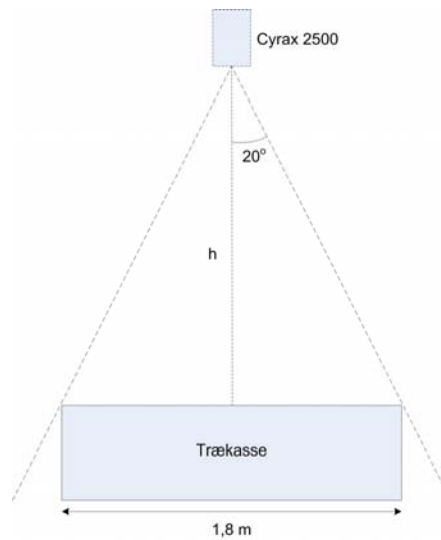


Figur 6.2: Fremstilling af trækasse.

Derudover har projektgruppen måtte finde et egnet område (testfelt), hvor scanningerne kunne foregå og udtænke planer for, hvilke gridstørrelser og typer af situationer der er interessante at teste, for at få et grundlag at basere senere vurderinger og konklusioner på. I de følgende afsnit beskrives de enkelte elementer i forberedelserne.

6.1.1 Opsætning

For at finde et egnet område til udførelsen har projektgruppen beregnet, hvor højt scanneren skal placeres over trækassen, for at få hele kassen med – se figur 6.3.



Figur 6.3: Skitse for, hvor højt scanneren skal placeres over trækassen.

Det udvalgte område, hvor det kunne lade sig gøre at foretage scanningerne ugeneret, blev i instrumentrummet Fibigerstræde 11. Her havde projektgruppen mulighed for at få laserscanneren tilpas højt op, så det var muligt at scanningsområdet for laserscanneren kunne dække trækassen. Opsætningen af Cyrax 2500 ses i nedenstående figur 6.4.



Figur 6.4: Opsætningen af Cyrax 2500 over trækassen.

6.1.2 Gridstørrelser

Når scanningerne foretages, kan det gøres med forskellige gridstørrelser afhængigt af, hvilken nøjagtighed der ønskes. Jo større nøjagtighed, jo længere tid tager scanningerne. Projektgruppen har valgt at scanne med forskellige gridstørrelser ud fra den betragtning, at der ønskes at opnå en nøjagtighed bedre en 10 % af det samlede volumen, men indenfor en acceptabel tidsramme på ca. 2 minutter. Kan f.eks. en lidt større gridstørrelse opnå en acceptabel nøjagtighed, som en lidt mindre gridstørrelse, men bare meget hurtigere, da der er færre punkter at måle, vil dette være at foretrække. Derudover var testfeltet en midlertidig opstilling, hvilket betød, at scanningerne helst skulle foregå samme dag, da andre også skulle have mulighed for at gøre brug af Cyrax 2500 eller benytte lokalet, hvor testfeltet var placeret.

Projektgruppen har på forhånd foretaget beregninger for, hvor lang tid det vil tage at scanne med forskellige gridstørrelser. Valg af gridstørrelser er ligeledes foretaget ud fra den betragtning, at rammen på laddets overkant, efter projektgruppens vurdering, har en bredde på 5 cm, hvilket betyder, at gridstørrelsen ikke må være over 5 cm, for at være sikker på at der måles minimum ét punkt på rammen. Derfor har projektgruppen valgt gridstørrelser på 5, 2,5 og 1 cm. Projektgruppen har også valgt at scanne med 2 mm, da det er en meget fin scanning, som både anvendes til kontrol af trækassens dimensioner og volumen (bilag G) og til at sammenligne resultaterne af volumenberegningen med de andre gridstørrelser.

Beregninger for scanningstider for Cyrax 2500 (1000 pkt./sek.) af et objekt på 3 x 10 m ses på figur 6.5.

Gridstørrelse	Antal punkter i bredde og længde	Antal punkter i alt	Tidsforbrug
5 cm	60 x 200	12.000	12 sek.
2,5 cm	120 x 400	48.000	48 sek.
1 cm	300 x 1000	300.000	5 min.
2 mm	1500 x 5000	7.500.000	125 min

Figur 6.5: Scanningstider for Cyrax 2500.

Projektgruppen har valgt de samme gridstørrelser til forsøgene med trækassen, da overkanten på trækassen har samme bredde (5 cm), som overkanten på en lastbils lad. Netop dette forhold er afgørende for genkendelse rammen, som senere vil blive behandlet i kapitel 9 - Rammegenkendelse.

6.1.3 Scanningssituationer

Projektgruppen havde på forhånd planlagt, hvilke - og hvordan scanningerne skulle foretages. Nedenfor ses, hvilke typer af situationer der skulle foretages scanninger af:

1. Tom kasse
2. Skrabet i overkant
3. Med top, samme mængde som situation 2
4. Med to toppe, samme mængde som situation 2
5. Samme mængde som situation 2 minus en spand (ca. 10 liter)
6. Samme mængde som situation 2 minus to spande (ca. 20 liter)
7. Samme mængde som situation 2 minus tre spande (ca. 30 liter)

Ad 1. Scanninger af den tomme kasse skal bruges som initialscanning – dvs. den måling, der skal bruges til at kontrollere kassen.

Ad 2. Den skrabe situation skal anvendes til at finde ud af, hvor mange kubikmeter der er i trækassen, når den er fyldt. Stemmer det overens med beregninger ud fra dimensionerne?

Ad 3. Situationen med top og samme fyld, som situation 2, er med, fordi det kunne være interessant at se, om volumenberegningen får samme resultat som situation 2. Denne situation minder om, hvordan sandet naturligt vil lægge sig i kassen, når det læsses.

Ad 4. Situationen med de to toppe i hver ende vil i de fleste tilfælde se således ud, da gummigeden læsser sand foran i laddet og bag i laddet på lastbilen.

Ad 5 -7. Disse scanninger foretages for at finde ud, hvor tæt den beregnede volumenberegning kommer på henholdsvis 260, 250 og 240 l. De 30 liter som fjernes i den sidste situation svarer til de 10 % projektgruppen fastsatte som den gennemsnitlige usikkerhed pr. læs (2 m³ af 20 m³) jf. kapitel 2 – Problemområde.

6.2 Udførelse

På baggrund af de ovenstående og indledende forberedelser kunne scanningerne foretages. For at kunne definere, hvilket område scanneren skal scanne, er det nødvendigt først at tage et billede med et kamera indbygget i scanneren, hvor hele objektet er med – se figur 6.6.



Figur 6.6: Foto af trækassen fra Cyrax 2500.

Når billedet er taget og hele objektet er med i billedet, defineres i billedet på computerens skærm, hvilket område scanneren skal scanne. I projektgruppens tilfælde blev trækassen defineret som scanningsområdet. Her viste det sig, at der opstod lidt problemer, når scanningen blev sat i gang, da selve scanningen blev foretaget et andet sted end det definerede scanningsområde. Projektgruppen mener det skyldes to ting. For det første er kameraets og scannerens sigtelinie ikke er sammenfaldende i objektet på især korte afstande. Der vil derfor være en parallelaksefejl [Cyclone manual, 2002, s. 28]. For det andet flytter spejlene i scanneren sig af-

hængigt af den valgte afstand, hvilket influerer på den vinkel, laserstrålen kommer ud på.

Projektgruppen løste problemet ved at vælge den afstand til trækassen, som scanneren selv kan måle, og finjustere kassens placering, så hele kassen kom med i scanningen. Grunden til at der måtte finjusteres, var at scanneren ikke kunne komme højere op i lokalet. Da projektgruppen havde fået styr på, hvor kassen skulle stå, blev dennes placering på gulvet afmærket med tape, således at blev det nødvendigt at flytte kassen efter brug, og skulle der suppleres med flere scanninger, var der muligheder for at genplacere af kassen. Herefter kunne projektgruppen vælge de valgte gridstørrelser og scanningerne kunne udføres.

Efter planen blev der først foretaget scanninger med de forskellige gridstørrelser af den tomme trækasse. Dernæst fyldte projektgruppen trækassen helt op med sand, og med et bræt blev det overskydende skrabet af, så sandet var fuldstændigt plant med overkanten af trækassen - se figur 6.7.



Figur 6.7: Trækassen, hvor sandet er skrabet af.

Efter scanninger af denne situation, blev der af den samme mængde sand (270 l.) lavet en anden situation, hvor sandet fra kanterne blev skrapt ind til midten - se figur 6.8.



Figur 6.8: Scanning af situation 3.

Dernæst lavede projektgruppen af stadig samme mængde sand som situation 2 en situation, hvor der var to toppe i hver ende af kassen - se figur 6.9.



Figur 6.9: Scanning af situation 4.

Herefter blev der fjernet 10 liter sand fra trækassen ved at fylde sand op til 10 liter mærket i en spand – se figur 6.10, og en ny scanning blev foretaget.



Figur 6.10: Spand med 10 liter sand.

Det samme blev gjort to gange mere, således projektgruppen havde scanninger af trækassen, hvor der i alt var flyttet tre spande med sand ca. 30 liter fra trækassen.

Alle scanningerne forløb over en dag og foregik problemfrit. Projektgruppen havde på forhånd forberedt et skema, hvorpå det fremgik, hvilke scanninger der skulle foretages og med hvilke gridstørrelser. I bilag E ses skemaet for gennemførelsen af scanningerne. Resultatet består af ascii-filer, som er eksporteret fra det medfølgende software Cyclone og som bl.a. indeholder et koordinatsæt (X,Y,Z) for hvert punkt, der er målt – se figur 6.11. En nærmere forklaring af indholdet af ascii-filen kommer senere i kapitel 9 - Rammegenkendelse. Filerne findes på bilagscd'en i mappen "koordinatfiler fra scanninger".

```

-0.037784 0.000849 -2.552201 -349 40 28 27
-1.016718 -0.463603 -2.933681 -179 90 77 68
-1.026270 -0.463544 -2.928795 -131 91 78 72
-1.027354 -0.339023 -2.930423 -154 124 123 100
-1.028422 -0.373411 -2.933653 -180 188 194 157
-1.028182 -0.441410 -2.933849 -185 103 90 85
-1.029869 -0.453549 -2.938545 -170 96 82 77
-1.018399 -0.453045 -2.938178 -160 96 83 75
-1.007611 -0.384359 -2.939228 -194 92 81 69
-1.003619 -0.462218 -2.928926 -78 92 80 67
-1.004966 -0.451567 -2.932572 -132 92 79 69
-1.015849 -0.440453 -2.931008 -189 93 80 73
-1.004131 -0.439710 -2.930120 -193 92 79 70
-1.025597 -0.417800 -2.926523 -193 93 80 72
-1.016850 -0.418195 -2.933610 -205 91 78 70
-1.028070 -0.429974 -2.933428 -142 106 93 85
-1.016370 -0.429464 -2.932349 -173 96 83 76
-1.005223 -0.429002 -2.933049 -185 94 81 72
-1.029554 -0.407853 -2.937165 -198 89 77 66
-1.003931 -0.416998 -2.929311 -183 94 81 72
-1.016479 -0.395365 -2.932397 -182 100 90 70
-1.027396 -0.395810 -2.931109 -180 112 103 79
-1.027396 -0.395810 -2.926712 -194 97 83 74
-1.027396 -0.395810 -2.930287 -195 95 82 72
-1.027396 -0.395810 -2.93487 -190 94 82 71
-1.027396 -0.395810 -2.931109 -180 177 175 144

```

Figur 6.11: Viser udsnit af en ascii-fil, som den ser ud efter den er eksporteret fra Cyclone.

7 Volumenberegning

Efter scanningerne er foretaget og ascii-filerne er eksporteret fra Cyclone, er næste skridt at finde en metode til at beregne volumen af sandet i trækassen, og derfor beskrives forskellige metoder til at beregne volumen i dette kapitel.

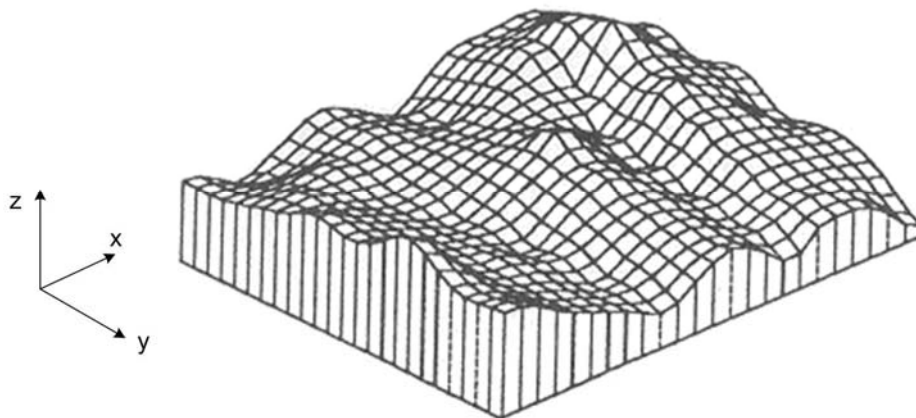
Inden projektgruppen kan beskrive metoder til volumenberegning, er det nødvendigt at bestemme, hvordan overfladen af sandet skal beskrives, da der eksisterer forskellige metoder til volumenberegning alt afhængig af, hvilken overfladebeskrivelse, der vælges. Der findes to overordnede metoder til overfladebeskrivelse:

- Struktureret
- Ustruktureret

Projektgruppen har fra scanningerne allerede fået foræret et struktureret net, da laserscanneren måler i et grid, hvor afstandene mellem de målte punkter stort set er ens. Af den grund vil projektgruppen kun beskæftige sig med volumenberegningensmetoderne vedrørende strukturerede net. For yderligere informationer om strukturerede – og ustrukturerede net se appendiks B.

7.1 Volumenberegningensmetoder for strukturerede trådnetmodeller

Udgangspunktet for de metoder projektgruppen vil beskrive i dette afsnit er, at der ved brug af laserscanneren er dannet et grid, hvorved overfladen eksempelvis vil se ud som på figur 7.1.



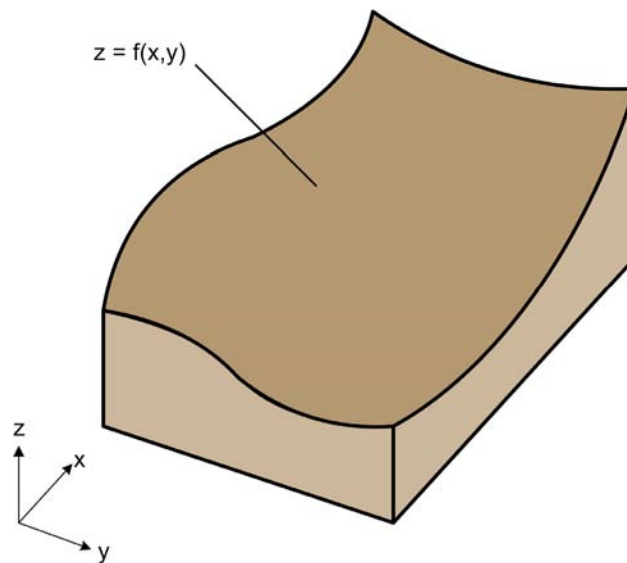
Figur 7.1: Viser et eksempel, som ser ud som projektgruppens modellering af sandets overflade i 3D [Balstrøm, 1997, s. 89].

Modelleringsmetoden, som fremgår af figur 7.1, giver mulighed for at beregne volumenet under overfladen på forskellige måder afhængigt af, hvor godt volumen ønskes bestemt. Den overordnede og mest nøjagtige metode er integration. Kan en ringere nøjagtighed af volumenbestemmelsen accepteres, kan metoden simplificeres. I dette kapitel er følgende metoder beskrevet:

- Dobbeltintegralregning
- Prismer
- Anden simplificeret approksimation

7.1.1 Dobbeltintegralregning

Beregning af volumen under en given overflade, som f.eks. på figur 7.1, beregnes ved et dobbeltintegral. På figur 7.2 ses, hvorledes overfladen er beskrevet ved en given funktion. Funktionen vil gennemløbe samtlige punkter på overfladen.



Figur 7.2: Viser en dobbeltkrum overflade som en funktion i 3D.

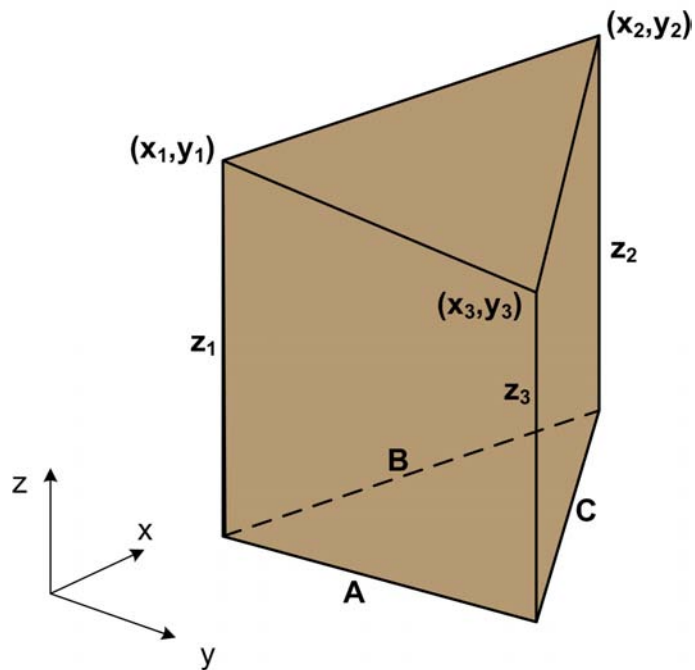
Først integreres funktionen for overfladen med hensyn til X, hvorefter der integreres med hensyn til Y. Formlen ser ud som følger:

$$V = \int_{X_{\min}}^{X_{\max}} \int_{Y_{\min}}^{Y_{\max}} f(x, y) dx dy$$

At beregne funktionen for overfladen, kan imidlertid være en tung regneproses, da der skal findes en funktion, der gennemløber samtlige knudepunkter. Dette vil være meget tidskrævende, og det kan derfor overvejes, om der skal benyttes en anden metode, hvor overfladen er beskrevet på en anden måde.

7.1.2 Prismer

En anden metode, som er en mere simpel beregningsmetode end dobbeltintegralregning, er at forbinde overfladens knudepunkter i trekanter. Derved kommer overfladen til at bestå af sammensatte trekanter og volumen under hver trekant beregnes som volumen af et prisme. Resultatet af denne beregning bliver ikke lige så nøjagtig som ved anvendelse af dobbeltintegralregning da metoden som før omtalt er en simplificering. Ved anvendelse af denne metode, hvor hver søjle opdeles i to prismer, beregnes volumen som beskrevet under figur 7.3.



Figur 7.3: Viser et prisme i 3D.

Længderne af trekantens sidestykker betegnes i det følgende A, B og C – se figur 7.3. Volumen af et prisme beregnes efter følgende formel:

$$V = \sqrt{S(S-A) \cdot (S-B) \cdot (S-C)} \cdot \frac{(z_1 + z_2 + z_3)}{3},$$

hvor

$$S = \frac{1}{2}(A+B+C)$$

z_1, z_2 og z_3 er højderne i forhold til referenceplanet (bunden)

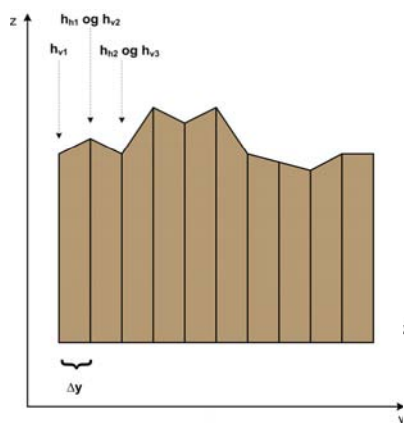
Det samlede volumen findes ved at summere de enkelte prismers volumener.

I projektgruppens tilfælde vil det være et problem at anvende denne metode, fordi det grid, som er dannet af laserscanneren, ikke er helt regulært, da hvert punkt kan have en punktfejl på ± 6 mm, hvilket medfører en risiko for, at der kan dannes trekanter med meget spidse - og stumme vinkler i griddet. Skal beregningerne foregå hurtigt, vil det være bedst, hvis ikke det er nødvendigt at skulle beregne A, B og C i hver af trekanterne. Derfor ville det være smart at gøre griddet regulært ved at

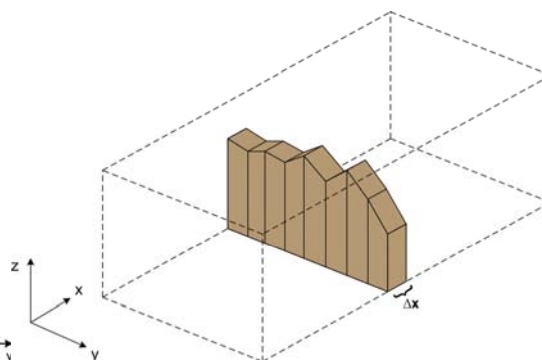
beregne middelfstanden mellem punkterne (ΔX og ΔY), hvilket vil spare computerregnekraft og dermed tid. Men hvis afstandene imellem punkterne er ens, er det omsonst at opdele de nu rektangulære søjler i to prismer, da det vil være hurtigere og nemmere bare at beregne volumen af en den rektangulære søjle. Derfor ses nærmere på en metode, hvor volumen bestemmes ud fra et regulært grid.

7.1.3 Anden simplificeret approksimation

En tredje og en langt mere simpel volumenberegningemetode – Trapezoidal approksimation – foregår ved at punkterne forbindes med rette linier i y retning, således der dannes en zigzagkurve – se figur 7.4. I 3D bliver overfladen for hver søjle et plan – se figur 7.5.



Figur 7.4: Viser at højden for h-højre1 og h-venstre2 er den samme



Figur 7.5: Viser tværsnit (en "skive") i en rumlig kasse, hvor sidestykkerne til søjlerne er formet som trapezer.

Et tværsnit (en "skive"), som vist på figur 7.5, viser en overflade som zigzagplaner, hvor højden er kendt for hvert snit. Intervallet mellem knudepunkterne er det samme på tværs og på langs – altså et regulært grid. Situationen er meget nær lignende den trækasse med sand, som projektgruppen vil beregne volumen af.

I hvert trapez findes to højder h_{v1} og h_{v2} – se figur 7.4.

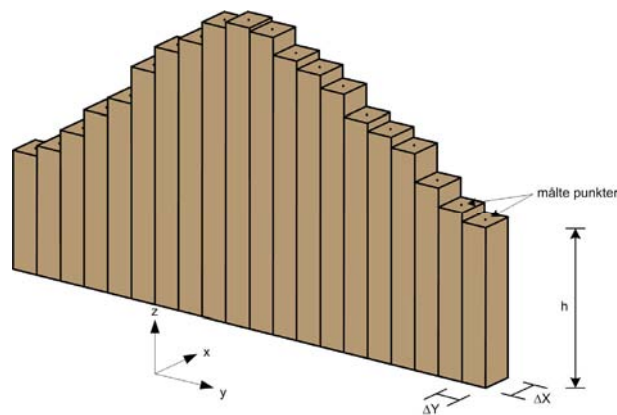
For at gøre det let at regne tages gennemsnittet af de to højder. For hver "skive", se figur 7.5, bliver volumen V da:

$$V = \Delta x \sum \Delta y \cdot \left(\frac{h_{v_i} + h_{h_i}}{2} \right)$$

Da højden h_{h1} og højden h_{v2} er den samme – se figur 7.4, kan udtrykket i parentes forenkles, og volumen for samtlige skiver bliver da:

$$V = \sum \Delta x \cdot \Delta y \cdot \left(\frac{h_{v1}}{2} + h_1 + h_2 + h_3 + \dots + \frac{h_{h\Delta Y+1}}{2} \right)$$

For at undgå at skulle tage gennemsnittet af højderne (yderligere simplificering) kan punkternes beregnede højder fra bunden anvendes, som højde for hver søjle – se figur 7.6.



Figur 7.6: Simplificering af en dobbeltkrum overflade.

Der er vel og mærke tale om en stærk simplificering af den korrekte og mest nøjagtige metode at foretage volumenberegning på, men ikke desto mindre er det en metode, som kan retfærdiggøres. Det kan den ud fra den betragtning, at en simplificering af overfladen – i form af rette flader parallelt med bundens flade – får så lille en indflydelse på nøjagtigheden, da griddet, der måles i, er så lille, at det ikke betyder noget nævneværdigt i betragtning af, hvilken nøjagtighed der søges, da overfladens rette flader bliver så små, at de næsten er sammenfaldende med den korrekte kurve for overfladen. Det skal dog nævnes, at jo større grid, des ringere bliver nøjagtigheden selvfølgelig. Formlen for denne simplificerede approksimation ser således ud:

$$V = \sum (\Delta x \cdot \Delta y \cdot h_i)$$

7.2 Valg af volumenberegningemetode

Som tidligere nævnt er projektgruppen interesseret i at finde en metode, som er hurtig og nøjagtig. Ud fra dette synspunkt finder projektgruppen det mest brugbart at anvende den sidste af de beskrevne metoder, som er en simplificering af den korrekte approksimationsmetode. Denne metode vælges, fordi den er hurtig, og fordi det er en forholdsvis nem operation, og behovet for computerregnekraft er ikke særlig voldsomt – efter nutidens målestok. Projektgruppen anser denne metode væsentlig hurtigere end anvendelse af integralregning, da det er et betydeligt antal punkter på overfladen, der skal dannes en funktion ud fra og dermed et tungt regnestykke, som kræves ved anvendelse af integralregning. Med hensyn til nøjagtigheden ved valg af den sidst beskrevne metode anser projektgruppen det ikke som en væsentlig forringelse af nøjagtigheden, da de forholdsvis små gridstørrelser, der arbejdes med, ikke forringer approksimationerne for hver søjle i en sådan grad, at det vil resultere i en væsentlig dårligere nøjagtighed. Metoden er anvendelig, fordi sandet i trækassen lægger sig i en "pæn" blød bue og ikke i stejle skrånninger. Stejle skrånninger vil betyde en grovere approksimation.

7.3 Volumenbestemmelsens nøjagtighed

Det er nu muligt at bestemme, med hvilken nøjagtighed projektgruppen kan bestemme volumen af sandet i trækassen ud fra den valgte metode. Med udgangspunkt i at den samlede volumen af sandet er summen af volumen af alle søjlerne:

$$V = v_1 + v_2 + \dots + v_n$$

Ved at anvende den simple fejlforplantningslov på ovenstående udtryk kan nøjagtigheden for volumen bestemmes ud fra følgende formel:

$$\sigma_V^2 = 1^2 \cdot \sigma_{v_1}^2 + 1^2 \cdot \sigma_{v_2}^2 + \dots + 1^2 \cdot \sigma_{v_n}^2$$

⇓

$$\sigma_V^2 = n \cdot \sigma_{v_i}^2$$

⇓

$$\sigma_v = \sqrt{n} \cdot \sigma_{v_i}$$

hvor

n er antallet af søjler

σ_{v_i} er spredningen for volumen af hver enkelt søjle og beregnes ud fra følgende udtryk:

$$V_i = \Delta x \cdot \Delta y \cdot h_i$$

For at beregne spredningen for ovenstående udtryk anvendes atter den simple fejlforplantningslov på udtrykket:

$$\sigma_{v_i}^2 = (\Delta x \cdot \Delta y)^2 \cdot \sigma_{h_i}^2$$

⇓

$$\sigma_{v_i} = \sqrt{(\Delta x \cdot \Delta y)^2 \cdot \sigma_{h_i}^2}$$

hvor

$$\sigma_{h_i} = \sigma_p \text{ som er 6 mm for Cyrax 2500 (Appendiks A)}$$

For at beregne hvor meget det betyder i projektgruppens tilfælde udregnes et eksempel, hvor der tages udgangspunkt i 1 cm scanningerne.

$$\sigma_{v_i} = \sqrt{(10 \cdot 10)^2 \cdot 6^2}$$

⇓

$$\sigma_{v_i} = 600 \text{ mm}^3$$

Efter udregningen af spredningen for volumen af hver søjle kan spredningen på det samlede volumen udregnes. I dette beregnings eksempel med 1 cm scanningen er $n = 9000$.

$$\sigma_v = \sqrt{n} \cdot \sigma_{v_i}$$

⇓

$$\sigma_v = \sqrt{9000} \cdot 600$$

⇓

$$\sigma_v = 56921 \text{ mm}^3$$

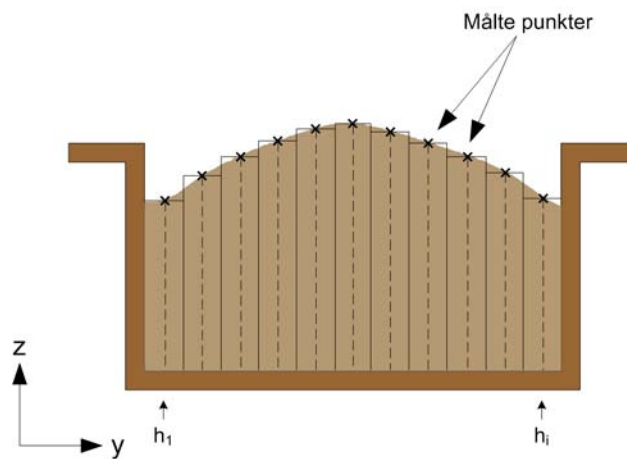
Nøjagtigheden for volumenberegningen kan altså forventes at være 0,057 l, hvilket svar til 0,02 %.

8 Rammegenkendelse

I dette kapitel beskrives projektgruppens overvejelser angående genkendelse af rammen på kassen. Først beskrives vigtigheden i at kunne genkende rammen i scanningerne af kassen med sand, hvorefter projektgruppen, med udgangspunkt i indholdet af de eksporterede ascii-filer fra Cyclone, vil beskrive de to metoder, der kan anvendes til genkendelse af rammen. Til sidst foretages et valg af den metode, som projektgruppen vil implementere i programmet.

8.1 Vigtigheden af genkendelsen

Som udgangspunkt har projektgruppen foretaget nogle scanninger af trækassen med sand i. Ud fra disse scanninger vil projektgruppen have beregnet volumen af sandet i kassen. Projektgruppens scanninger af modelkassen med sand resulterer i en beskrivelse af sandets overflade ud fra x , y og z koordinaterne til de scannede punkter. For at beregne volumen af sandet, er det, som netop beskrevet i kapitel 7 – Volumenberegning, nødvendigt at kende højden h fra bunden af kassen til hvert af punkterne på sandets overflade – se figur 8.1

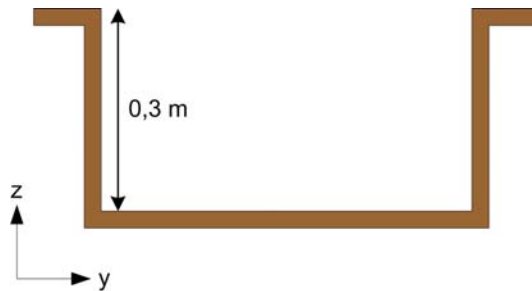


Figur 8.1: Tværsnit af kassen med sand, som viser, at det er nødvendigt at kende højden h til hvert af de målte punkter på sandet.

For at finde højden h må dybden af kassen kendes. Hvis ikke denne kendes på forhånd, er det en mulighed at foretage en fin scanning af kassen uden sand, som projektgruppen har gjort – se evt. kapitel 6 – Testfelt. Projektgruppen har efterføl-

gende modelleret den tomme kasse i Cyclone, hvilket er nærmere beskrevet i bilag G.

Fra modelleringen af den tomme kasse har projektgruppen fået kassens dimensioner og dermed også kassens dybde, som måles fra rammen på kassen til bunden af kassen – se figur 8.2.



Figur 8.2: Viser et tværsnit af den tomme kasse med dybdemål, som er projektgruppens udgangspunkt.

Da kassens dybde måles fra rammen på kassen til bunden af kassen, er det i scanningen af kassen med sand nødvendigt at identificere de punkter, som er beliggende på kassens ramme.

Projektgruppen kunne have placeret målemærker på rammens fire hjørner og anvende disse som sammenligningsgrundlag mellem scanningen af den tomme kasse og scanningerne af kassen med sand. Målemærkernes gode refleksionsevne ville resultere i en høj intensitet, og dermed vil punkterne med høj intensitet kunne vælges ud blandt scanningsdataene. Herefter vil de punkter med z-værdier omkring hjørnepunkternes z-værdier kunne udvælges og dermed få genkendt rammen på kassen. Projektgruppen valgte ikke at placere målemærker på rammen af kassen, da projektgruppen gerne vil minimere evt. forudsætninger, som skal være opfyldt, for at systemet fungerer. Systemet ville da være alt for afhængig af målemærkerne, hvilket projektgruppen ikke finder hensigtsmæssigt i forbindelse med en evt. implementering af systemet i erhvervslivet.

8.2 Indhold af ascii-fil fra Cyclone

For at beskrive mulige metoder til genkendelse af rammen, er det nødvendigt at undersøge, hvad projektgruppen har at arbejde videre med efter scanningen, og derfor må projektgruppen, som det første, undersøge indholdet og opbygningen af de filer, som kan eksporteres fra Cyclone. Projektgruppen vil i denne forbindelse ikke beskrive indholdet og opbygningen af alle outputfilerne fra Cyclone, men nøjes med at beskrive den outputtype (*.pts), som projektgruppen har valgt at anvende. På figur 8.3 ses et udsnit af "1cm_270.pts", som er outputfilen fra 1 cm scanningen af kassen med 270 liter sand. Filen findes på i mappen "1 top 270 liter" i mappen "Koordinatfiler fra scanninger" på bilagscd'en.

X	Y	Z	Multihue intensity	R	G	B
-0.037784	0.000849	-2.552201	-349	40	28	27
-1.016718	-0.463603	-2.933681	-179	90	77	68
-1.026270	-0.463544	-2.928795	-131	91	78	72
-1.027354	-0.339023	-2.930423	-154	124	123	100
-1.028422	-0.373411	-2.933653	-180	188	194	157
-1.028182	-0.441410	-2.933849	-185	103	90	85
-1.029869	-0.453549	-2.938545	-170	96	82	77
-1.018399	-0.453045	-2.938178	-160	96	83	75
-1.007611	-0.384359	-2.939228	-194	92	81	69
-1.003619	-0.462218	-2.928926	-78	92	80	67
-1.004966	-0.451567	-2.932572	-132	92	79	69
-1.015849	-0.440453	-2.931008	-189	93	80	73

Figur 8.3: Viser et eksempel på projektgruppens anvendte outputfiltype *.pts.

Kolonne 1-3

Hver række i figur 8.3 repræsenterer et målt punkt. De første tre kolonner er henholdsvis x, y og z koordinaten.

Kolonne 4

Kolonne fire er "multihue intensity", som ifølge korrespondance med Per Paag fra Leica Geosystems (se bilag I) burde have en værdi mellem 0 og 255, hvilket projektgruppen ikke kan få til at passe, da stort set alle værdierne i kolonne fire er

negative (se evt. de rå datafiler på bilagscd'en). Derudover angives intensiteten normalt med en værdi mellem 0 og 1. Kolonne fire anvendes ikke i det videre forløb, og derfor har projektgruppen valgt ikke at beskæftige sig mere med kolonne fire.

Kolonne 5-7

Kolonne fem til syv er farveinformationer taget fra det billede, som anvendes til at definere scanningsområdet. Farveinformationerne har en værdi mellem 0 og 255 og er angivet i de tre farvekanaler RGB (Red, Green, Blue), hvor R er kolonne fem, G er kolonne seks og B er kolonne syv. Farvekanalerne kan anvendes til at beregne et udtryk for intensiteten (ikke at forveksle med værdierne i kolonne fire) ved at tage gennemsnittet af de tre kanaler og dividere med 255, hvilket som tidligere nævnt giver en værdi mellem 0 og 1.

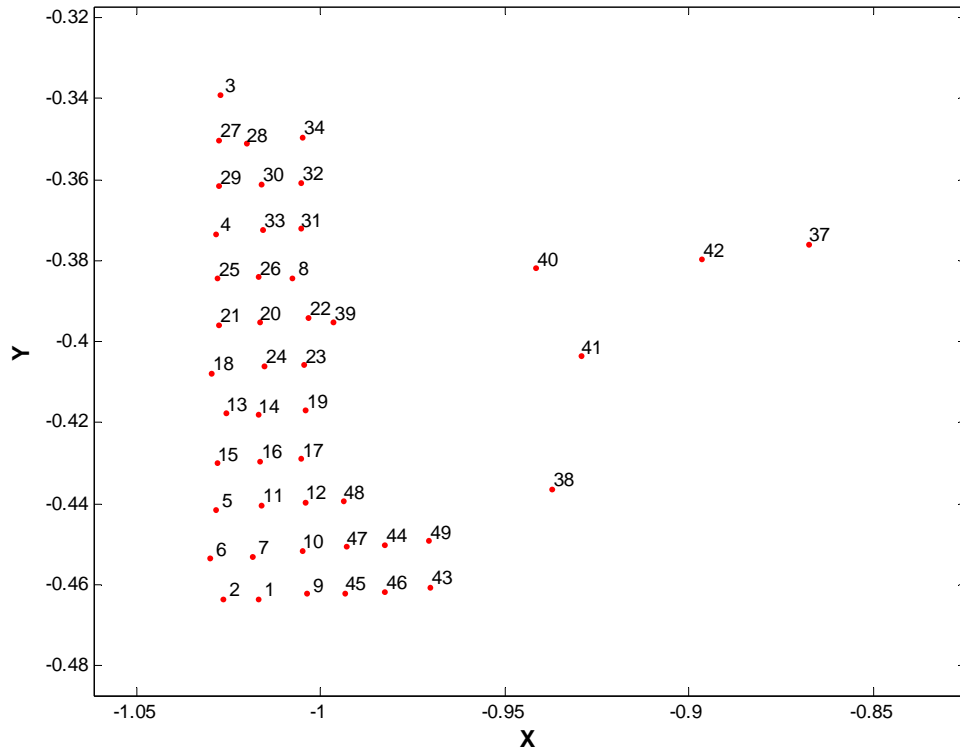
Efter beskrivelsen af indholdet af ascii-filerne fra Cyclone ser projektgruppen to muligheder til genkendelse af rammen af kassen, hvor den ene mulighed er at se på forskellen i punkternes z koordinat og den anden er at beregne punkternes intensitet, som beskrevet ovenfor, og anvende forskellen af disse. Mulighederne beskrives nærmere i afsnit 8.4 i dette kapitel.

For at det overhovedet er muligt at anvende forskellen enten imellem punkternes z koordinat eller intensitet, er det en forudsætning at punkterne er placeret i ascii-filen i samme rækkefølge, som de er scannet. Til stor overraskelse opdagede projektgruppen at punkterne i ascii-filen ikke står i samme rækkefølge, som de er scannet, hvilket projektgruppen finder meget mærkeligt. Af den grund var det nødvendigt at foretage en sortering af punkterne, hvilket kort beskrives i følgende afsnit.

8.3 Sortering af data

Som tidligere nævnt fandt projektgruppen punkternes placering i ascii-filen meget mærkeligt, og projektgruppen sendte derfor endnu en gang spørgsmålet videre til Per Paag fra Leica Geosystems, men har desværre ikke fået noget svar. Figur 8.4 er

et plot fra Matlab, der viser at punkternes placering i ascii-filen er noget nær tilfældig.



Figur 8.4: Viser et plot af de 50 første punkter beliggende omkring kassens nederste venstre hjørne. Plottet viser at selvom punkterne scannes kolonnevist, sorteres de ikke herefter i ascii-filen.

Projektgruppen har foretaget sorteringen af punkterne i Matlab ved at projicere punkterne ned på et underliggende plan, for bedre at kunne adskille punkterne. Efter projektionen er punkterne først sorteret efter x koordinaterne, således at den mindste kommer først og den største til sidst. Dernæst er punkterne sorteret efter y koordinaterne, igen således at den mindste kommer først og den største til sidst. Sorteringen er nærmere beskrevet i Bilag F.

8.4 Metoder til rammegenkendelse

Efter sorteringen af dataene har placeret punkterne, som de er scannet, beskrives de forskellige idéer, som projektgruppen har haft til overvejelse angående genkendelse af rammen på kassen. Som tidligere nævnt ser projektgruppen, ud fra beskri-

velsen af indholdet af ascii-filerne, to muligheder, som kan anvendes til genkendelse af rammen af kassen:

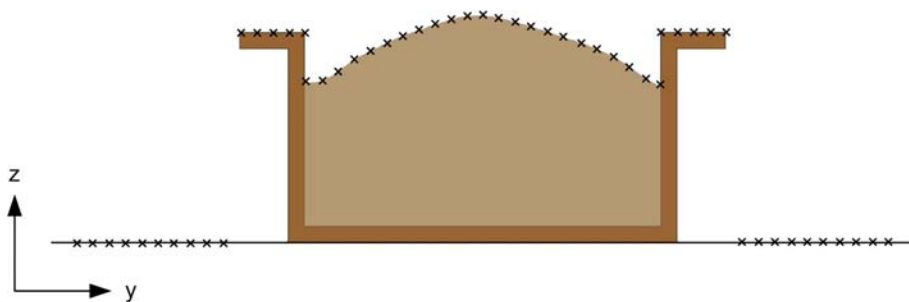
- Forskel i z
- Intensitet

I det følgende vil metoderne blive beskrevet hver for sig. Metoderne har ét fælles mål, nemlig at få placeret punkterne i de tre kategorier: gulv, ramme og sand. Efter beskrivelsen foretages et valg af den metode, som projektgruppen vil implementere i programmeringen.

I hver beskrivelse har projektgruppen taget udgangspunkt i 1 cm scanningerne, og at disse er fejlfrie. Derfor er de følgende to afsnit teoretiske og baseret på idealtilfælde. I næste kapitel, hvor teorien skal implementeres i programmet, vil projektgruppen se på, hvordan scanningerne i virkeligheden ser ud og deraf foretage eventuelle nødvendige ændringer i måden, hvorpå rammen genkendes.

8.4.1 Forskel i z

Den første metode går ud på at se på forskellen mellem punkternes z-værdi. Ved at gennemløbe hver af de scannede kolonner punkt for punkt og vha. af punkternes z-værdi undersøges, hvilke punkter der skal placeres i hvilken kategori, menes det at metoden burde virke. Figur 8.5 er udarbejdet, for at anskueliggøre teorien bag anvendelsen af forskellen i punkternes z-værdier.



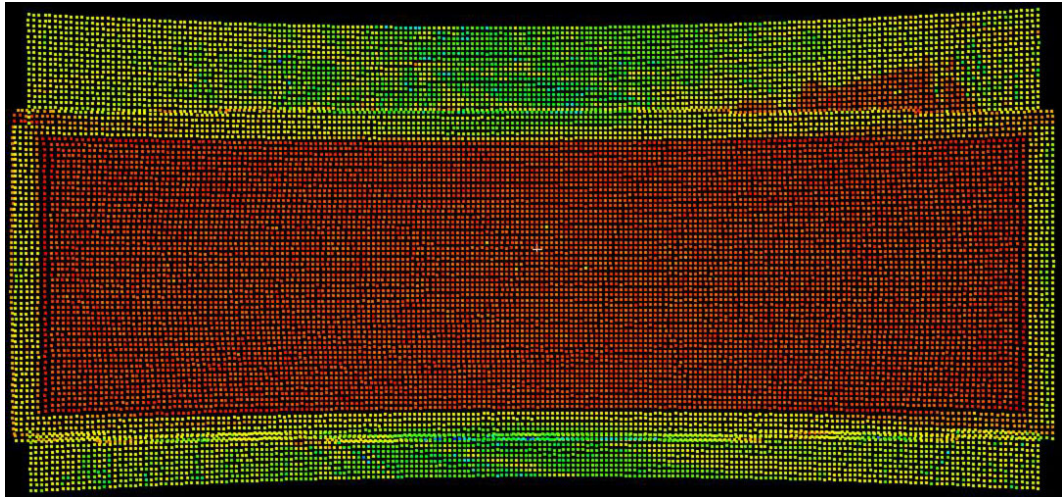
Figur 8.5: Viser en idealtværprofil, som projektgruppens teori omkring forskellen i punkternes z-værdier udspringer fra.

Som det fremgår af figur 8.5, vil punkterne på gulvet/jorden have nogenlunde samme z-værdi, hvorved disse kan udvælges og overføres til kategorien "gulv".

Det fremgår ligeledes af figur 8.5, at punkterne på rammen også vil have nogenlunde samme z-værdi, hvorved disse kan udvælges og overføres til kategorien "ramme". Punkterne imellem rammepunkterne overføres til kategorien "sand", og derved er alle punkterne fordelt i de tre kategorier.

8.4.2 Intensitet

Den anden metode går ud på at se på forskellen i punkternes intensitet. I Cyclone er der mulighed for at lave et "intensity map" af hver scanning, og denne funktion har projektgruppen benyttet sig af, for at få et overblik over forskellen i punkternes intensitet. Figur 8.6 viser et eksempel på et sådan "intensity map".



Figur 8.6: Viser et "intensity map" lavet i Cyclone af scanningen med 1 cm grid og 270 liter sand.

Som det fremgår af figur 8.6, markerer sandets røde farve tydeligt grænsen mellem rammen på kassen og sandet. Det vil altså være muligt at finde ud af, indenfor hvilket interval intensiteten for de forskellige punkter befinder sig og deraf sortere punkterne i de tre kategorier.

8.5 Valg af metode til rammegenkendelse

Ud fra ovenstående har projektgruppen valgt at anvende begge metoder til at sortere punkterne i de tre kategorier, da det ikke er hensigtsmæssigt, når nu de indsamlede data giver mulighed herfor, ikke at gøre brug af de metoder, der er til

rådighed. Projektgruppen mener, at metoderne kan supplere hinanden, hvorved et bedre resultat evt. opnås. Der kan opstå problemer med at skelne mellem gulvet og rammen ved at se på intensiteten – se figur 8.6, men dette problem kan løses ved også at anvende forskellen i z-værdien mellem punkterne på gulvet og rammen. Omvendt kan der opstå problemer mht. forskellen imellem nogle af punkternes z-værdier, som f.eks. punkter, der af en eller anden årsag, fejlscannes, og derfor ikke hører til nogen af de tre kategorier. Dette problem kan evt. løses ved at se på intensiteten for de pågældende punkter og heraf foretage udvælgelsen.

8.6 Opsamling

Projektgruppen har i kapitel 7 fundet frem til, hvordan volumenberegningen skal foretages. I dette kapitel har projektgruppen fået sorteret dataene, så de står i samme rækkefølge i ascii-filen, som de er scannet og fundet frem til at anvende både forskellen imellem punkternes z-værdier og deres intensitetsværdier. Dermed er grundlaget for programmeringen på plads og projektgruppen kan gå i gang med at implementere de netop nævnte metoder. Udviklingen af programmet beskrives i næste kapitel.

9 Programudvikling

I dette kapitel beskrives udviklingen af det program, som automatisk skal beregne volumen ud fra de data, der produceres ved scanningen af trækassen med sand. Som det første beskrives nogle af projektgruppens overvejelser angående programmet og herefter lidt om valget af den programmeringsplatform, som projektgruppen har valgt at udvikle programmet i. Efter disse indledende afsnit beskrives opbygningen og funktionerne i programmet.

9.1 Programbeskrivelse

Projektgruppens første tanker angående programmet var, at det udover at beregne volumen af sandet ud fra scanningsdataene, også skulle kunne styre laserscanneren på samme måde som softwaren Cyclone. At udvikle et sådant program, ville selvfølgelig være det optimale, men dette ville kræve en fortolkning af kommunikationen mellem scanneren og Cyclone, hvilket projektgruppen ikke er interesseret i. Derudover er Cyclone med i prisen for Cyrax 2500, og da programmet, efter projektgruppens vurdering, fungerer fuldt tilfredsstillende, er der ingen grund til at bruge tid på at udvikle et program, som også kan styre laserscanneren. Projektgruppen vil derfor kun koncentrere sig om at udvikle et program, som kan identificere punkterne på henholdsvis kassens ramme og på sandet.

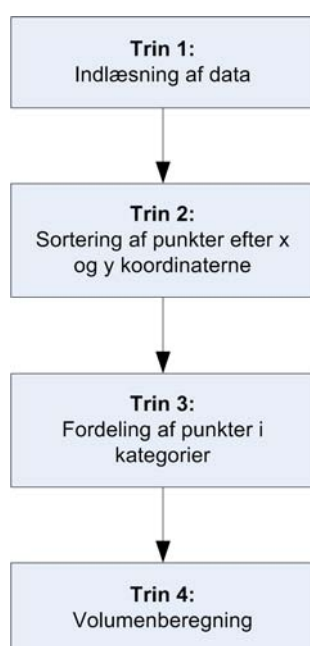
9.2 Programmeringsplatform

For at kunne udvikle et program, som dét ovenfor beskrevet, skal der bruges en programmeringsplatform, som er et program, der anvendes til at udvikle andre programmer. Der findes i dag mange forskellige programmeringsplatforme, der er opbygget omkring forskellige programmeringssprog, såsom C++, Visual Basic, Matlab m.fl. Projektgruppen har af disse valgt at anvende Matlab, da det er det programmeringssprog, projektgruppen har størst kendskab til. Projektgruppen har på tidligere semestre anvendt Matlab til udarbejdelse af mindre scripts, og derudover har to af projektgruppens medlemmer på 8. semester udviklet et program i Matlab. En anden grund til at valget faldt på Matlab er, at projektgruppens vejle-

dere har indgående kendskab til programmet, hvilket giver rig mulighed for at søge hjælp og inspiration den vej.

9.3 Opbygning og indhold af program

Programmet er opbygget i fire trin og beskrivelsen af programmets indhold er struktureret efter disse fire trin, som ses i figur 9.1.



Figur 9.1: Viser de fire trin i programmet.

Herefter følger et afsnit for hvert trin, hvor projektgruppen vil beskrive, hvordan denne har valgt at gennemføre programmeringen og hvilke overvejelser, der ligger til grund herfor. Projektgruppen er i beskrivelsen af programmet ikke gået i dybden med selve kodningen af programmet, så for at se, hvordan programmet er kodet i Matlab henvises til bilagscd'en, hvor programmet er placeret i mappen "program".

9.3.1 Trin 1 – Indlæsning af data

Som det første trin indlæses dataene, hvilket foregår ved at indlæse den pågældende scannings ascii-fil og indsætte dataene herfra i en A-matrice. Projektgruppen har valgt kun at indsætte punkternes x, y og z koordinaterne, som er de tre

første kolonner i ascii-filen. Som en fjerde kolonne i A indsættes en søjlevektor, der giver hvert punkt et nummer fra 1 til antallet af punkter. Denne nummerering anvendes efter sorteringen til at lokalisere punkternes originale x, y og z koordinater.

9.3.2 Trin 2 – Sortering af punkter efter x og y koordinaterne

Som det andet trin sorteres dataene, hvilket foregår ved at projicere punkterne fra A-matricen ned på et underliggende plan. Jo mindre gridstørrelse den pågældende scanning er foretaget med, jo længere væk skal punkterne projiceres, for at skabe tilpas afstand mellem punkter, så den efterfølgende sortering kan foretages. De projicerede punkter indsættes i en ny B-matrice. Projektionen er mere udførligt beskrevet i bilag F.

Efter projektionen sorteres punkterne i B-matricen efter deres x koordinat. Punkterne indsættes ikke i en ny matrice, men bibeholdes i B-matricen. Herefter sorteres punkterne efter deres y koordinat, men først må punkterne fordeles i de kolonner, som de er scannet i. Dette gøres ved at udnytte, at punkterne i B-matricen er sorteret således, at den mindste x værdi står øverst og den største sidst. Punkterne tilhørende den første scannede kolonne må have nogenlunde samme x værdi, hvilket også må gælde for punkterne tilhørende de andre scannede kolonner. Herved tilknyttes punkterne den kolonne, som de er scannet i, og det er efterfølgende muligt at sortere punkterne i hver kolonne efter deres y koordinat. Sorteringen er mere udførligt beskrevet i bilag F.

Til sidst hentes punkternes originale x, y og z koordinater og unikke punktnumre fra A-matricen ind i en ny C-matrice med en femte kolonne, hvor det fremgår, hvilken kolonne punkterne tilhører.

9.3.3 Trin 3 – Fordeling af punkter i kategorier

Som det tredje trin fordeles punkterne i kategorierne: gulv, ramme, sand og fejl. Punkterne på gulvet har projektgruppen ikke noget at bruge til, og disse overføres derfor som det første til kategorien "gulv". Dette gøres ved at udvælge hvert punkt i C-matricen med en z værdi mellem den mindste z værdi, som må forventes at være et gulvpunkt, og den mindste z værdi plus 0,1 m. Da gulvet omkring kassen

er helt fladt, må det forventes at ingen gulvpunkter ligger over 0,1 m fra den mindste z værdi (da det lokale koordinatsystem i laserscanneren vender som det gør, er alle z -værdierne negative – se appendiks A). De udvalgte punkter overføres til en matrice kaldet gulv, og resten af punkterne overføres til en D -matrice.

Sidst i kapitel 8 – Volumenberegning besluttede projektgruppen både at anvende forskellen imellem punkternes z -værdi og deres intensitetsværdier til at fordele punkterne i kategorier. Teorien omkring anvendelsen af forskellen i z -værdierne er, som beskrevet i kapitel 8 – Volumenberegning, baseret på idealtilfælde (idealtværsprofiler – se figur 8.5). Af den grund har projektgruppen udvalgt nogle enkelte tværsprofiler, for at danne et overblik over, hvilke kriterier, der skal opstilles, for at få punkterne fordelt i kategorier. Projektgruppen er i den forbindelse ikke interesseret i alle tværsprofilerne og vælger i stedet en tværsprofil ud fra hver af de "tværsprofilstyper", som kan forekomme efter frasorteringen af alle gulvpunkterne. Projektgruppen tager udgangspunkt i tre "tværsprofilstyper":

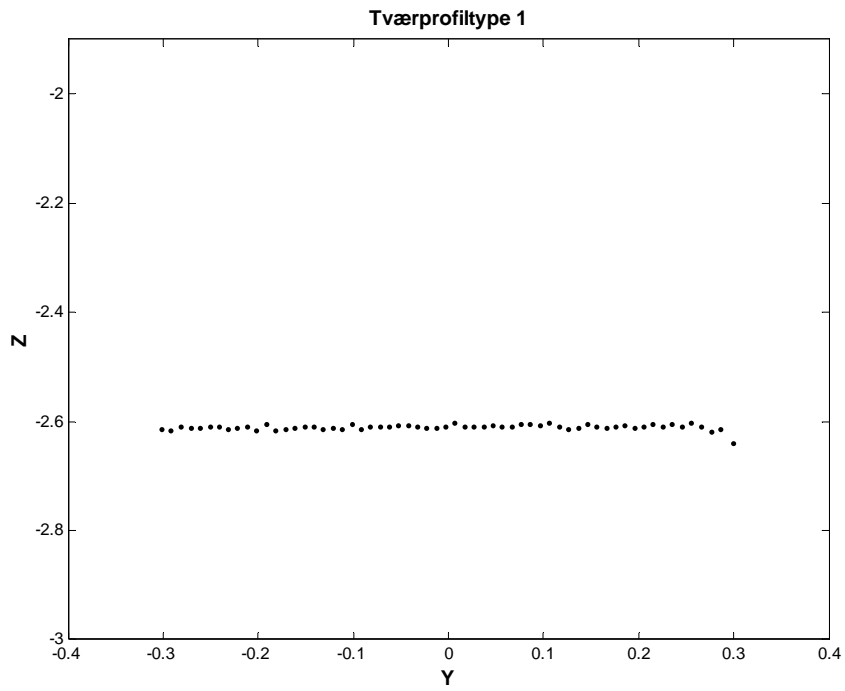
1. Alle punkterne i profilen er beliggende på rammen.
2. De første og sidste punkter i profilen er beliggende på rammen og punkterne derimellem er beliggende på "endekanten".
3. De første og sidste punkter i profilen er beliggende på rammen og punkterne derimellem er beliggende på sandet.

For at tydeliggøre de tre tværsprofiler er disse ligeledes vist på figur 9.2.

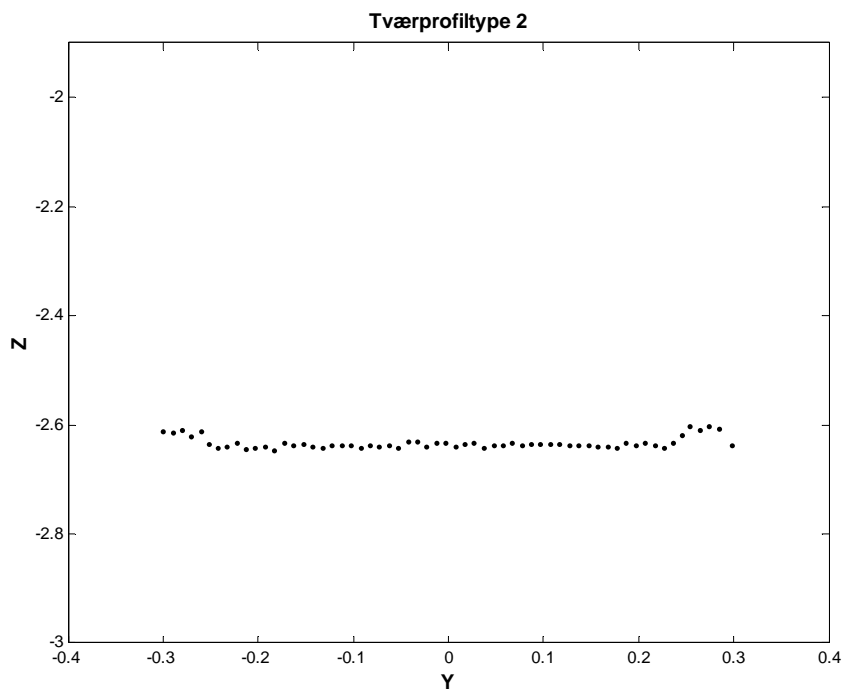


Figur 9.2: Viser de tre forskellige tværprofiltyper på kassens ene ende set oppefra.

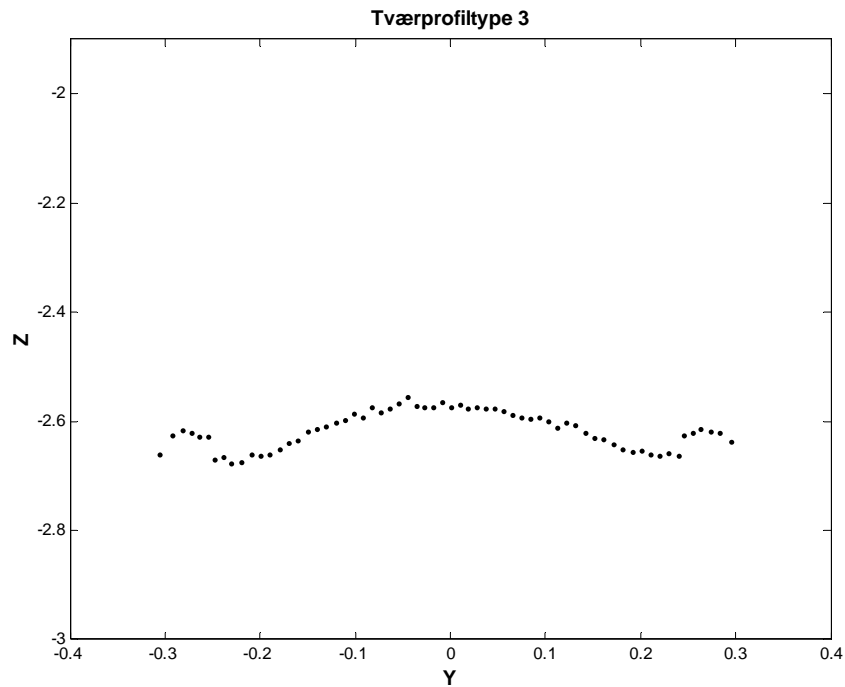
De følgende udvalgte tværprofiler er fra scanningen med 1 cm grid, men illustrerer alligevel de tilfælde, som kan forekomme, om det er 2 mm, 2,5 cm eller 5 cm grid, der arbejdes med. De tre tværprofiltyper er kolonne 3, 7 og 102 plottet i Matlab fra D-matricen og fremgår af figur 9.3, 9.4 og 9.5.



Figur 9.3: Viser et eksempel på tværsprofiltype 1.

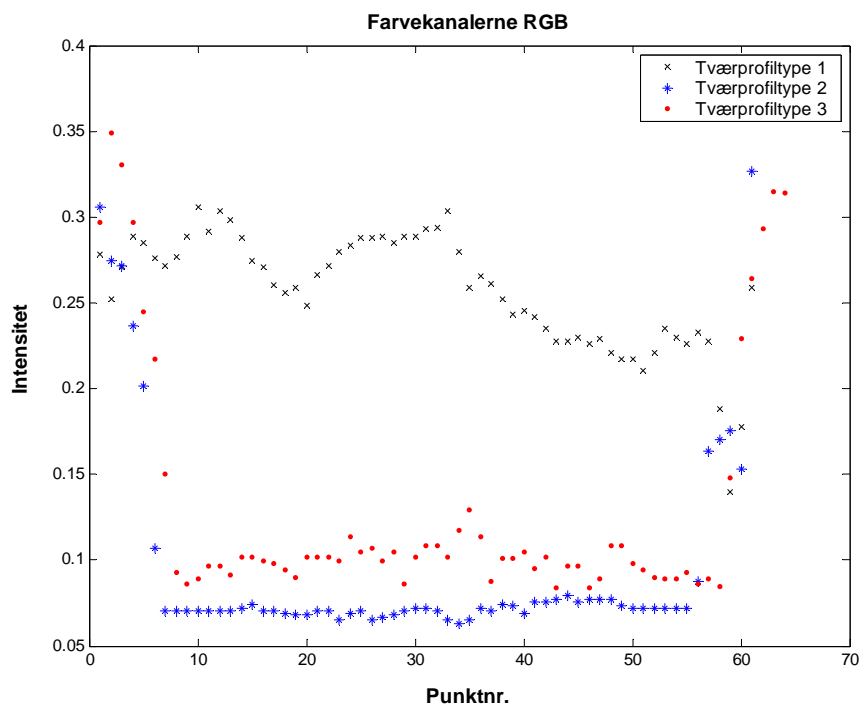


Figur 9.4: Viser et eksempel på tværsprofiltype 2.



Figur 9.5: Viser et eksempel på tværprofiltype 3.

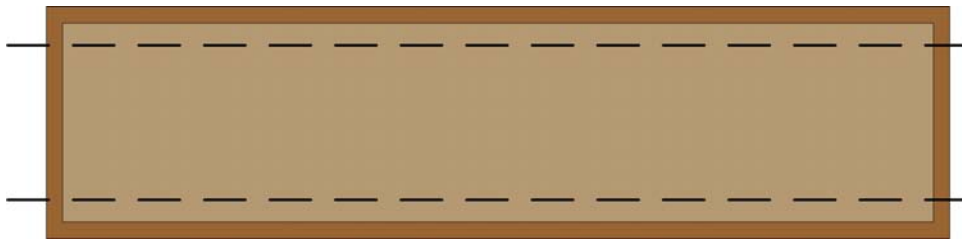
Projektgruppen har, ligesom i metoden hvor forskellen i z anvendes, plottet intensiteten for hvert punkt i tværprofil 3, 7 og 102, for at se, hvor tydelig forskellen mellem punkternes intensitet er. Projektgruppen har i figur 9.6 plottet gennemsnittet af de tre farvekanaler RGB divideret med 255 for at få et udtryk for intensiteten af alle tre tværprofiler i samme plot.



Figur 9.6: Viser punkternes intensitet for alle tre tværprofiler.

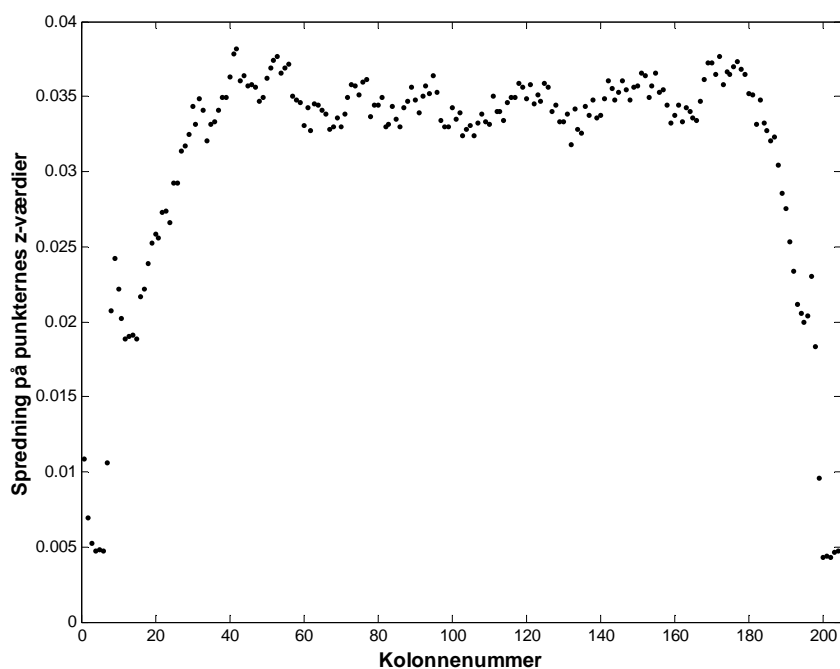
Som det fremgår af figur 9.6, er der tydelig forskel mellem tværprofilernes intensiteter. Tværprofiltype 1, som kun består af rammepunkter, er de sorte krydser, og det er tydeligt, at denne type punkter har de højeste intensitetsværdier. De blå stjerner er tværprofiltype 2, og her ses tydeligt, at de første og sidste punkter i kolonnen er rammepunkter, da disse punkters intensitetsværdier ligger blandt de højeste. Punkterne imellem rammepunkterne i tværprofiltype 2 har de laveste intensitetsværdier, hvilket skyldes, at disse punkter er beliggende på kassens "endekant", som er beliggende i skygge (se evt. det mørke område på figur 9.2). At rammepunkterne har den højeste intensitetsværdi, ses igen ved Tværprofiltype 3, som er de røde prikker på figur 9.6. Punkterne imellem rammepunkterne er i dette tilfælde sandpunkter, som har en lidt højere intensitet end punkterne på kassens "endekant" (tværprofiltype 2). Af figur 9.6 kan det generelt udledes, at rammepunkterne har en intensitet mellem 0,2 og 0,3, punkterne på kassens "endekant" har en intensitet mellem 0,05 og 0,07 og sandpunkterne har en intensitet mellem 0,07 og 0,13. Disse værdier kan anvendes som kriterier for udvælgelsen af punkter til kategorierne.

Som det første søges efter tværprofiler af type 1, hvor alle punkterne er beliggende på rammen. Dette gøres ved at tage én kolonne ad gangen og kun vælge de punkter, som ligger indenfor et bestemt interval. Intervallets størrelse afhænger af, hvilken gridstørrelse den pågældende scanning er foretaget med. For hver kolonne beregnes spredningen for punkternes z-værdier og middel af punkternes intensitet. Intervallet anvendes fordi rammepunkterne, som er de første og sidste punkter i både tværprofiltype 2 og 3, vil have indflydelse på spredningen og intensiteten (se figur 9.6), hvilket vil gøre det mere vanskeligt at skelne profilerne fra hinanden. Figur 9.7 viser, princippet i anvendelsen af intervallet til udvælgelsen.



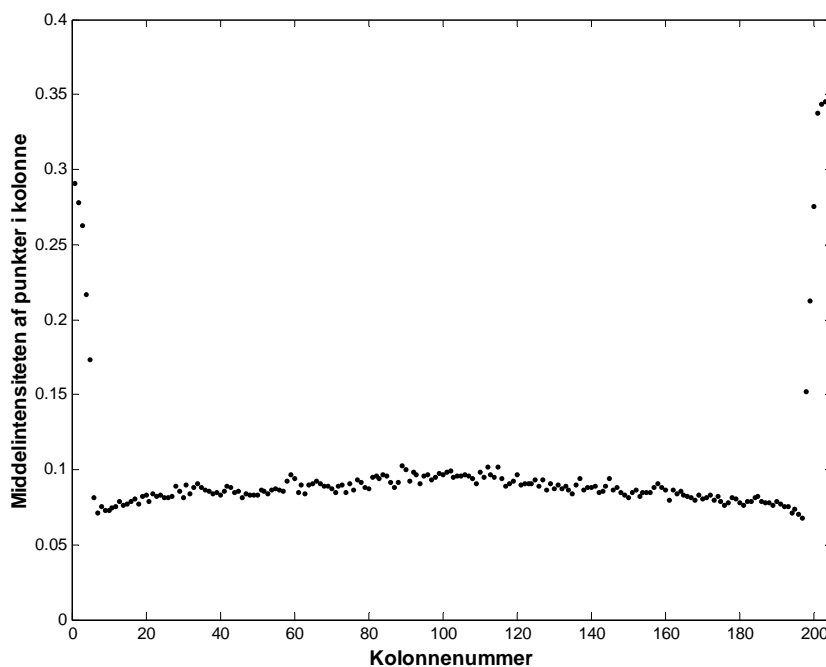
Figur 9.7: Viser kassen med sand set fra oven. Kun de punkter, der ligger indenfor de to stiplede linjer, vælges.

Ved at plote de beregnede spredninger for hver kolonne kan projektgruppen fastsætte et kriterium for, om den pågældende tværprofil er en type 1 eller ej – se figur 9.8.



Figur 9.8: Viser et plot af hver kolonnes spredning.

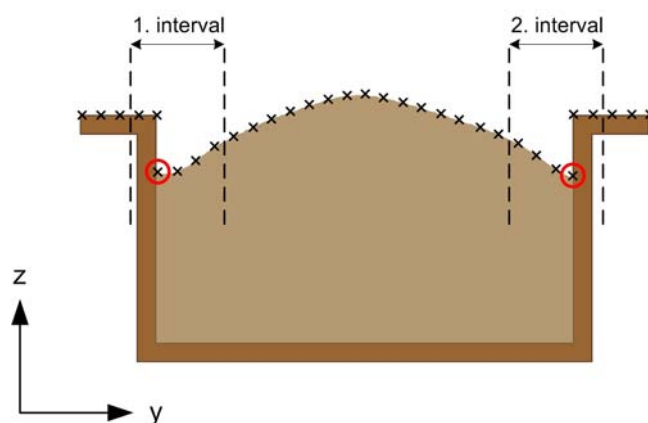
Efter frasorteringen af gulvpunkterne vides det, at de første og sidste kolonner er tværprofiler af type 1, og figur 9.8 viser, at for at udvælge disse, må grænsen for spredningen sættes til 0,005 m – dvs. at de kolonner med en spredning under 0,005 m udvælges. Som det fremgår af figur 9.8, ville udvælgelsen på baggrund af kolonnernes spredning i dette tilfælde være tilstrækkeligt, men fyldes kassen næsten helt op og uden top, kunne spredningen for disse profiler være lav nok til, at de kunne blive udvalgt ved kun at anvende spredningen som kriterium. Derfor har projektgruppen, på baggrund af intensitetsværdierne for de forskellige typer af punkter, som blev udledt af figur 9.6, ligeledes valgt at foretage udvælgelsen af de profiler, som kun indeholder rammepunkter, ud fra kolonnernes middelintensitet. Rammepunkternes høje intensitet – mellem 0,2 og 0,3 – burde resultere i høje middelintensitetsværdier for de kolonner, som kun indeholder rammepunkter, og for at kontrollere dette har projektgruppen beregnet hver kolonnes middelintensitet og plottet denne i figur 9.9.



Figur 9.9: Viser et plot af hver kolonnes middelintensitet.

Som forventet gav middelintensiteten udslag i høje værdier for de første og sidste kolonner. Ud fra figur 9.9, og de tidligere konstaterede intensitetsværdier for ramme-punkterne, har projektgruppen fastsat grænsen for middelintensiteten til 0,2 – dvs. at de kolonner, hvis spredning er under 0,005 og middelintensitet er over 0,2, udvælges som værende tværprofiler af type 1.

Hvis den pågældende kolonne overskrider enten det ene eller andet af de førnævnte kriterier, må det betyde, at kolonnen indeholder sandpunkter, og derfor søges efter det første og sidste sandpunkt i hver af disse kolonner. Dette gøres, for at kunne udvælge de første og sidste sandpunkter og punkterne derimellem til kategorien "sand". Det vides, at første og sidste sandpunkt skal findes indenfor bestemte intervaller i hver kolonne. Intervallernes størrelse afhænger igen af den gridstørrelse, den pågældende scanning er foretaget med. Figur 9.10 er udarbejdet for at illustrere, indenfor hvilke områder i punktmængden første og sidste sandpunkt (markeret med røde cirkler i figur 9.10) skal findes.



Figur 9.10: Viser de to intervaller, hvori første og sidste sandpunkt (røde cirkler) skal findes.

For den pågældende kolonne beregnes differensen af alle punkternes z -værdier, hvorefter det punkt med den mindste differens indenfor det første interval (se figur 9.10) udvælges som første sandpunkt. Det sidste sandpunkt i kolonnen findes i det andet interval ved at udvælge punktet med den største differens. Herefter tages fra hver kolonne det første og sidste sandpunkt, samt punkterne herimellem og indsættes i matricen SAND. Ved at anvende differensen mellem punkterne til udvælgelse af første og sidste sandpunkt, risikeres det at få udvalgt punkter, som egentlig er beliggende på kassens sider. Det drejer sig dog ikke om ret mange tilfælde, og derfor har det heller ikke den store betydning for det samlede resultat af volumenberegningen.

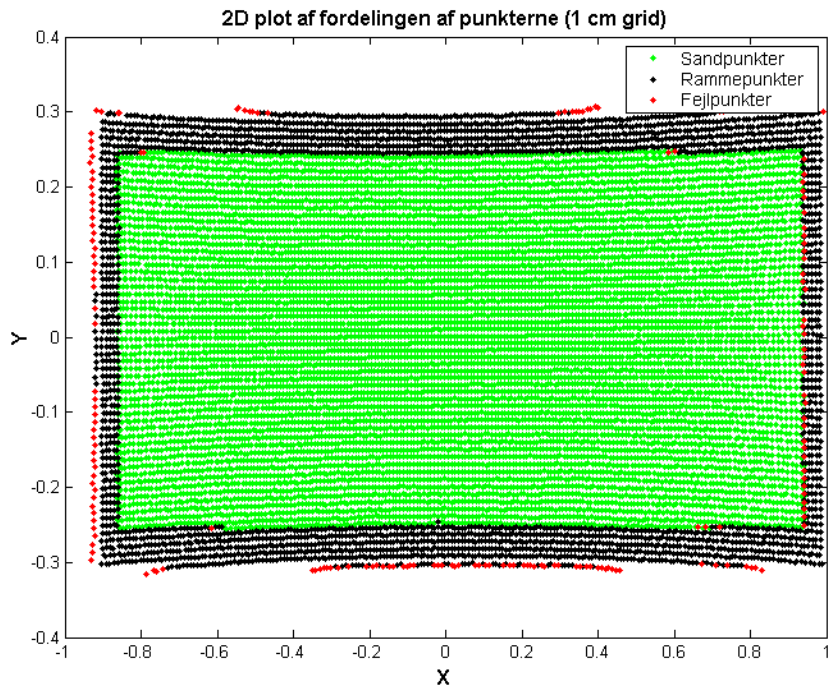
Efter sandpunkterne i hver kolonne er indsat i matricen SAND, indsættes de resterende punkter i hver kolonne i matricen RAMME, og alle rammepunkter og sandpunkter er nu fordelt i hver deres matrice.

For at frasortere evt. fejlpunkter, som kan være medtaget i matricen RAMME, beregnes et plan for rammepunkterne. Projektgruppen har kun anvendt de første og sidste 10 kolonner til beregningen af planet, da der opstod problemer med hukommelsen i Matlab, hvis alle rammepunkter medtages i beregningen af planet. Der er valgt 10 kolonner i hver ende af kassen, for at være sikker på at planet passer bedst mulig på rammepunkterne imellem hver ende af kassen.

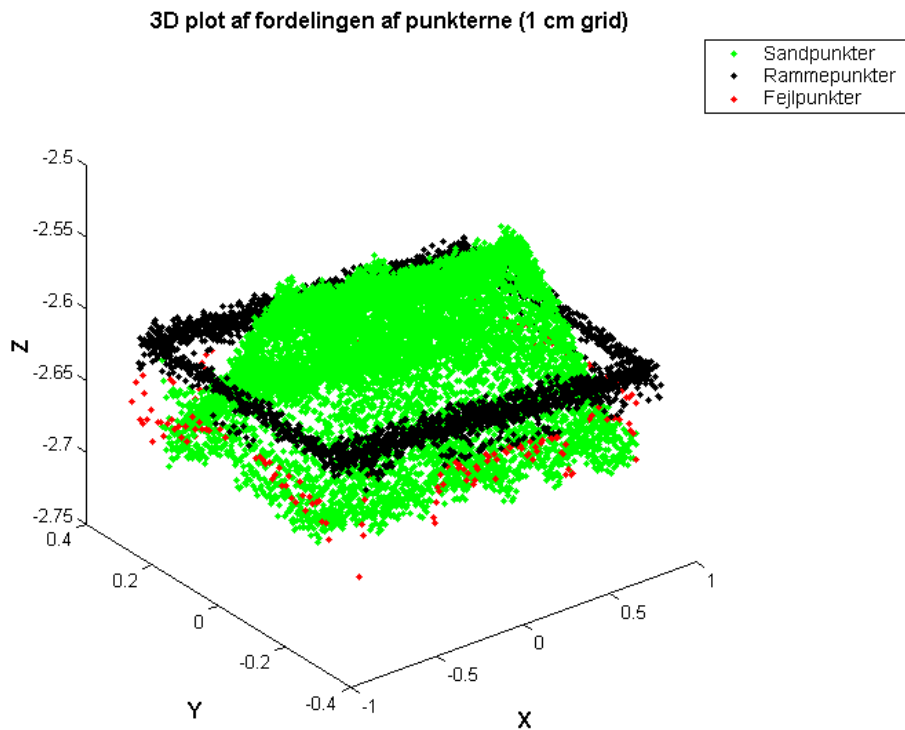
Til beregningen af planet anvendes planfit.m (hentet fra Peter Cederholms hjemmeside: www.land.aau.dk/~pce), som er et script, der kan beregne et plan gennem en 3D punktmængde. Projektgruppen har ændret i scriptet og fjernet kofaktormatricen (Q) som input, da denne oftest anvendes, hvis dataene kommer fra en udjævning, og derfor har forskellige spredninger. I projektgruppens tilfælde er alle punkterne målt lige godt ($\sigma_p = 6$ mm – se appendiks A), og derfor kan der ses bort fra kofaktormatricen. Projektgruppen har ændret navnet på scriptet til planfit2.m og lagt både det originale script (planfit.m) og projektgruppen version (planfit2.m) på bilagscd'en i mappen "Matlab Scripts". Herefter er det eneste input til scriptet en søjlevektor indeholdende henholdsvis x, y og z koordinaterne til punkterne, som skal indgå i beregningen af planet. Et af outputtene fra planfit2.m er en residualvektor v, som indeholder residualerne til punkterne, som blev anvendt til at beregne planet. Er residualerne større end eller lig med $3\sigma_p$ (0,018 m) overføres punkterne til matricen FEJL. Er residualerne mindre end $3\sigma_p$ (0,018 m) overføres punkterne til matricen RAMME2. Herefter beregnes de resterende rammepunkters afvigelser i forhold til planet, hvilket gøres ved at indsætte punkternes x, y og z koordinater i ligningen for planet – dette under forudsætning af, at planet er tæt på horisontalt. Giver dette en afvigelse større end eller lig med $3\sigma_p$ (0,018 m) overføres punktet til matricen FEJL. Er afvigelsen mindre end $3\sigma_p$ (0,018 m), overføres punktet til matricen RAMME2.

Punkterne er nu fordelt i matricerne GULV, RAMME2, SAND og FEJL. De tre sidste, som er de vigtigste, udskrives til tekstfiler og kan evt. senere anvendes som dokumentation.

For visuelt at kunne kontrollere fordelingen af punkter har projektgruppen valgt at plotte RAMME2, SAND og FEJL både i 2D og 3D – se figur 9.11 og 9.12.



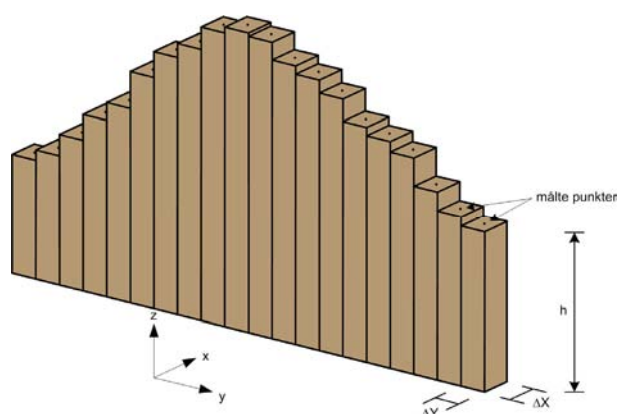
Figur 9.11: Viser et 2D-plot af matricerne RAMME2 (sort), SAND (grøn) og FEJL (rød).



Figur 9.12: Viser et 3D-plot af matricerne RAMME2 (sort), SAND (grøn) og FEJL (rød).

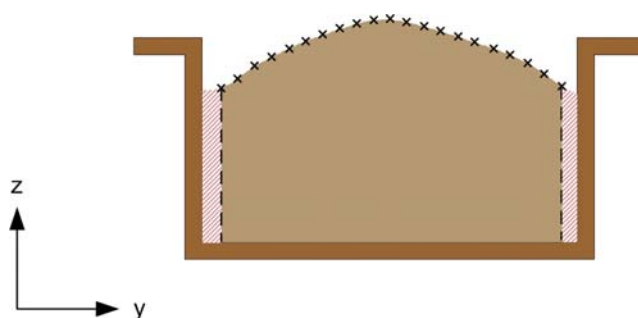
9.3.4 Trin 4 – Volumenberegning

Efter fordelingen af punkterne anvendes RAMME2 - og SAND matricerne til volumenberegningen, som er fjerde og sidste trin. Det er nu muligt at beregne ΔX , ΔY og højden h for hver søjle, som skal anvendes til volumenberegningen – se figur 9.13.



Figur 9.13: Viser princippet i volumenberegningen af hver scannet kolonne.

I stedet for at beregne hver eneste afstand mellem punkterne i hver kolonne og anvende disse som ΔY , har projektgruppen, for bl.a. at spare beregningstid, valgt at beregne en middelfastand for hver kolonne i matricen SAND og anvende denne som ΔY . For at beregne middelfastanden for hver kolonne divideres kassens bredde (0,5 m) med antallet af punkter minus en for hver kolonne. Grunden til, der divideres med antallet af punkter minus en, er, hvis der f.eks. er 50 punkter i kolonnen, er der kun 49 afstande. Projektgruppen kunne også have beregnet afstanden mellem punktet med den mindste y -værdi og punktet med den højeste y -værdi og divideret denne med antallet af punkter i kolonnen. Projektgruppen kan dog ikke være sikker på, at punkterne tættest på kassens sider er beliggende helt ude ved kassens sider, og slet ikke jo større gridstørrelserne bliver. Derved vil projektgruppen ikke få alt sandet med i beregningen – se figur 9.14.

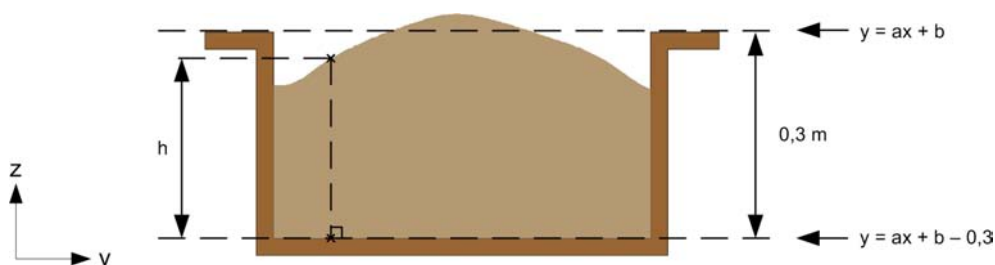


Figur 9.14: De skraverede røde felter viser, at det ikke er alt sandet, der regnes med i volumenberegningen med mindre ΔY beregnes ved at dividere kassens bredde med antallet af punkter i kolonnen minus en.

Ved at beregne ΔY på denne måde, flyttes punkterne fra deres oprindelige placering og helt ud til siderne af kassen, men betydningen af dette er betydelig mindre end fejlen, der begås ved ikke at flytte punkterne.

Ligesom ved ΔY beregnes en middelfastand, som udtryk for ΔX ved at dividere kassens længde (1,8 m) med antallet af kolonner minus en i matricen SAND. ΔX er den samme under hele volumenberegningen.

Efter både ΔY og ΔX er beregnet, er der kun tilbage at beregne h . Hvordan h er beregnet, er vist på figur 9.15 og forklares efterfølgende.



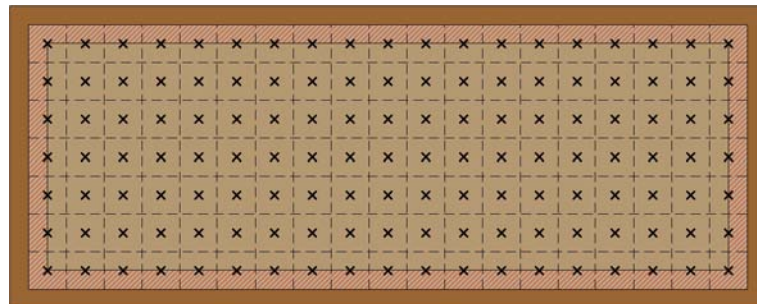
Figur 9.15: Illustrerer princippet i at finde sandpunkternes z værdi i bunden af kassen.

For at beregne h udregnes for hver kolonne et udtryk for den bedste rette linje gennem punkterne beliggende på rammen. Til beregningen af den bedste rette linje anvendes `linfit2D` (taget fra Peter Cederholms hjemmeside: www.land.aau.dk/~pce), som er et Matlabscript, der beregner den bedste rette linje gennem en 2D punktmængde. Scriptet har brug for de samme input som `planfit.m`, som tidligere blev anvendt i forbindelse med beregningen af et plan gennem rampepunkterne i forrige afsnit. Projektgruppen har igen og af samme årsag som sidst

fjernet kofaktormatricen (Q), og input er derfor igen kun en søjlevektor denne gang kun med y og z koordinaterne til punkterne. Både det originale script linfit2D.m og projektgruppens version linfit2D2.m er lagt på bilagscd'en i mappen "Matlab Scripts". Output fra beregningen af den bedste rette linje er bl.a. løsningsvektoren x med koefficienterne a og b for linjen. Under forudsætning af at linjen gennem punkterne på rammen er parallel med linjen i bunden af kassen, trækkes højden af kassen (0,3 m) fra linjen på rammen (b - 0,3 m), hvorved der fås en ligning for linjen i bunden af kassen. Herefter beregnes afstanden fra hvert sandpunkt til linjen i bunden af kassen og denne højde h anvendes sammen med ΔY og ΔX til volumenberegningen i følgende formel:

$$V = \sum (\Delta x \cdot \Delta y \cdot h_i)$$

Den fejl, der, som tidligere nævnt, begås ved at rykke punkterne ud til siderne og enderne af kassen, svarer til en halv søjle hele vejen rundt i kassen – se figur 9.16.



Figur 9.16: Det skraverede røde felt er det volumen, der beregnes for meget.

For at korrigere for fejlen, der begås ved at rykke på punkterne ud til siderne og enderne på kassen, er der i beregningen af volumen undladt en hel "skive" og for hver af de resterende "skiver" undladt det sidste punkt.

10 Test af program

Efter udviklingen af programmet vil dette kapitel omhandle test af programmet for at se, om programmet regner rigtigt. Dette gøres ved at sammenligne sandets oprindelige volumen med de volumener, som projektgruppen kan beregne med programmet ud fra scanningerne af kassen med sand i. For at disse sammenligninger overhovedet kan bruges til noget, er det vigtigt at få bestemt det oprindelige volumen, som volumen beregnet vha. programmet skal sammenlignes med, meget nøjagtigt og projektgruppen foretog bl.a. derfor en fin scanning (2 mm grid) af den tomme kasse. Kontrollen blev efterfølgende foretaget vha. modellering i Cyclone. Modelleringen og de efterfølgende beregninger af kassens dimensioner og volumen er nærmere beskrevet i bilag G. Udover at teste nøjagtigheden vil projektgruppen også teste, hvor lang tid programmet tager om at udregne volumen af scanningerne.

I det følgende beskrives resultaterne, hvorefter disse kommenteres.

10.1 Resultater

I dette afsnit præsenteres først resultaterne – se figur 10.1, hvorefter disse kommenteres. Slutteligt beskrives hvordan resultaterne er tilvejebragt, samt eventuelle problemer projektgruppen er stødt på under beregningerne.

Scanning		Volumen		Afvigelse fra oprindelig [liter]	Afvigelse fra oprindelig [%]	Beregningstid [sek]
		Oprindelig [liter]	Beregnet [liter]			
1 cm	1 top	270	271,7	+1,7	0,63	ca. 35
	1 top (minus 1 spand)	260	261,6	+1,6	0,62	ca. 35
	1 top (minus 2 spande)	250	251,0	+1,0	0,40	ca. 35
	1 top (minus 3 spande)	240	241,3	+1,3	0,54	ca. 35
	2 toppe	270	274,6	+4,6	1,70	ca. 35
2 cm	1 top	270	273,0	+3,0	1,11	ca. 25
	1 top (minus 1 spand)	260	262,6	+2,6	1,00	ca. 25
	1 top (minus 2 spande)	250	251,4	+1,4	0,56	ca. 25
	1 top (minus 3 spande)	240	241,6	+1,6	0,67	ca. 25
	2 toppe	270	275,6	+5,6	2,07	ca. 25
5 cm	1 top	270	275,2	+5,2	1,93	ca. 20
	1 top (minus 1 spand)	260	264,3	+4,3	1,65	ca. 20
	1 top (minus 2 spande)	250	252,6	+2,6	1,04	ca. 20
	1 top (minus 3 spande)	240	242,4	+2,4	1,00	ca. 20
	2 toppe	270	277,3	+7,3	2,70	ca. 20

Figur 10.1: Viser et skema med resultaterne fra volumenberegningerne.

Fælles for testen angående beregningstiden er, at beregningerne er foretaget på en computer med en 1300 MHz processor og 256 mb ram. Beregningstiderne anvendes i kapitel 11 – Implementering.

10.2 Kommentarer til resultater

Det første, der falder i øjnene i figur 10.1, er, at samtlige afvigelser er positive. Forklaring på dette mener projektgruppen, kan findes i tre forskellige årsager:

- De udførte tests
- Volumenberegningen
- Laserscanneren

I det følgende beskrives disse mulige årsager hver for sig.

10.2.1 De udførte tests

En af årsagerne kan evt. findes i bestemmelsen af referencevolumen, der blev anvendt som sammenligningsgrundlag med den volumen beregnet i programmet. Hvis kassens ramme f.eks. "peger" en smule opad (er skæv) vil det resultere i, at der fyldes mere end 270 l i kassen, når det overskydende sand skræbes af – se figur 10.2.



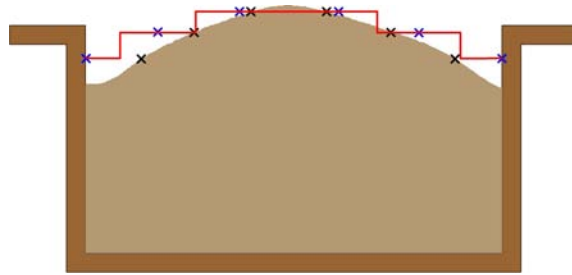
Figur 10.2: Viser, hvilken betydning en skæv ramme har for referencevolumen.

Drejer det sig f.eks. om at sandet står 1 mm højere end kassen sider, betyder det, at der er 0,9 l sand ekstra i kassen (0,5 m x 1,8 m x 0,001 m). Til at kontrollere dette kunne projektgruppen anvende scanningerne af kassen med den skræbete overflade til at se om z koordinaterne på sandpunkter er større end dem på rammen.

En anden årsag, som dog kun gælder for de forsøg, hvor projektgruppen med en spand, gradvist fjernede mere og mere sand fra kassen, kan være spandens usikkerhed. Da spanden ikke er kontrolleret, kunne der i princippet være fjernet 9,5 l i stedet for 10 l.

10.2.2 Programmet

En anden årsag, som efter projektgruppens overbevisning er den mest sandsynlige, skal findes i programmet og den metode, projektgruppen har anvendt til volumenberegningen. Projektgruppen har bl.a. rykket det første og sidste sandpunkt i hver kolonne ud til siden af kassen, hvilket betyder, at der for hver "skrive" beregnes et større volumen – se figur 10.3, hvor de sorte punkter er de originale, og de blå er de flyttede punkter. Arealet mellem den røde streg og sandet er den fejl, der begås.



Figur 10.3: Viser (meget fortegnat) den fejl, der begås ved at flytte første og sidste sandpunkt ud til siden af kassen.

Jo større grid jo tydeligere bliver fejlen fra flytningen af punkter, hvilket projektgruppen mener, er hovedårsagen til at afvigelserne bliver større, jo større grid scanningen er foretaget med. Havde det ikke været nødvendigt at flytte punkterne ud til siden af kassen, mener projektgruppen, at forskellen på størrelsen af gridet ville være knap så stor pga. sandets måde at lægge sig på i kassen.

10.2.3 Laserscanneren

Projektgruppen mener også, der kan være en grund til at se på det anvendte instrument, nemlig Cyrax 2500. Efter samtale med vejleder er projektgruppen blevet bekendt med, at scannerens afstandsmåler aldrig er blevet undersøgt og kalibreret, hvilket kan være årsag til en systematisk fejl i scanneren. Det er derfor muligt, at scanneren har målt fejl ved scanningerne, hvilket f.eks. kan have betydet, at de målte punkters z værdier er mindre end de burde være. Regneeksemplet ligner regneeksemplet fra afsnit 11.2.1, hvilket betyder, at en forskydning i z på 1 mm vil resultere i et volumen, som er 1 l større end det burde være.

10.3 Beskrivelse af resultater

I dette afsnit beskrives resultaterne, hvordan disse er tilvejebragt og herunder eventuelle problemer, der har været under beregningerne af volumen for de forskellige gridstørrelser.

10.3.1 2 mm scanningerne

Det lykkedes ikke projektgruppen at få programmet til at give et resultat af scanningerne med 2 mm grid. Problemerne opstår allerede under sorteringen af punk-

terne, da disse ikke er bestemt bedre end ± 6 mm (se appendiks A). Dette resulterer i, at nogle af punkterne, som scannes i første kolonne, får en x koordinat, der betyder, at punkterne placeres i anden kolonne, når punkterne sorteres. Problemet kunne evt. løses ved at finde en anden måde at sortere punkterne på. Projektgruppen har en idé om at udregne spejlenes position for hvert punkt og anvende dette som kriterium i en sortering. Projektgruppen har dog pga. manglende tid ikke forsøgt at løse problemet, og har derfor også valgt at se bort fra 2 mm scanningerne.

10.3.2 1 cm scanningerne

Da der er taget udgangspunkt i 1 cm scanningerne ved udviklingen af programmet, forløb volumenberegningerne af disse scanninger uden problemer.

10.3.3 2,5 cm scanningerne

Det er heller ikke lykkedes at få programmet til at beregne volumen af 2,5 cm scanningerne, og derfor har projektgruppen valgt at anvende de udvalgte sandpunkter fra 1 cm scanningerne til at teste nøjagtigheden af 2,5 cm scanningerne. Dette gøres ved at foretage en udtynding af sandpunkterne og "smide" hver anden kolonne og hvert andet punkt i de tilbageværende kolonner ud. Dermed opnås et grid på 2 cm, hvorefter det er muligt at interpolere sig frem til den sidste $\frac{1}{2}$ cm og dermed få et grid på 2,5 cm. Projektgruppen har dog valgt at undlade interpolationen og teste nøjagtigheden for et 2 cm grid i stedet for 2,5 cm, da den sidste $\frac{1}{2}$ cm ikke har den store betydning i denne sammenhæng.

10.3.4 5 cm scanningerne

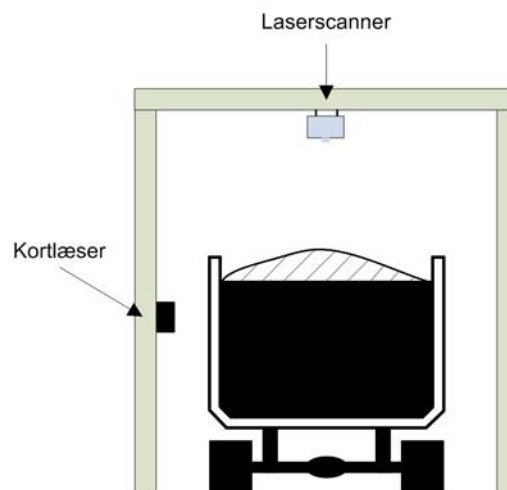
Ligesom ved 2,5 cm scanningerne har der været problemer med at få programmet til at beregne volumen af 5 cm scanningerne. Derfor anvendes samme metode, som ved 2 cm scanningerne, for at få et grid på 5 cm, som kan testes for nøjagtighed og tidsforbrug. For at få et grid på 5 cm vælges hver femte kolonne og hvert femte punkt ud af sandpunkterne fra 1 cm scanningerne.

11 Implementering

I dette kapitel beskrives, hvordan projektgruppen forestiller systemet implementeret i f.eks. en grusgrav. I beskrivelsen af implementeringen tages udgangspunkt i et situationsforløb, hvor proceduren, fra en lastbil ankommer til grusgraven, og til den kører igen, forklares. Herefter beskrives evt. forudsætninger, der skal opfyldes, og hvilke problemer der kan opstå i forbindelse med situationsforløbet.

11.1 Situationsforløbet

Ved indkørslen til grusgraven er der to situationsmuligheder. Første mulighed er, at har chaufføren ikke et magnetkort med informationer om laddets dimensioner, skal disse tilvejebringes ud fra en scanning af det tomme lad. Herefter udleveres et magnetkort med informationerne om laddets dimensioner til chaufføren, som fremover benyttes, når lastbilen efter pålæsning af sand skal scannes. Den anden mulighed er, at chaufføren allerede har et magnetkort, som er udleveret ved en tidligere scanning af lastbilens tomme lad, og chaufføren kører derfor direkte til pålæsningsstedet, får læsset sand på og kører til scanningsportalen – se figur 11.1.



Figur 11.1: Viser scanningsportalen, som den kunne se ud.

Ved scanningsportalen iværksætter chaufføren scanningen ved at indsætte sit magnetkort i en kortlæser. Efter scanningen og beregningen af volumenet udskrives en køreseddel, som bruges til dokumentation for den pågældende leverance.

11.2 Anbefalinger vedrørende gridstørrelse

Ud fra de opnåede resultater, som blev beskrevet i forrige kapitel, vil dette afsnit omhandle projektgruppens anbefalinger angående den gridstørrelse, som scanningerne skal udføres med.

På baggrund af scanningstiderne fra kapitel 6 – Testfelt og beregningstiderne fra kapitel 11 – Test af program er figur 11.2 udarbejdet.

Gridstørrelse	Scanningstider for 3 x 10 m	Beregningstider	Sammenlagt tid
1 cm	5 min.	35 sek.	5 min. 35 sek.
2,5 cm	48 sek.	25 sek.	1 min. 13 sek.
5 cm	12 sek.	20 sek.	32 sek.

Figur 11.2: Viser scannings- og beregningstider.

Som tidligere nævnt mener projektgruppen, at for at "det daglige flow" i grusgraven ikke skal bremses, skal scanningerne foretages på under 2 min., hvoraf 2,5 og 5 cm grid kan anbefales. Af resultatskemaet i figur 10.1 fremgår det, at forskellen imellem 2 og 5 cm er under 1 %, og derfor mener projektgruppen ikke, det er værd at bruge over dobbelt så lang tid på at foretage scanningerne med et grid på 2,5 cm. Den anbefalede gridstørrelse bliver derfor 5 cm.

11.3 Problemstillinger vedrørende implementeringen

Ved systemets implementering i en grusgrav kan der ikke regnes med de samme betingelser, som under udførelsen af forsøgene med scanneren. Af den grund vil evt. problemstillinger og løsning deraf vedrørende rammegenkendelse, formen på laddet og opmålingsstedet, blive behandlet i det følgende.

11.3.1 Rammegenkendelse

For at programmet kan beregne volumen af sandet på laddet er det nødvendigt at få genkendt rammen på laddet. Forsøgene er alle foretaget på trækassen, som projektgruppen fik fremstillet med en 5 cm bred ramme og derfor vides ikke om sy-

stemet vil virke, hvis bredden er rammen bliver mindre. Er rammen bredere end de 5 cm mener projektgruppen ikke at det vil skabe problemer – tværtimod, men er rammen mindre end 5 cm er der ikke længere "rammegaranti", når der scannes med et grid på 5 cm. Løsningen kunne være at anvende et mindre grid på f.eks. 2,5 cm i hele scanningsområdet eller foretage en del af scanning i et nærmere defineret område omkring rammen med et endnu mindre grid og scanne resten af det udvalgte område med 5 cm grid.

11.3.2 Formen på laddet

Da systemet skal kunne håndtere de mange forskellige typer af lad, der kan forekomme, skal der findes ud af, hvordan dette skal gøres. Projektgruppen mener, at det vil være vanskeligt at få et program til automatisk at beregne laddets dimensioner ud fra den tomme scanning, og af den grund vil projektgruppen i stedet anbefale at laddet modelleres manuelt (f.eks. i Cyclone) og derved få tilvejebragt de nødvendige informationer om laddets dimensioner. I kapitel 5 påviste projektgruppen, at det på lang sigt er det manuelle arbejde, der koster, men da scanningen af det tomme lad kun skal foretages første gang, laddet skal anvendes og derefter evt. hvert halve år som kontrol, mener projektgruppen stadig, at modellering i Cyclone vil være at anbefale.

11.3.3 Opmålingssted

En yderligere faktor, som også skulle behandles, er, hvis området, hvor scanningsportalen opstilles, ikke er vandret. En løsning på dette problem ville f.eks. være at transformere scanningen af laddet med sand på over i den tomme scanningen for dermed at skabe en fælles reference for beregningen.

På grund af de begrænsninger laserscanneren har for at scanne et bestemt område, er det vigtigt, at lastbilen ikke kommer til at holde for langt fremme eller tilbage, eller kommer til at holde så skævt, at dele af laddet rager ud over scanningsområdet. Der er flere muligheder for at kompensere for dette problem. En nem løsning kunne være at markere på jorden, hvor lastbilen skal holde. En anden mulighed er ligesom ved vaskehaller på tankstationer, hvor et lyssignal angiver, om man holder korrekt. Under alle omstændigheder skal scanneren placeres så højt, at det sikres at scanningsområdet kan dække hele området i portalen. Det vil sige, at scannings-

området under alle omstændigheder altid vil scanne udover laddet på lastbilen. Dette giver vognmanden et bufferområde at holde sig indenfor.

12 Konklusion

I dette kapitel vil projektgruppen med udgangspunkt i problemformuleringen samle op på kapitlerne og konkludere, om projektgruppen er nået frem til et tilfredsstillende resultat.

I kapitel 2 Problemområde præsenterede projektgruppen konflikten mellem entreprenører og vognmænd/grusgravsejere, når der handles sand og stabilgrus til f.eks. etableringen af en motorvej. Efter projektgruppens beregningseksempel, viste det sig, at det drejer sig om over 100.000 kr. pr. 1 km. motorvej. Efter præsentationen blev både entreprenørernes og vognmændenes/grusgravsejernes metoder til kontrol undersøgt, og i den forbindelse fandt projektgruppen ud af, at disse har en ringe nøjagtighed, og derfor anses pålideligheden af metoderne som værende mangelfuld. Med baggrund i dette blev følgende problemformulering fremstillet:

Kan der udvikles en metode, der kan give en mere nøjagtig volumenbestemmelse – end de eksisterende - under hensyntagen til tid og pris?

Projektgruppen mener at have udviklet en metode, der giver en mere nøjagtig volumenbestemmelse end de eksisterende metoder under hensyntagen til tid og pris. Projektgruppen anbefaler brugen af lacer-scanner og scanning med 5 cm gridstørrelse, da tiden det tager at scanne og beregne volumen er under 1 min., og prisen pr. volumenbestemmelse er ca. 10 kr. Derudover ligger nøjagtigheden af volumenbestemmelsen under 2 %.

Konklusionen på nøjagtigheden er bl.a. baseret på resultater for de beregnede volumener – se figur 10.1. På baggrund af de minimale procentafvigelser mener projektgruppen at have opnået tilfredsstillende resultater. Det ses bl.a., at nøjagtigheden for selv 5 cm gridstørrelse har en meget lav procentafvigelse, hvilket er en god indikation af, at overføres disse resultater til målinger i et rigtigt lastvognslad, vil resultatet også blive tilfredsstillende. Årsagen til de fine resultater skyldes nok, som tidligere omtalt, måden sandet lægger sig på, så det giver en blød buet overflade, hvilket gør det nemt at foretage en approksimation heraf.

Med hensyn til de tider, det tager at foretage scanningen, og den tid, det tager at beregne volumen, må projektgruppen konkludere, at resultaterne ligesom nøjagtighederne ser tilfredsstillende ud. Scannings- og beregningstiderne holder sig under 2 minutter for 2 og 5 cm grid, hvilket er den grænse projektgruppen satte for ikke at bremse det daglige flow i grusgraven.

Hvad angår prisen for den valgte metode erkendes det, at metoden ikke er den billigste (10,01 kr. pr. volumenbestemmelse), da metoden vedrørende fotogrammetri er langt billigere (1,60 kr. pr. volumenbestemmelse). Trods denne forskel i pris mener projektgruppen dog, at metoden vedrørende laserscanning er at foretrække, da der ses flere fordele vedrørende opmåling med laserscanner. Som også tidligere nævnt er den valgte scanner kun anvendt, fordi denne var til rådighed, og priser er derfor udregnet efter denne, men det er efter projektgruppens overbevisning, at valg af en anden laserscanner kan nedbringe prisen, så den kan matche prisen pr. volumenbestemmelse ved fotogrammetri.

12.1 Fremgangsmåden i projektet

Ud fra ovenstående konklusioner mener projektgruppen hermed at have udviklet en metode, der giver et tilfredsstillende resultat, frembragt på følgende måde:

Projektgruppen har i kapitel 5 fremlagt forskellige opmålingsmetoder til opmåling af sand på laddet af en lastbil:

5. Manuel opmåling med totalstation
6. Automatisk opmåling med totalstation
7. Laserscanning
8. Digital Fotogrammetri

Projektgruppen valgte at arbejde videre med laserscanning som løsningsmetode.

På baggrund af scanninger af en fremstillet trækasse med sand som foregivende model af laddet på en lastbil fremkom tilfredsstillende måleresultater med forskellige valgte gridstørrelser. Resultatet består af ascii-filer med koordinatsæt (XYZ) for de målte punkter.

Da opmåling med laserscanneren foregår i et grid, var det et naturligt valg at anvende søjlerne fra dette grid til at beregne volumen af sandet. Volumenberegningemetoden i kapitel 7 blev en simplificering af dobbeltintegralregning.

I kapitel 8 – Rammegenkendelse – har projektgruppen fået sorteret dataene, så de står i samme rækkefølge i ascii-filen, som de er scannet. Projektgruppen fandt frem til hvilken metode, der skal anvendes til genkendelse af rammen ved hjælp af at anvende forskellen imellem punkternes z-værdier og intensiteter til at sortere punkterne i de tre kategorier – gulv, ramme og sand. Dermed var grundlaget for programmeringen på plads, og projektgruppen gik i gang med at implementere de valgte metoder i programmet.

Matlab blev valgt som programmeringsplatform i kapitel 9, og derigennem blev der udviklet et program, der kan beregne volumen af sand i en trækasse.

13 Perspektivering

Følgende perspektivering vil reflektere over det udviklede system med hensyn til, hvilke fremtidsudsigter og anvendelsesområder systemet har.

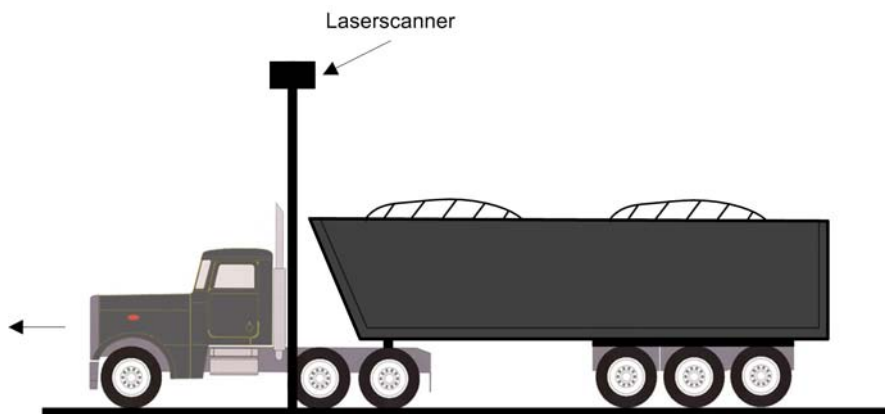
13.1 Systemet i et fremtidsperspektiv

Cyrax 2500, som systemet blev bygget op omkring, er en forholdsvis dyr laser-scanner, og derfor kunne det være interessant at undersøge, hvilke andre laser-scannere, der kunne erstatte denne, uden at gå på kompromi med de to andre succeskriterier – tid og nøjagtighed. Dette undersøges for evt. at kunne nedbringe omkostningerne for det samlede system ved anskaffelsen af en billigere laser-scanner. Ses den valgte opmålingsmetode i forhold til de andre metoder, som blev fra-valgt, skiller metoden sig ud på grund af, at det er et langt dyrere instrument (se kapitel 5).

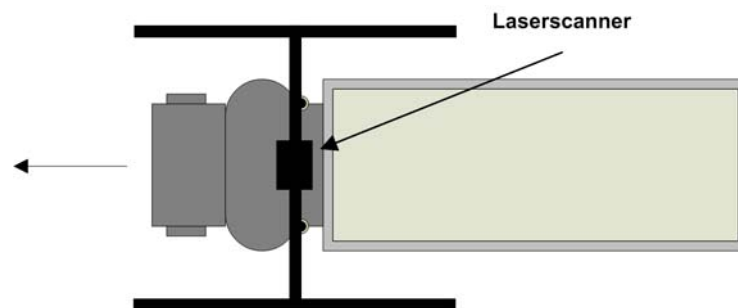
Det, at der er valgt en 3D laser-scanner til systemet, står ikke helt til måls med behovet. En 3D laser-scanner er et overkvalificeret instrument, da en 2D laser-scanner opfylder de behov, der er vedrørende opmålingen. Proceduren for selve opmålingen med en 2D laser-scanner vil være en anden, end den der er beskrevet vedrørende Cyrax 2500. Ved anvendelse af en 2D laser er det nødvendigt, at enten lastbilen skal køre under scanneren med fastsat konstant fart, eller også skal lastbilen holde stille og laser-scanneren flytte sig med konstant fart. Der ses altså to forskellige måder, hvorpå opmålingen kunne foretages, og disse beskrives i det efterfølgende som forløb 1 og 2.

Forløb 1

For at illustrere, hvordan dette forløb er tiltænkt, er figur 13.1 og 13.2 udarbejdet.



Figur 13.1: Viser opmålingssituation, vedrørende forløb 1, set fra siden.

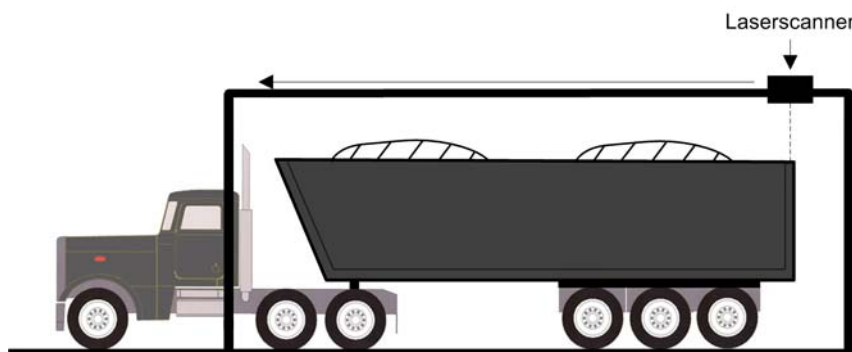


Figur 13.2: Viser opmålingssituation, vedrørende forløb 1, set fra oven.

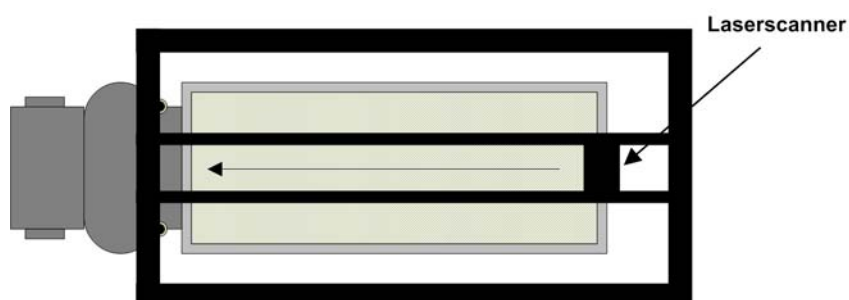
Som figur 13.1 og 13.2 illustrerer, er det tiltænkt, at lastbilen kører til portalen, hvor chaufføren aktiverer laserscanneren ved indsættelse af et magnet- eller plastikkort i en kortlæser. Herefter kører lastbilen frem med en konstant fart, og opmålingen foretages.

Forløb 2

For at illustre, hvordan dette forløb er tiltænkt, er figur 13.3 og 13.4 udarbejdet.



Figur 13.3: Viser opmålingssituation, vedrørende forløb 2, set fra siden.




Figur 13.4: Viser opmålingssituation, vedrørende forløb 2, set fra oven.

Lastbilen kører ind under portalen og opmålingsprocessen aktiveres ved at et magnet- eller plastikkort indsættes i en kortlæser. Som det ses af ovenstående figurer, er det tiltænkt at laserscanneren skal "køre" på en skinne i en bestemt fart og foretage opmålingen.

2D laserscanner

I det følgende vil de 2D laserscannere, der kan bruges vedrørende forløb 1 og 2, blive præsenteret.

Den første 2D laserscanner, der præsenteres, er en AR 4000 LIR fra Acuity – se figur 13.5.

Specifikationer for AR 4000		
 <p>AR 4000</p>	Opmålingstid	700 punkter/sek
	Nøjagtighed	2 – 3 mm
	Scanningsvinkel (grader)	360°
	Pris	Ca. 23.000 kr.

Figur 13.5: Billede samt specifikationer for AR 4000 [www.acuityresearch.com].

På ovenstående figur 13.5 ses det, at nøjagtigheden er omkring 2-3 mm, hvilket er gældende for en max-afstand på 16 m. Der er foretaget et beregningseksempel for at se, hvad det samlede system med AR 4000 vil koste – se figur 13.6.

Samlet systemomkostninger ved brug af AR 4000	
Instrument	23.000 kr.
Program til beregning	10.000 kr.
I alt	33.000 kr.

Figur 13.6: Systemomkostninger ved brug af AR 4000.

For at illustrere, hvad det vil koste at få bestemt volumenet med brug af AR 4000 pr. læs, er følgende udregninger foretaget, og kan ses i figur 13.7.

Omkostningerne for volumenbestemmelse pr. læs over 10 år		
Læs i alt	$\frac{200.000 \text{ m}^3 \times 10}{20 \text{ m}^3}$	100.000 læs
Omkostninger		33.000 kr.
Pris pr. læs	$\frac{1.010.000}{100.000}$	0,33 kr.

Figur 13.7: Pris pr. læs ved anvendelse af AR 4000.

Ud fra figur 13.7 ses det, at ved anvendelse af en AR 4000 er prisen pr. volumenbestemmelse 0,33 kr.

13.3 Andre anvendelsesområder

Projektgruppens udviklede system vil også kunne anvendes til andre materialer end sand som f.eks. stabilgrus, jord og sten. Der vil dog være en grænse for, hvor store stenene må være. Er stenene for store vil de ikke pakke sig, når de bliver læsset på ladet af en lastbil og en volumenbestemmelse med laserscanner ville ikke være brugbar – hvorimod vægtmetode vil komme til sin ret.

Systemet vil også kunne finde anvendelse inden for transport af f.eks. korn og kunstgødning på togvogne. Her kunne portalen stilles op over skinnerne og togvognene kunne så køre under portalen og få bestemt volumenet.

Litteraturliste

Litteratur:

[Aunsborg, 2000]

Christian Aunsborg

Kompendium "Metodelære og videnskabsteori", 2004

[Balstrøm, 1997].

Ole Jacobi, Thomas Balstrøm og Esben Munk Sørensen

"GIS i Danmark", 1997, 1. udgave.

[Bern & Eppstein, 1992]

Marshall Bern & David Eppstein

"Mesh Generation and Optimal Triangulation"

Artikel i Computing in Euclidean Geometry, World Scientific, 1992

[Bern & Plassmann, 2000]

Marshall Bern & Paul Plassmann

"Mesh Generation"

[Christoffersen, 2004]

Morten Thoft Christoffersen

"3D terrestrisk laserscanning", Artikel i Landinspektøren nr. 3-04.

[Cyclone manual, 2002]

"Cyclone 4.0 – Users manual"

Cyra Technologies

Second printing, 2002

[Jensen, 2002]

Karsten Jensen

"Landmåling I Teori og Praksis", (foreløbig udgave)

Aalborg Universitet, 2002

[Kraus, 1993]

Karl Kraus

“Photogrammetry – Fundamentals and Standard Processes, Volume 1”

[Kristensen, 1997]

Anders Schmidt Kristensen

“Adaptive Mesh Generation and Solid Modelling-Based Shape Design Optimization”

[Watson, 1992]

David F Watson, 1992,

“Contouring – A Guide To The Analysis and Display of Spatial Data”

Artikel i Handbook of Computational Geometry, Elsevier Science, 2000

Hjemmesider:

[www.edbpriser.dk]

<http://www.edbpriser.dk/Listprices.asp?ID=69163>

[www.lastas.dk]

http://www.lastas.dk/truck_search/details.aspx?id=950&sort_id=10&type_id=1&header=5

[www.mindstrupgaard.dk]

<http://www.mindstrupgaard.dk/PrislisteVis.asp?ID=6>

[www.canon.dk]

http://www.canon.dk/for_home/product_finder/cameras/ef_lenses/fixed_focal_length/EF_14mm_f28L_USM/

[www.acuityresearch.com]

<http://www.acuityresearch.com/products/line-scanner/>

[www.leica-geosystems.dk]

http://www.leica-geosystems.com/corporate/en/ndef/lgs_3473.htm

[www.mathworld.wolfram.com]

<http://mathworld.wolfram.com/topics/>

Appendiks A - Beskrivelse af Cyrax 2500

Cyra Technologies Inc. er et amerikansk firma, der har specialiseret sig indenfor områder, som omhandler 3D-laserscanning og software. Firmaet fremstiller opmålingssystemet Cyrax, og det dertilhørende software Cyclone. Schweiziske Leica Geosystems ejer i dag Cyra Technologies. Cyrax 2500 er en laserscanner fra Cyra. Dette appendiks er tilvejebragt ud fra informationer fra følgende hjemmeside: [Leica geosystems, 2005].

Den terrestriske laserscanner Cyrax 2500, med tilhørende bærbar pc, kan ses i nedenstående figur A.1:



Figur A.1: Illustration af Cyrax 2500 med tilhørende bærbar pc.

I det efterfølgende afsnit redegøres for de nærmere specifikationer for Cyrax 2500.

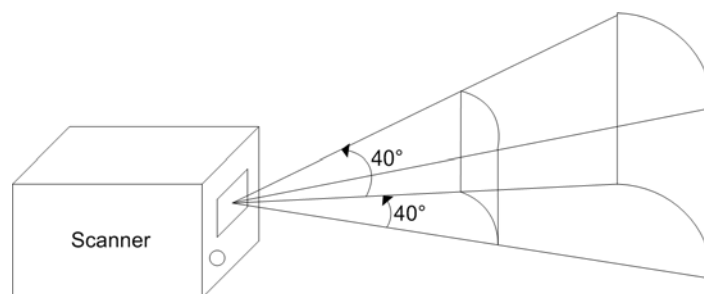
A.1 Specifikationer for Cyrax 2500

Ved måling med totalstation er orienteringen vigtig for at kunne måle med stor præcision, men dette er ikke tilfældet med en laserscanner. På laserscanneren er der ikke nogen libeller eller lignende, det går i alt sin enkelthed ud på at pege scanneren i den rigtige retning og trykke på knappen.

Cyrax 2500 scanner med impulser i den visuelle del af det elektromagnetiske spektrum. Systemet har ingen problemer med at måle om natten eller i stærkt dagslys pga. laserlyset, der anvendes. Laserlyset er samtidig ufarligt for øjet, da det er en klasse II laser, og der kræves derfor ingen ekstra sikkerhedsforanstaltninger, når der skal scannes. Scanningen skal derimod foregå mellem temperaturer fra 0 til 40 °C. Dette skyldes ikke instrumentet, men derimod temperaturens indflydelse på objekterne og derved scanningens kvalitet. Instrumentet er foruden laseren forsynet med en optisk viewer i form af et integreret digitalkamera. En tilsluttet bærbar pc sørger for, at scanningen kan følges, mens den udføres.

Den maksimale afstand for scanningen er 100 m, men den anbefalede scanningsafstand er mellem 1,5 m – 50 m. Ved den maksimale afstand opnås et scannet areal på ca. 70 m x 70 m. Scanningsafstanden er begrænset af styrken på det udsendte grønne laserlys (klasse 2 laser, CFR 1040, max. Effekt 1mW). Instrumentet kan scanne i 40° horisontalt og vertikalt og kan scanne op til 1000 punkter i sekundet.

Nedenstående figur A.2 illustrerer scanningsvinklerne:

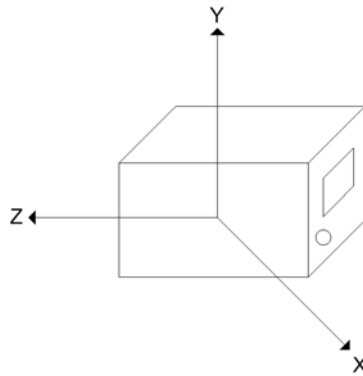


Figur A.2: Illustration af Scanningsvinkler for Cyrax 2500.

Det udsendte laserlys fordeles i scanneren på to spejle, der reflekterer lyset kolonnevist. Kolonnernes størrelse afhænger af de valgte scanningsparametre og afstand herigennem vinkler. Spejlens vinkler ændres kontinuerligt ved hjælp af en servostyret motor. På den anbefalede afstand af 50 m er det muligt at opnå en positionsnøjagtighed på ± 6 mm på hver enkelt målt punkt.

Sammenholdes spejlens vinkel og afstanden til det scannede objekt, fås lokale kartesiske koordinater (XYZ). Koordinaterne er relativt i forhold til scanneren og har en forventet nøjagtighed, som før omtalt, på 6 mm.

Origo for scannerens koordinatsystem er scanneren selv, se nedenstående figur A.3., hvor origo er placeret i scanneren og er defineret ud fra spejlenes indbyrdes placering samt laserens placering. Et nærmere kendskab til den indbyrdes sammenhæng og derved origos placering kendes ikke og er ikke angivet af producenten.



Figur A.3: Laserscannerens lokale koordinatsystem.

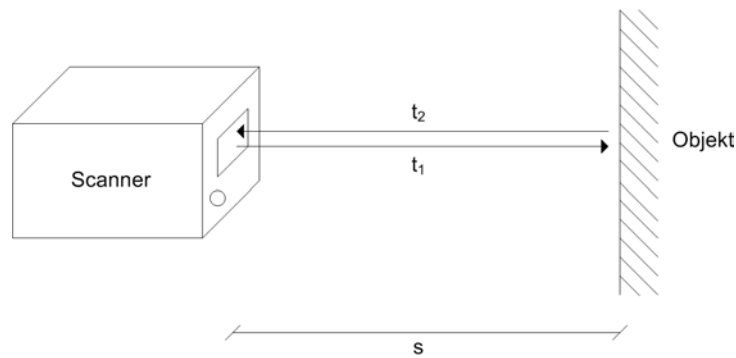
Til at bestemme XY-planet anvendes hovedsageligt retninger fra spejlene, mens Z-planen primært defineres af afstandsmålingen.

A.1.1 Betjening af laserscanner

For at betjene Cyrax 2500 skal der tilsluttes en bærbar PC, hvor programmet Cyclone er installeret. Det er dette program, der anvendes til at styre laserscanneren. Cyclone gør det bl.a. muligt at se det område, der skal scannes, på Pc'ens skærm. Det er ligeledes via Cyclone, at punkttætheden, hvormed der skal scannes, defineres.

A.1.2 Tilfældige fejl ved laserscanning

Afstandsmåling med laserscanner foregår ved tidsmåling. Ud fra kendskab til lysets hastighed kan impulsens tilbagelagte afstand beregnes, såfremt tiden registreres, når impulsen henholdsvis udsendes og returneres. Figur A.4 illustrerer princippet.



Figur A.4: Princippet ved afstandsmåling.

Afstanden beregnes ud fra følgende formel: $S = C * \frac{1}{2} \Delta t$,

hvor

C	Lysets hastighed i vakuum ($2,99792458 * 10^8 \text{ m/s}$)
Δt	Tiden for at den udsendte impuls returneres ($\Delta t = t_1 + t_2$)

Det forudsættes herved, at det tager impulsen lige lang tid at nå objektet som at returnere. Derfor anvendes kun halvdelen af den registrerede tid.

A.1.3 Tilfældige fejl ved afstandsmåling

Ved at anvende fejlförplantningsloven på udtrykket fås variansen på en målt afstand:

$$\sigma_s^2 = (\frac{1}{2} \Delta t)^2 * \sigma_c^2 + (\frac{1}{2} C)^2 * \sigma_t^2,$$

hvor

σ_c	Afstandsafhængig fejl (samlet bidrag for tryk, temperatur, luftdensitet)
------------	--

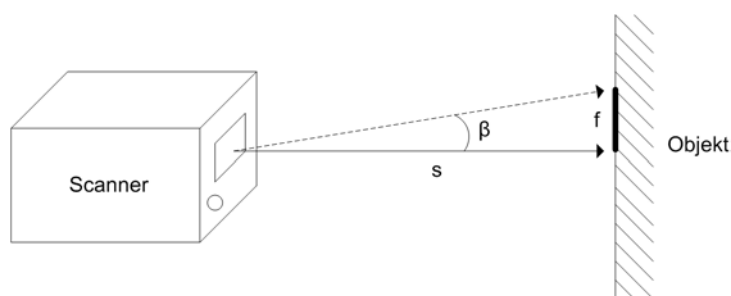
σ_t	Samlet bidrag fra bestemmelsen af tiden. Denne består af fejl fra henholdsvis måling af den udsendte og returnerede impuls.
σ_s	Er fra fabrikantens side oplyst til at være $\pm 4mm$.

Hastigheden for laserlyset er teoretisk set C (lysets hastighed i vakuum), men trykket, temperaturen og partikler i luften (densiteten) reducerer hastigheden, dvs. øger den tid som laserlyset vandrer. Fejlbidraget samles i udtrykket σ_C . Refraktionen anses i denne sammenhæng for at være ubetydelig, idet der arbejdes med afstande på maksimal 100 m.

Det samlede fejlbidrag for tidsbestemmelse kommer fra henholdsvis laserens - og receiverens tidsmåler. Fejl vedrørende bestemmelse af impulsens bølgelængde forudsættes som værende ubetydelig. Såfremt impulsen ikke returneres, registreres dette ved en intensitet på 0, og en tidsbuffer sørger for at afsende en ny impuls relativt hurtig herefter.

A.1.4 Tilfældige fejl ved vinkelmåling

Når afstanden skal måles, bestemmer de roterende spejle vinklen for den udsendte impuls. Da bestemmelsen af vinklen (både horisontalt og vertikalt) er behæftet med tilfældige fejl, vil afstanden til objektet være ukorrekt (stiplet linie). I alt begås en vinkelfejl på β eller omsat til en længdeenhed. Følgende figur A.5 viser princippet for vinkelmåling.



Figur A.5: Princippet ved vinkelmåling.

Ved at anvende simpel trekantsberegning kan fejlbidraget findes:

$$\tan \beta = \frac{f}{s} \Rightarrow \beta = \tan^{-1}\left(\frac{f}{s}\right)$$

For små vinkler gælder at $\tan f \approx f$

hvilket giver: $\beta = \frac{f}{s} \omega,$

hvor

ω Betegner omregningstallet til gon ($\omega = 200/\pi$)

Anvendes fejlförplantningsloven på udtrykket, fås variansen på β :

$$\sigma_{\beta}^2 = \left(\frac{\omega}{s}\right)^2 * \sigma_f^2 + \left(\frac{\omega * f}{s^2}\right)^2 * \sigma_s^2,$$

hvor

σ_f Er bidraget fra bestemmelsen af punktet

σ_{β} Grundfejlen for vinkelmålingsenheden (roterende spejle). σ_{β} er oplyst fra fabrikantens side til at være $60 * 10^{-6}$ radianer (3,8 mgon)

Ved at vende rundt på ovenstående udtryk fås følgende udtryk, idet sidste led forudsættes ubetydeligt:

$$\sigma_f^2 = \sigma_{\beta}^2 * \left(\frac{s}{\omega}\right)^2 \Rightarrow \sigma_f = \sqrt{s^2 \left(\frac{\sigma_{\beta}}{\omega}\right)^2}$$

Betragtes scannerens målemetode som polær, kan punktspredningen i planet her-
 efter opstilles som:

$$\sigma_{P_{XY}} = \sqrt{\frac{\sigma_s^2 + \sigma_f^2}{2}}$$

Den 3-dimensionelle punktspredning opstilles som:

$$\sigma_{P_{XYZ}} = \sqrt{\sigma_s^2 + 2 \cdot \sigma_f^2}$$

Bidraget for punktet multipliceres med to på grund af at denne anvendes som følge af horisontal- og vertikalretningsmåling.

Appendiks B - Overfladmodellering

Dette appendiks er udarbejdet som supplement til kapitel 7.

B.1 Overfladebeskrivelse

Der er forskellige måder, hvorpå en overflade kan beskrives. Til opmålingen af overflader vælges ofte at måle punkter i et organiseret system, da det i mange henseender giver fordele. Opmålingen sker ofte i et struktureret net i den forstand, at punkter bliver målt ud af en linie med samme afstand mellem punkterne eller ud af en linie med et punkt for hver gang, der sker et skift i overfladen. Forbindes punkterne på linierne vil der kunne dannes et organiseret trådnnet i kvadrater eller rektangler. Derudover er det let at finde rundt i datastrukturen for organiserede opmålte punkter. Punkterne kan også opmåles uorganiseret, hvor der måles hver gang overfladen skifter struktur. Når punkterne, hvad enten de er målt organiseret eller uorganiseret, forbindes med deres nabopunkter, dannes en model af overfladen.

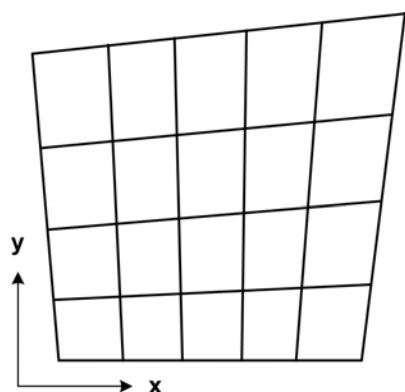
Der er således tale om to overordnede metoder til beskrivelse af overflader:

- Struktureret trådnnetmodel
- Ustruktureret trådnnetmodel

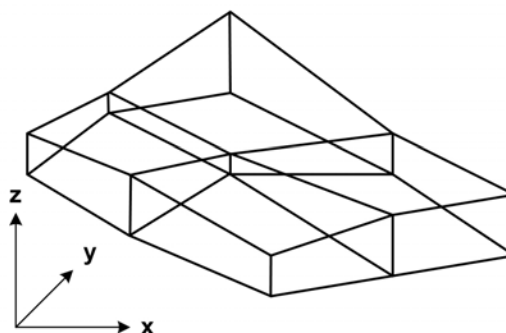
I det følgende beskrives kort de to trådnnetmodeller.

B.1.1 Struktureret trådnnetmodel

Kendetegnet for den strukturerede trådnnetmodel er, at det er et regelmæssigt organiseret net at punkter fordelt over en flade, hvor hvert knudepunkt i det udspændte grid, undtagen grænserne, har fire nabopunkter. I figur 7.1 og 7.2 ses eksempler på strukturerede trådnnetmodeller i henholdsvis 2D og 3D.



Figur B.1: Eksempel på struktureret trådnet i 2D



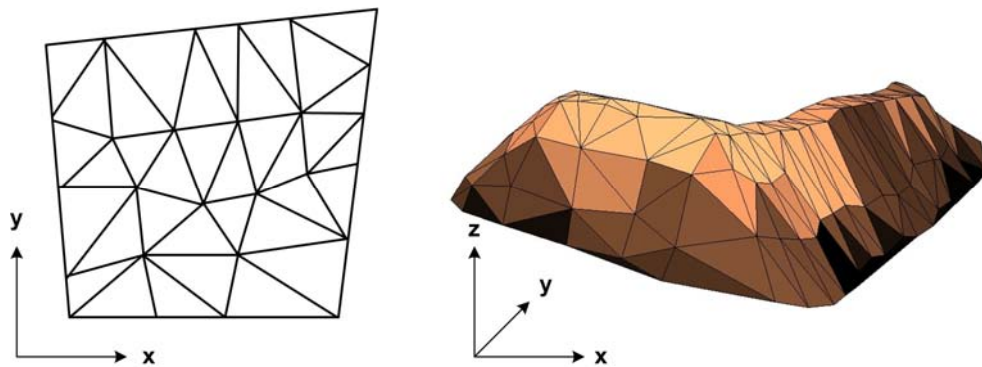
Figur B.2: Eksempel på struktureret trådnet i 3D.

I den strukturerede trådnetmodel er det nemt at finde nabopunkterne. Et grid opdeles i X-rækker og i Y-søjler, således at et vilkårligt punkt har et koordinatsæt (X,Y). Derved bliver det let at spore, hvilke koordinatsæt et punkt befinder sig imellem, og derudfra kan en højde interpoleres imellem de fire hjørnekoordinater. I det strukturerede trådnet er det også let at triangulere mellem de fire hjørnekoordinater i hvert felt. Derved opnås et mindre areal (trekant), hvilket giver en bedre udglatning af overfladen, men i tilfælde, hvor en højde søges, interpoleres kun imellem tre koordinatsæt.

Den strukturerede generering af trådnetmodeller anvendes i tilfælde, hvor objekter har glatte flader og i øvrigt, hvor der er simple objekter (bokse, kugler mm.), der ønskes modelleret. Fordelen ved en struktureret trådnetmodel er, at den er simpel, hvorfor den kræver mindre computerregnekraft. Ulempen ved modellen er manglen på fleksibilitet ved tilpasning af trådnettet til komplicerede former.

B.1.2 Ustruktureret trådnetmodel

Den ustrukturerede trådnetmodel er fortrinsvis en triangulation med forskellige antal lokale naboer til hvert knudepunkt. I tre dimensioner bliver den ustrukturerede trådnetmodel til et grid af tetraeder. [Bern & Eppstein, 1992. s. 50] En TIN-model (Trianguleret irregulært netværk) er et godt eksempel på en ustruktureret trådnetmodel. En TIN-model består, som navnet også antyder, af et netværk af trekanter – se figur B.3 og B.4.



Figur B.3: Eksempel på en TIN-model i 2D Figur B.4: Eksempel på en TIN-model i 3D.

TIN modeller kan bruges til at repræsentere overfladen af geologiske enheder eller de kan defineres som en matematisk funktion. TIN bliver dannet ved at forbinde XYZ-koordinater til et netværk af trekanter – se figur B.3. Overfladen varierer i lineære snit af trekanter, som foregiver den rigtige flade.

Den ustrukturerede generering af trådnnetmodeller anvendes til modellering af komplekse geometriske objekter eller terrænformer. Modellen består af mange forskellige størrelser trekanter og uheldigvis kan nogle blive så dårlige, at de er ubrugelige, da nogle vinkler kan blive utrolige små eller store. Heldigvis kan modellen blive modelleret efter specificeret kriterier til optimale trekanter/tetraeder, hvis nogle af de genererede punkter slettes, og i den ustrukturerede trådnnetmodel kan uønskede elementer forholdsvis nemt slettes i den ustrukturerede generering på grund af deres uafhængige sammenhæng. [Kristensen, 1997, s. 33]. Består den strukturerede trådnnetmodel af mange punkter målt med lille afstand mellem punkterne, er der behov for stor computerregnekraft, til at behandle og generere ustrukturerede trådnnetmodeller.

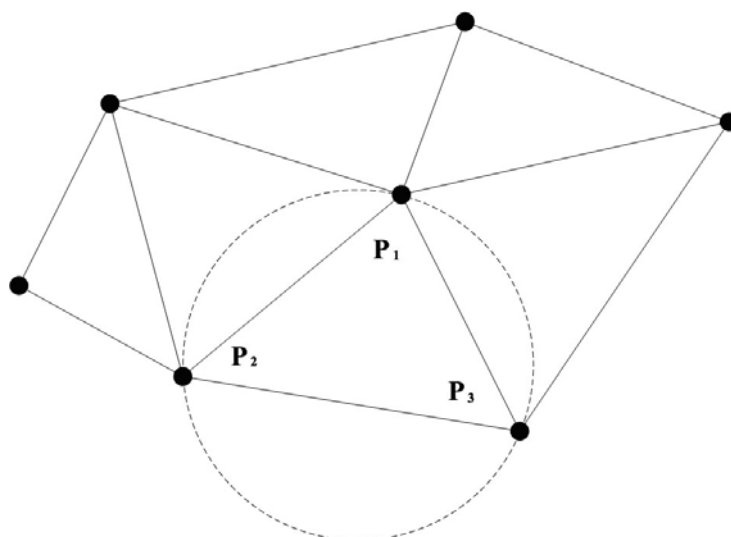
I ustrukturerede trådnnetmodeller er det i datastrukturen nødvendigt med to matricer – én til koordinaterne og én til relationerne punkterne imellem. De forskellige metoder til denne form for generering af trådnnetmodeller er primært:

- Delaunay metoden
- Advancing Front metoden
- Quadtree/Octree metoden

I det følgende beskrives hver metode.

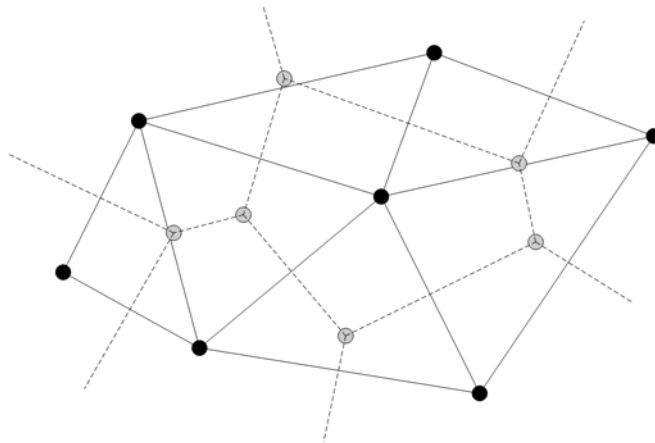
Delaunay metoden

Delaunay triangulation er en almindelig anvendt metode til at generere overflademodeller til f.eks. volumenberegninger. Det grundlæggende princip i en hver triangulation er at få produceret et unikt sæt trekanter, som er så ligesidet, som muligt og med så korte sidelængder som muligt. Der findes mange forskellige metoder til triangulation, men delaunay triangulation har været den dominerende pga. metodens evne til at opdele overfladen i optimale trekanter. Hvis en trekant i en delaunay triangulation er defineret af punkterne P_1 , P_2 og P_3 , ligger ingen andre punkter indenfor en cirkel defineret af P_1 , P_2 og P_3 . Dette kriterium er det grundlæggende for delaunay triangulation – se figur B.5.



Figur B.5: Viser grundprincippet i delaunay triangulation.

En anden måde hvorpå delaunay triangulationen kan visualiseres på, er ved Voronoi diagrammer, som også kaldes Thiessen polygoner.



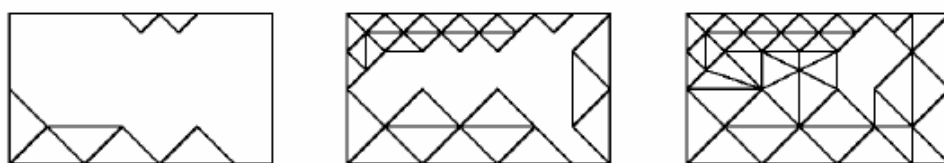
Figur B.6: Her ses Delaunay triangulationen fra før (sorte linjer), men med voronoi diagrammer (stiplede linjer).

En overflade inddeles i trekanter, normalt med den restriktion, at hver trekantside er komplet delt mellem to tilstødende trekanter. Voronoi diagrammet inddeler overfladen i polygoner; en for hvert originalt punkt i punktsættet. Skæringerne i trådnettet sker i de såkaldte Steiner punkter. Sidestykkerne i polygonerne befinder sig midt i mellem de centrale punkter (originale punkter), hvorfor Steiner punkterne i en given polygon ligger lige langt fra hvert af de involverede centrale punkter – se figur B.6 ovenover.

Advancing Front metoden

Advancing Front metoden placerer elementer og ikke kun Steiner punkter. Denne tilgang giver en mere direkte kontrol af elementernes former. Dette er en fordel omkring grænserne, da disse oftest er problemområder, eller idet grænserne kan være et område for en speciel interesse. Eksempelvis har det stor interesse indenfor aerodynamik, hvor former er altafgørende. [Bern & Plassmann, 2000, s. 10].

Metoden starter med at opdele grænserne for trådnetmodellen i trekanter (to dimensioner) og tetraeder (tre dimensioner). Trekanterne eller tetraedrene dannes en efter en, hvor udgangspunktet er grænserne. Herefter arbejdes der ind mod midten – se figur B.7.



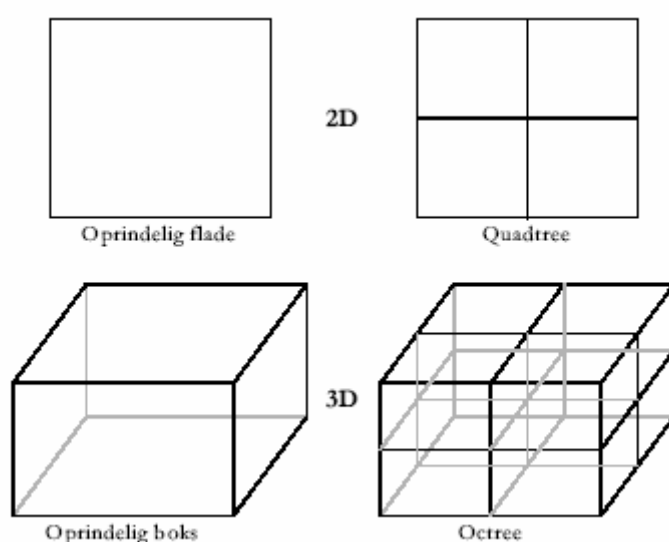
Figur B.7: Eksempel på stadier i Advancing Front metoden.

Det er imidlertid kompliceret at anvende metoden i 3D. Hertil skal opstilles en del kvalitetskrav, der bl.a. sikrer, at elementerne ikke overlapper hinanden, og at de korrekte punkter udvælges til dannelsen af optimale tetraeder i trådnetmodellen.

Quadtree/Octree metoden (blokstruktureret)

En blokstruktureret generering er en hybrid trådnetmodel, dvs. en kombination af den strukturerede og ustrukturerede trådnetmodel. For at tilpasse et trådnet til en kompliceret model kombineres mange små strukturerede trådnetmodeller til en samlet ustruktureret trådnetmodel. Den blokstrukturerede generering finder anvendelse for både simple og komplicerede objekter.

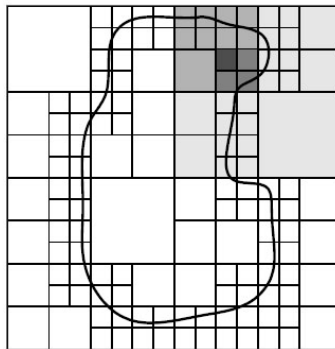
Det grundlæggende princip i Quadtree metoden (to dimensioner) og Octree metoden (tre dimensioner) er at danne trådnetmodeller ud fra en hierarkisk opbygning gennem enten kvadrater eller bokse – se figur B.8.



Figur B.8: Opdeling i kvadrater og bokse ved Quadtree/Octree metoden.

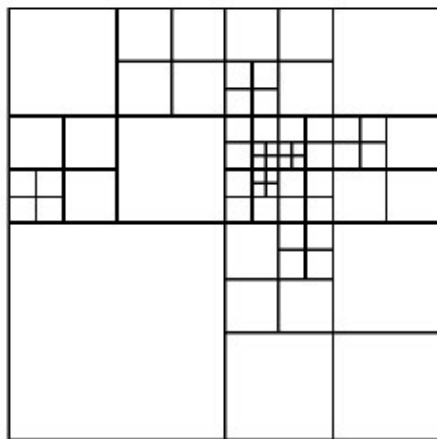
Et kvadrat opdeles i fire mindre kvadrater og disse kan igen opdeles osv., mens en rumlig boks opdeles i otte mindre bokse, der igen kan opdeles til mindre bokse.

Et objekt eller en overflade kan således opdeles i forskellige størrelser kvadrater (hierarkisk struktur) alt afhængig af detaljeringsgraden på objektet eller i overfladen – se figur B.9.

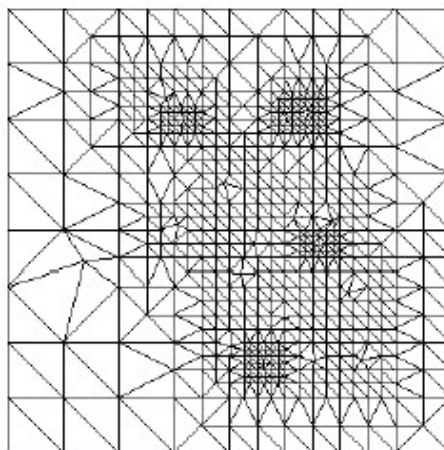


Figur B.9: Hierarkisk struktur ved kvadrater.

Quadtree metoden anvender som de forrige metoder også triangulering, men dette gøres nu ved at opbygge quadrees omkring punktsættet. Oftest indsættes en såkaldt balancebetingelse for, hvorledes cellerne skal dannes. Betingelsen udtrykkes som: Ingen celle må støde op til en celle mindre end halvdelen af dens egen størrelse. Dette betyder, at antallet af celler under den celle, som fylder hele området, stiger med en faktor 8. Cellerne deles, så hvert punkt (originalt) er velafgrænset fra de øvrige, og kun ét punkt befinder sig i en celle på laveste niveau. Dernæst vælger hvert punkt (originalt) den nærmeste knude i cellegriddet (ingen knude kan vælges to gange). Den valgte knude fjernes fra cellegriddet (quadtree) – se figur B.7, og dets liniestykker genforbindes til punktet (originalt). [Bern & Plassmann, 2000, s. 14]. Herefter trianguleres cellegriddet. Et eksempel på en triangulering ses på figur B.7. Hver trekant i trianguleringen har en højde proportionalt med den mindste quadtree celle, den berører. Vinklerne i trekanten vil derfor altid være gode, og ingen vinkel vil være under $\arctan(0,5) \approx 26,5^\circ$. [Bern & Eppstein, 1992, s. 23].



Figur B.10: Et eksempel på Quadtree. [Bern & Eppstein, 1992].



Figur B.10: Et eksempel på triangulering af et quadtree. [Bern & Eppstein, 1992].

Bilag A - Interviews

Telefoninterview med Jens Henriksen d. 17/02 2005

Jens Henriksens - 35 års erfaring indenfor opmåling og afsætning

Karriereforløb:

15 år som landmålingstekniker ved landinspektørfirma

10 år som landmåler ved amt og kommuner

10 år som landmåler ved såvel store som mindre entreprenører

Driver pt. egen virksomhed– J.H. Landmåling

Anker: Vi er i gang med at lave et projekt, som omhandler volumenberegning med terrestrisk laserscanning. Vi ønsker at undersøge, om det kan lade sig gøre at bestemme den mængde materiale, f.eks. sand, der er på laddet af en lastbil. Laddet på lastbilen skal scannes tom, hvis informationerne om det tomme lad ikke allerede findes i systemet og så igen scannes, når den er blevet læsset. Vi forstiller os at lastbilen skal køre igennem en portal, hvor den skal scannes – dog skal lastbilen holde stille, når den scannes. Denne procedure inklusiv beregningerne ville komme til at tage ca. 1 minut. Vi regner med at hele systemet; scanner, pc og software vil maks. komme til, at koste omkring 50.000 kroner.

Anker: Hvor ofte har du fortaget stikprøvekontrol af de mængder, som f.eks. sand, der bliver leveret til de byggepladser, du har været involveret i?

Jens: Det er jo ikke noget, vi gør hver dag, men ved store leverancer eller, hvis vi har mistanke om, at de kører med for lidt læs i forhold til de antal m³, de oplyser, de har med.

Anker: Hvordan rent opmålingsmæssigt fortager du den kontrol?

Jens: Man måler laddet op tomt og med læs på, og det gør jeg typisk med målebånd. Først måles laddet med læs på, hvor læsset er blevet jævnet ud af 3-4 mand, så det tilnærmelsesvist er vandret – herefter måler jeg fra overkant af laddet og ned til det udjævnede sand, og denne procedure gentager jeg, indtil jeg mener at have målinger nok til at kunne fortage en repræsentativ beregning. Mængden tippes herefter af, og jeg foretager så en opmåling af det tomme lad. Når disse to opmålinger er foretaget, beregner jeg mængden.

Når vi så har foretaget en opmåling, og hvis vi har konstateret, at der mangler de og de m³, kommer der efterfølgende mere på, så en stikprøvekontrol virker også præventivt. Det, vi konstaterer, er, at der oftest bliver kørt med mindre mængder, end det der oplyses.

Der findes også andre metoder at fortage opmålingen på:

2: Der læses af på en jævn flade, som er opmålt forinden, og så måler man efterfølgende bunken op. Ved denne metode anvendes der totalstation.

3: Ved denne metode skal vandindholdet måles, og herefter vejer man laddet både med og uden læs. Herefter regner man det om for at finde ud af hvor mange m³, der er på læsset. Denne metode er nok den mest nøjagtige metode, men er også meget besværlig, da den kræver laboranter i forbindelse med undersøgelse af vandindholdet i materialet.

Anker: Hvilken af disse metoder, som du omtaler, anvendes mest?

Jens: Der er helt klart den første – opmåling med målebånd, og dette er på grund af anvendeligheden, og da den jo også virker præventivt.

Det rygtes som en steppebrand mellem chaufførerne, når der foretages en sådan stikprøvekontrol og får dermed mere læs på – det er det, vi har konstateret.

I de tilfælde, hvor tingene virkelig bliver sat på en spids, køres læsset til en vejer og materialet analyseres af en laborant mht. vandindholdet. Grunden til, at det ikke bare er nok at veje materialet, er, at vandindholdet i materialet har en afgørende betydning, når det vejes. Rumvægten er jo betydeligt anderledes ved tørt sand, end den er ved vådt sand. En sådan proces med vejning og analyse af vandindholdet er en bekostelige affære.

Anker: Tror du, at det er en bevist handling fra leverandørens (grusgravens) side, at de lægger mindre på, end det de opgiver?

Jens: Det kunne man godt have en mistanke om, og hvis man f.eks. har forhandlet sig til en leverance til en meget gunstig pris, så kræver det jo ikke den store fantasi at regne ud, hvordan leverandøren kan tjene ekstra på den indgåede aftale! Når der er forhandlet en pris på en mængde materiale ja så er den jo forhandlet, og så skal man have de mængder, der er indgået aftale om! Men det er et meget stort problem.

Anker: Hvor nøjagtigt mener du, at kunne bestemme mængden, når opmålingsmetoden med målebånd anvendes?

Jens: Jeg ved det ikke rigtig - det er svært at komme med en præcis definition af, hvor nøjagtig det kan bestemmes. Det er i hvert fald ikke 100 % nøjagtig, men tilnærmelsesvist, fordi chaufføren jo er med oppe i laddet og er enig i de mål, der bliver taget, og på den måde sikres, det at vi ikke laver numre med målene. Vi prøver at lave en så objektiv opmåling som mulig. Nogle af de lad, som lastbilerne kører med, er runde i bunden, og andre har en masse skæve vinkler og trekantede osv., så nogle gange er det en større operation.

Anker: Hvad mener du om perspektivet i vores projekt? – er metoden brugbar?

Jens: Det er ganske fint, synes jeg, og ikke mindst på grund af troværdigheden ved den metode som typisk anvendes, opmåling med målebånd, da den giver anledning til en masse problemer på den ene eller anden måde, da der er delte meninger om nøjagtigheden, og det vil et system, som det du snakker om, kunne løse i og med, at nøjagtigheden er kendt, og det er der stor brug for. Jeg tror, at der er mange, der vil hilse metoden velkommen og benytte sig af systemet – hvis prisen er rimelig. Jeg ved ikke om en investering på ca. 50.000 vil afskrække nogen, men det koster jo også mange penge at lave disse opmålinger, og hvis man har store leverancer og ofte foretager stikprøvekontroller, kan systemet snart tjene sig selv ind.

Anker: Slutteligt vil jeg gerne spørge dig om, hvem konflikten berører? – er det kun grusgraven, kontra den entreprenør der køber materialet, eller er vognmanden også indblandet?

Jens: Det bliver altid et spørgsmål om afregning i den sidste ende, så det er både vognmand, grusgraven og entreprenøren. Man kan sige at vognmanden ikke er så meget involveret, men så alligevel da det er vognmanden, der leverer materialet ud fra en aftale om, at han skal levere så og så mange m³.

Efterfølgende spørgsmål er indhentet løbende som supplerende oplysninger – da der igennem projektforsløbet har været behov for yderligere information.

Anker: Hvordan er opbygningen af en motorvej, og her tænker jeg på opbygningen med hensyn til sand og stabilgrus?

Jens: En generel tykkelse på sand og stabilgrus vedrørende opbygningen af en motorvej er ca. 60 – 70 cm sand/bundsikring. Dette er dog lidt svævende da tykkelsen af det sand/bundsikring, der skal indbygges

afhænger af kvaliteten af den underliggende jord, og kan derfor variere meget. Men derimod er tykkelsen på det stabilgrus som indbygges mere konstant, og ligger typisk på 25 cm.

Anker: Hvor bred er en motorvej's vejkasse?

Jens: Vejkassen for en traditionel to sporet motorvej er ca. 18 meter.

Anker: Ved opmåling af sand på laddet af en lastbil, hvor mange punkter vil du så mene, der skulle opmåles for at få et repræsentativt bud på volumenet?

Jens: Omkring 80 punkter.

For yderlige information eller for uddybende forklaringer, vedrørende ovenstående interview, kan Jens Henriksen, kontaktes på telefon 40 19 78 46

Interview med Kim Juel Rasmussen d. 14/03 2005

Kim Juel Rasmussen - 29 års erfaring indenfor entreprenørbranchen

Anker: Vil du starte med, at fortælle lidt omkring din erhvervsmæssige baggrund?

Kim: Jeg har været entreprenør siden jeg var 19 år. Op igennem 80'erne var jeg én af Danmarks største jordflyttere – flyttede 1,5 millioner m³ jord om året. Havde en maskinpark til en værdi af ca. 30 millioner. De arbejdsopgaver mit firma har beskæftiget sig med, er alt lige fra vejbyggeri til jordarbejder i forbindelse med industribyggerier. Ud over entreprenørfirma havde jeg et firma, der hed Århus sten og grus industri, hvor vi selv havde to store grusgrave, hvor vi havde en produktion på 500.000 m³ om året. Vi leverede hovedsagligt sand og stabilgrus til vejbyggeri og byggemodninger. I 90'erne, hvor muren faldt i Berlin, startede jeg et firma op i Berlin – TPC Erdbau, og der var vi frem til 1999. Arbejdsopgaverne dette firma varetog, var ligeledes alt lige fra jordflytning i forbindelse med vejbyggeri til industribyggerier. I Berlin ejede og drev jeg også en stor grusgrav med salg af sand og stabilgrus til entreprenørbranchen. I dag driver jeg kun entreprenørvirksomhed i Danmark.

Anker: Når en lastbil kommer til en grusgrav og skal have læsset et materiale som f.eks. sand, hvordan bestemmes volumen af sandet så?

Kim: Det afhænger af flere ting; hvilken grusgrav det er, og hvilket materiale det er. Men generelt for et materiale som sand, læsses og sælges det i m³ og mængden bestemmes mere eller mindre på slup, forstået på den måde, at det afhænger af gummigedsføreren. Føreren ved, hvor stor skovl han har på eller sagt på en anden måde – han ved, hvor mange m³, der kan være i skovlen. Ud fra kendskabet til,

hvor mange m³ der kan være i skovlen, vurderer gummigedsføreren, hvornår han har læsset den ønskede mængde på lastbilen.

Anker: Kan du sige noget om usikkerheden ved denne metode – hvor meget afvigelse kan der være på et læs, hvor der er ønsket en mængde på 20 m³? Ligger det fra 19 til 20 m³, eller hvor meget kan der være tale om?

Kim: Det kan ligge helt nede ved 16 m³ men næsten aldrig til den anden side. Der er mange faktor ved det her, fordi mange tror, at den maskine, der læsset, tager mere end det den gør, og så er der samtidig det, at chaufføren, der kører den pågældende lastbil, i mange tilfælde er årsagen eller særdeles medvirkende til, at der ikke kommer det antal m³, der skal på. Hvis for eksempel det er en sættevogn, der læsset, kravler chaufføren op ad den stige, der er foran på sættevognen og dirigerer gummigedsføreren, og når han kommer med den sidste skovlfuld, så giver han næsten altid tegn til gummigedsføreren om, at han ikke vil have det hele læsset af, hvilket betyder, at han ikke har den aftalte mængde på laddet, men han får en køreseddel med, hvorpå der står den aftalte mængde. Så derfor kan der være meget stor variation på det, der er på følgeseddelen, og det kunden bliver faktureret for.

Anker: Hvor anvendt er brovægte i grusgrave?

Kim: Det er langt fra alle, men de findes i de store grusgrave, specielt i de grusgrave, som leverer materialer til asfalt- og beton industrien, da der her handles med materialer, som koster fra 100 til 200 kroner pr. ton. Men, hvis vi snakker om grusgrave, som primært leverer materiale til vejbygning, er det ikke almindeligt, at de har en brovægt. Jeg har ikke haft brovægt i mine grusgrave. Men i disse grusgrave har de vejeudstyr i gummigeden, men så er vi over og snakke om ton. Ved afregning i ton frem for m³ er der også stor usikkerhed, da der diskuteres, hvilken rumvægt materialerne har. Grusgravene er af den opfattelse, at deres materialer har en rumvægt på så og så

meget, og entreprenørerne er helt overbevist om, at materialerne har en helt anden rumvægt, og så er konflikten der.

Anker: Når du får leveret et materiale, som f.eks. sand til dine byggepladser, hvor tit foretager du så stikprøvekontroller af den mængde, lastbilerne kører med?

Kim: Det gør vi altid og med jævne mellemrum, og det passer næsten aldrig. Der er næsten altid for lidt på i forhold til den mængde, der er opgivet på køreseddelen. I tilfælde, hvor vi afregner pr. ton, hvilket vi ikke gør ret tit på grund af flere ting, foretager vi også stikprøvekontroller.

Anker: I de tilfælde, hvor der afregnes pr. ton, hvordan bestemmes omregningsfaktor så?

Kim: Man tager en 8 m³ container, og får den vejlet på en brovægt. Efterfølgende fylder man den op med det pågældende materiale, og retter herefter materialet af med et bræt eller lignende, så der er lige præcis 8 m³ i containeren. Containeren vejes igen og de to vejninger trækkes fra hinanden, og man har et udtryk for rumvægten.

Anker: Hvad synes du om vores ide med, at en lastbil skal køre under en slags portal, som er mobil, hvor læsset bliver scannet og volumenet beregnes efterfølgende?

Kim: Jeg synes, det er en kanon ide og et fantastisk redskab, hvis det kan det, du fortæller. Jeg ser dog ingen grund til at systemet skal være mobilt. Hvis det skal anvendes i en grusgrav her, skulle det nok laves permanent og på et godt fundament. Systemet skal jo foretage mange scanninger i løbet af en dag, og derfor tror jeg, det er bedre, at det opføres som en mere stabil konstruktion. Skal f.eks. en entreprenør anvende systemet til stikprøvekontroller, skal det være mobilt og let at transportere, da der i de fleste tilfælde ikke er meget plads på en byggeplads, og at der på en enkelt entrepris typiske er

mange aflæsningssteder for materialer. Ydermere er tid, nøjagtighed og pris meget vigtige faktorer. Det må ikke tage for lang tid på grund af, at vognmanden ikke fejner penge, når han holder stille. Nøjagtigheden af volumenbestemmelsen skal være med en lille fejlmargin og skal kunne dokumenteres, da dette vil kunne aflive stridigheder omkring, hvor meget der er/har været på laddet af lastbilen. Prisen for et samlet system må heller ikke være for høj, men et sted mellem prisen på en brovægt og prisen på de vejesystemer, der sidder i en gummiged, er okay.

Anker: Ser du en fremtid for et sådan system?

Kim: Der har altid været slagsmål mellem vognmand og entreprenør om det volumen, der transporteres, og med et system som du præsenterer for mig, tror jeg bestemt at slagsmål ophører, hvis de enkelte resultater fra de enkelte scanninger kan bruges som dokumentation. Jeg tror også, at alle parter vil være interesseret, da vi snakker om rigtig mange penge. Vi har altid, når vi har konstateret at en lastbil f.eks. har haft 18 m³ på i stedet for de 20 m³, der står på køreseddelen, regnet tilbage forstået på den måde, at alle de læs, som netop den chauffør har leveret til den pågældende byggeplads, vil blive afregnet som 18 m³. Så det er klart med et system som begge parter anerkender som gyldig dokumentation for, hvor meget lastbilerne kører med, vil føre til, at slagsmålet vil ophøre, og det er meget positivt.

Et andet element i den diskussion, der er mellem vognmand og entreprenør som systemet kunne aflive, hvis det stod i grusgraven, er, at der blandt vognmændene er vedtaget regler om, at et læs der er læsset løst, enten sand eller grus, må sætte sig 10 % under transporten fra grusgraven til byggepladsen. Dette er entreprenøren overhovedet ikke enig i. Det er en fuldstændig vanvigtig beslutning, for det passer slet ikke. I de snart 30 år jeg har drevet entreprenørforretning, har jeg tilbudt samtlige af de vognmænd vi har diskuteret med, at de må læsse en lastbil helt fuld, hvorefter vi trækker læs-

set af med et bræt eller lignede, så der er læs helt op til kanten og så ligger vi presenning over, så der ikke er noget, der blæser af. Herefter skal chaufføren, vognmanden og jeg selv køre rundt med det her læs en hel dag, og når det så bliver aften, piller vi presenningen af og ser, hvor meget læsset har sat sig oppe i laddet. Jeg har tilbudt at betale både chauffør og vognmand 1000 kroner i timen for de timer, vi bruger på det, men det er der ikke en vognmand, der har villet. Så hvis systemet skal kunne aflive denne diskussion, skal det stå i grusgraven, men man kunne jo også bare foretage stikprøvekontrollen i grusgrave.

Efterfølgende spørgsmål er indhentet løbende som supplerende oplysninger – da der igennem projektforsløbet har været behov for yderligere information.

Anker: Hvor meget sand/bundsikrings og stabilgrus sælges der i en grusgrav pr. år?

Kim: Det er svært at svare konkret på, da det afhænger af størrelsen på grusgraven, men ud fra en general betragtning er det alt lige fra 200.000 m³ og op efter.

For yderligere information eller for uddybende forklaringer, vedrørende ovenstående interview, kan Kim Juel Rasmussen kontaktes på telefon 27 10 27 10

Bilag B – Beskrivelse af loadtronic II

Loadtronic II er et vejningssystem, som automatisk vejer og registrerer, hvad der læsses. Loadtronic II registrerer kontinuerligt løftearmens position, og måler det hydrauliske tryk i løftearmens stempler. På baggrund af dette kan elektronikken i Loadtronic II kompensere for trykforandringer under læsseforløbet, for dermed at sikre vejningen en høj nøjagtighed. Der er ikke behov for at stoppe op, når der skal vejes, da dette sker automatisk også på ujævnt underlag.

Loadtronic II komponenter ses i nedenstående figur B.1:



Figur B.1: Loadtronic II's komponenter.

Som det ses af ovenstående figur, udgøres det samlede system af vinkelsensor, tryksensor, bevægelsessensor, skuffesensor, printer og en computer.

Systemets computer kan lagre de sidste 2800 vejninger, som kan sorteres efter kunde, bil, materiale og gummiged. F.eks. kan man indtaste, at en kunde ønsker at få læsset 20 ton, og systemet tæller herefter ned, i takt med at der læsses. På displayet vises det ønskede læs i ton, hvor meget der er læsset på, og hvor meget der mangler. Den information, som vises på displayet, kan også udskrives og kan anvendes som en kvittering på læsset.

Systemet har en nøjagtighed på ± 1 % af den samlede vægt, der vejes.

Prisen for dette system alt inklusiv herunder montage og installation er ca. 55.000 kr. Prisen afhænger dog af, hvilken type gummiged systemet ønskes anvendt på. Indhentede priser for Volvo gummiged er 55.514 kr. og for en Cat gummiged 58.514 kr. Priserne er oplyst af Lars Jørgensen fra Volvo Entreprenørmaskiner A/S den 28/04 2005.

For yderligere information om Loadtronic II henvises til www.loadtronic.com

Bilag C – Brovægt

Informationerne, som ligger til grund for dette bilag, er tilvejebragt ud fra telefonsamtale med Bjarne Thorsager fra firmaet Danvægt, samt informationer fra hjemmesiden www.danvaegt.dk den 19/05 2005.

Der findes mange forskellige typer af brovægte, men ifølge samtalen med Bjarne Thorsager er der to modeller, der specielt egner sig til grusgrave, og disse er model DT og DF.

Model DT er en brovægt, der støbes og samles på det pågældende sted. Modellen er efter monteringen permanent, og kan derfor ikke flyttes. Model DT kan ses i nedenstående figur C.1.



Figur C.1: Illustration af model DT.

Prisen for model DT er ca. 180.000 kr., og hertil kommer en ekstra udgift til edb og programmer, som kan variere fra 5.000 kr. og op til 70.000 kr., alt efter kundens ønske.

Model DF er en fritliggende og flytbar brovægt, hvilket giver en stor fleksibilitet i udnyttelsen af brovægten. Denne model leveres som en samlet enhed og er forsynet med fire løftebeslag, så hele konstruktionen kan løftes op på en bil, og dermed transporteres til et andet anvendelsessted. Model DF kan ses i nedenstående figur C.2.



Figur C.2: Illustration af model DF.

Prisen for model DT er ca. 230.000 kr., og hertil kommer en ekstra udgift til edb og programmer, som kan variere fra 5.000 kr. og op til 70.000 kr., alt efter kundens ønske.

Med hensyn til usikkerheden er den det samme for begge modeller og kan ses i følgende figur C.3.

Nøjagtighed			
Model DT og DF	0 → 10 tons	10 → 40 tons	40 → 80 tons
	10 kg.	20 kg.	30 kg.

Figur C.3: Nøjagtigheder vedrørende brovægte model DT og DF.

Ud fra ovenstående figur C.3 kan det udledes at usikkerheden på en vejning af en lastbil samt sættevogn læsset med sand er ca. 30 kg, da det forudsættes at en lastbil samt sættevogn læsset med sand vejer ca. 48 ton jf. nedenstående figur C.4.

Vægt for lastbil samt sættevogn læsset med 20 m ³ sand		
Sand	20 m ³	20 x 1,70 = 34 tons
Lastbil + sættevogn		14 tons
Total vægt	34 tons + 14 tons	48 tons

Figur C.4: Udregninger vedrørende vægt af lastbil og sættevogn.

Som det ses af ovenstående figur C.4 regnes der med en omregningsfaktor på 1,7 [www.mindstrupgaard.dk]

For at se, hvilken usikkerhed dette giver i volumen, er følgende udregninger foretaget:

$$1m^3 = 1700kg$$

↓

$$\frac{1m^3}{1700kg} \cdot 30kg = 0,018m^3$$

Ovenstående udregningen viser, at usikkerheden ved brug af brovægt pr. vognlæs (20 m³) er 0,018 m³, hvilket svarer til 0,09 %.

Bilag D - Punktspredning

Følgende bilag omhandler udregningen af den forventede punktspredning ved polær måling. Som det første led i denne udregning defineres punktspredningen for de plane koordinater.

$$\sigma_{XY} = \sqrt{\frac{\sigma_Y^2 + \sigma_X^2}{2}} \quad [\text{Jensen, 2002, s. 65}]$$

For at kunne beregne et skøn for punktspredningen ved polær måling anvendes følgende udtryk.

$$\sigma_{XY} = \sqrt{\frac{\sigma_S^2 + \sigma_\beta^2 \frac{S^2}{\omega^2}}{2}} \quad [\text{Jensen, 2002, s. 65}]$$

hvor

$$\sigma_S^2 = (\sin V)^2 \left[\sigma_g^2 + (\sigma_a S_d \cdot 10^{-3})^2 + \sigma_{ci}^2 + \sigma_{cp}^2 \right] + (S_d \cos V)^2 \frac{\sigma_v^2}{n_v \omega^2}$$

[Jensen, 2002, s. 15]

$$\sigma_\beta^2 = \left(\frac{\sigma_r^2}{n_{hz}} \right) + \left(\frac{\omega}{S_F} \right)^2 (\sigma_{ci}^2 + \sigma_{cp}^2) + \left(\frac{\sigma_r^2}{n_{hz}} \right) + \left(\frac{\omega}{S_T} \right)^2 (\sigma_{ci}^2 + \sigma_{cp}^2)$$

[Jensen, 2002, s. 9]

hvor

V er zenitdistancen i gon (150)

σ_g er grundfejlen i meter (0,002)

σ_a er den afstandsafhængige fejl i meter pr. kilometer (0,002)

S_d er den målte skrå afstand i meter (10)

σ_{ci} er spredningen på centringen af instrumentet i meter (0,001)

σ_{cp} er spredningen på centringen af prismet i meter (0,005)

σ_v er spredningen på zenitdistancen (0,001)

n_v er antallet af målte satser ($\frac{1}{2}$)

ω er $200\text{gon}/\pi$

σ_r er spredningen på en horisontalretning målt med en sats (0,001)

n_{hz} er antallet af satser ($\frac{1}{2}$)

S_F er sigtelængden vedrørende det ene punkt i meter, her F (10)

S_T er sigtelængden vedrørende det andet punkt i meter, her T (10)

Ved indsættelse af oplyste specifikationer for en TC 1105 totalstation samt de gældende afstande og vinkler for målesituationen, kan den forventede punktspredningen udregnes ved at indsætte disse værdier i ovenstående udtryk.

$$\sigma_s^2 = (\sin V)^2 \left[\sigma_g^2 + (\sigma_a S_d \cdot 10^{-3})^2 + \sigma_{ci}^2 + \sigma_{cp}^2 \right] + (S_d \cos V)^2 \frac{\sigma_v^2}{n_v \omega^2}$$

↓

$$\sigma_s^2 = (\sin 150)^2 \left[0,002^2 + (0,002 \cdot 10 \cdot 10^{-3})^2 + 0,001^2 + 0,005^2 \right] + (10 \cdot \cos 150)^2 \frac{0,001^2}{\frac{1}{2} \cdot \frac{200}{\pi}}$$

↓

$$\sigma_s^2 = 1,657 \cdot 10^{-5}$$

↓

$$\sigma_s = \sqrt{1,657 \cdot 10^{-5}}$$

↓

$$\sigma_s = 0,004 \text{ m}$$

Ovenstående værdi er udtryk for spredningen på den reducerede afstand. Næste led i udregningen af skønnet på punktspredning er at udregne spredningen på horisontalvinklen.

$$\sigma_{\beta}^2 = \left(\frac{\sigma_r^2}{n_{hz}} \right) + \left(\frac{\omega}{S_F} \right)^2 (\sigma_{ci}^2 + \sigma_{cs}^2) + \left(\frac{\sigma_r^2}{n_{hz}} \right) + \left(\frac{\omega}{S_T} \right)^2 (\sigma_{ci}^2 + \sigma_{cs}^2)$$

Da der regnes med den samme afstand for S_F og S_T kan udtrykket reduceres til følgende.

$$\sigma_{\beta}^2 = \left(\left(\frac{\sigma_r^2}{n_{hz}} \right) + \left(\frac{\omega}{S} \right)^2 (\sigma_{ci}^2 + \sigma_{cs}^2) \right) \cdot 2$$

↓

$$\sigma_{\beta}^2 = \left(\left(\frac{0,001^2}{\frac{1}{2}} \right) + \left(\frac{\frac{200}{\pi}}{10} \right)^2 (0,001^2 + 0,005^2) \right) \cdot 2$$

↓

$$\sigma_{\beta}^2 = 2,111 \cdot 10^{-3}$$

↓

$$\sigma_{\beta} = \sqrt{2,111 \cdot 10^{-3}}$$

↓

$$\sigma_{\beta} = 0,046 \text{ gon}$$

De udregnede værdier for spredningen på den reducerede afstand og spredningen på horisontalvinklen kan nu indsættes i udtrykket i for punktspredningen.

$$\sigma_{XY} = \sqrt{\frac{\sigma_S^2 + \sigma_{\beta}^2 \frac{S^2}{\omega^2}}{2}}$$

↓

$$\sigma_{XY} = \sqrt{\frac{1,657 \cdot 10^{-5} + 2,111 \cdot 10^{-3} \frac{10^2}{\left(\frac{200}{\pi}\right)^2}}{2}}$$

⇓

$$\sigma_{XY} = \sqrt{3,4328 \cdot 10^{-5}}$$

⇓

$$\sigma_{XY} = 0,0058 \text{ meter}$$

Ifølge ovenstående beregninger kan der altså forventes en spredning i planen på et opmålt punkt på ca. 6 mm. Men da spredningen på højden også har indflydelse beregnes denne ligeledes.

Højden til et punkt, målt polært, beregnes ud fra følgende udtryk:

$$H = H_A + \Delta H \quad [\text{Jensen, 2002, s. 69}]$$

hvor

H_A er opstillingspunktets højde i meter

ΔH er højdeforskellen fra opstillingspunktet til opmålingspunktet

Anvendes den simple fejlforplantningslov på ovenstående udtryk, kan der opstilles et udtryk for spredningen på højden:

$$\sigma_Z = \sqrt{\sigma_{H_A}^2 + \sigma_{\Delta H}^2}$$

hvor

$\sigma_{H_A}^2$ er spredningen på opstillingspunktet i meter

$$\sigma_{\Delta H}^2 = \left[(\cos V) + \left(2S_d \frac{1 - k_{ref}}{2R} \sin^2 V \right) \right]^2 \cdot \sigma_{Sd}^2$$

$$\begin{aligned}
 & + \left[(-S_d \sin V) + \left(2 \sin V \cos V \left(\frac{(1 - k_{ref}) S_d^2}{2R} \right) \right) \right]^2 \cdot \frac{\sigma_V^2}{n_V \omega^2} \\
 & + \left[\frac{S_d^2 \sin^2 V}{2R} \right]^2 \cdot \sigma_{kref}^2 + 1^2 \cdot \sigma_{ih}^2 + (-1)^2 \cdot \sigma_{sh}^2 \quad [\text{Jensen, 2002, s. 28}]
 \end{aligned}$$

hvor

σ_{Sd} er spredningen på den målte afstand i meter (0,005)

σ_V er spredningen på zenitdistancen målt med én sats i gon (0,001)

n_V er antallet af målte satser ($1/2$)

σ_{kref} er spredningen på refraktionskoefficienten (0,13)

σ_{ih} er spredningen på instrumenthøjden i meter (0,005)

σ_{sh} er spredningen på sigteskivehøjden i meter (0,005)

Ved indsættelse af oplyste specifikationer for en TC 1105 totalstation samt de gældende afstande og vinkler for målesituationen, kan den forventede spredningen på højden udregnes ved at indsætte disse værdier i ovenstående udtryk.

$$\begin{aligned}
 \sigma_{\Delta H}^2 & = \left[(\cos V) + \left(2 S_d \frac{1 - k_{ref}}{2R} \sin^2 V \right) \right]^2 \cdot \sigma_{Sd}^2 \\
 & + \left[(-S_d \sin V) + \left(2 \sin V \cos V \left(\frac{(1 - k_{ref}) S_d^2}{2R} \right) \right) \right]^2 \cdot \frac{\sigma_V^2}{n_V \omega^2} \\
 & + \left[\frac{S_d^2 \sin^2 V}{2R} \right]^2 \cdot \sigma_{kref}^2 + 1^2 \cdot \sigma_{ih}^2 + (-1)^2 \cdot \sigma_{sh}^2 \\
 & \Downarrow
 \end{aligned}$$

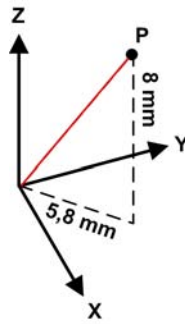
$$\begin{aligned} \sigma_{\Delta H}^2 &= \left[(\cos 150) + \left(2 \cdot 10 \frac{1 - 0,13}{2 \cdot 6386000} \sin^2 150 \right) \right]^2 \cdot 0,005^2 \\ &+ \left[(-10 \sin 150) + \left(2 \sin 150 \cos 150 \left(\frac{(1 - 0,13) 10^2}{2 \cdot 6386000} \right) \right) \right]^2 \cdot \frac{0,001^2}{2 \cdot \left(\frac{200}{\pi} \right)^2} \\ &+ \left[\frac{10^2 \sin^2 150}{2 \cdot 6386000} \right]^2 \cdot 0,13^2 + 1^2 \cdot 0,005^2 + (-1)^2 0,005^2 \\ &\Downarrow \\ \sigma_{\Delta H}^2 &= 0,00006 \text{ meter} \end{aligned}$$

Næste led i udregningen er at bestemme σ_{H_A} som er spredningen på opstillingspunktet og er fastsat til 0,002 m. Spredningen på højden kan nu beregnes.

$$\begin{aligned} \sigma_Z &= \sqrt{\sigma_{H_A}^2 + \sigma_{\Delta H}^2} \\ \sigma_Z &= \sqrt{0,002^2 + 0,00006} \\ \sigma_Z &= 0,008 \text{ meter} \end{aligned}$$

Jævnfør disse udregninger kan der altså forventes en punktspredning i planet σ_{XY} på 5,8 mm og en punktspredningen i højden σ_Z på 8 mm.

For at kunne sammensætte disse to beregnede spredninger til en samlet punktspredningen σ_{XYZ} foretages yderligere beregninger. For at illustrere hvordan disse udregningen foretages er følgende figur D.1 udarbejdet:



Figur D.1: Illustrerer den samlede punktspredning.

Den røde linie i ovenstående figur D.1 viser den samlede punktspredning og denne beregnes ved hjælp af pythagoras på følgende måde.

$$c^2 = a^2 + b^2$$

⇓

$$\sigma_{XYZ} = \sqrt{(\sigma_{XY})^2 + (\sigma_Z)^2}$$

⇓

$$\sigma_{XYZ} = \sqrt{(5,8)^2 + (8)^2}$$

⇓

$$\sigma_{XYZ} = 9,9mm$$

Det kan hermed konkluderes at skønnet for den samlede punktspredning er 9,9 mm.

Bilag E – Oversigt over scanninger

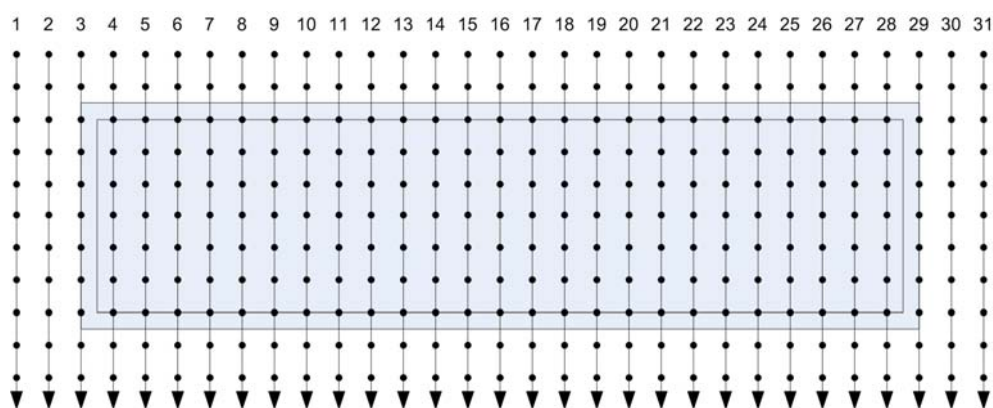
Objekt	Scannings nummer	Afstand fra scanner til objekt [m]	Gridstørrelse [mm]
Kasse - tom	1	5,000	50
Kasse - tom	2	5,000	25
Kasse - tom	3	5,000	10
Kasse - tom	16	2,934	2
Kasse med sand - strøget	23	2,934	2
Kasse med sand - strøget	24	2,934	10
Kasse med sand - strøget	25	2,934	25
Kasse med sand - strøget	26	2,934	50
Kasse med sand – med top	27	2,934	2
Kasse med sand – med top	28	2,934	10
Kasse med sand – med top	29	2,934	25
Kasse med sand – med top	30	2,934	50
Kasse med sand – to bunker	32	2,934	2
Kasse med sand – to bunker	33	2,934	10
Kasse med sand – to bunker	34	2,934	25
Kasse med sand – to bunker	35	2,934	50
Kasse med sand – minus 10 L.	36	2,934	2
Kasse med sand – minus 10 L.	37	2,934	10
Kasse med sand – minus 10 L.	38	2,934	25
Kasse med sand – minus 10 L.	39	2,934	50
Kasse med sand – minus 20 L.	40	2,934	2
Kasse med sand – minus 20 L.	41	2,934	10
Kasse med sand – minus 20 L.	42	2,934	25
Kasse med sand – minus 20 L.	43	2,934	50
Kasse med sand – minus 30 L.	44	2,934	2
Kasse med sand – minus 30 L.	45	2,934	10
Kasse med sand – minus 30 L.	46	2,934	25
Kasse med sand – minus 30 L.	47	2,934	50

Bilag F - Databehandling

Til stor overraskelse opdagede projektgruppen at punkterne i ascii-filen, som kan eksporteres fra Cyclone, ikke står i samme rækkefølge, som de er scannet, hvilket projektgruppen finder meget mærkeligt.

I dette bilag beskrives, hvordan projektgruppen har sorteret de data, som er fremkommet af de forskellige scanninger. Behandlingen af dataene har projektgruppen måtte foretage, da det blev konstateret, at de scannede punkter ikke placeres i samme rækkefølge i ascii-filen, som de er scannet.

Inden sorteringen af punkterne beskrives, vil projektgruppen kort forklare, hvordan Cyrax 2500 udfører en scanning. Dette gøres for at lette forståelsen af, hvad der sker i de forskellige skridt af sorteringen. Cyrax 2500 scanner fra øverste venstre hjørne og ned, hvorefter den "springer" over i kolonne 2 og igen scannes oppefra og ned. Proceduren gentages kolonne for kolonne indtil hele scanningsområdet er dækket – se figur F.1.



Figur F.1: Viser hvordan Cyrax 2500 scanner et objekt.

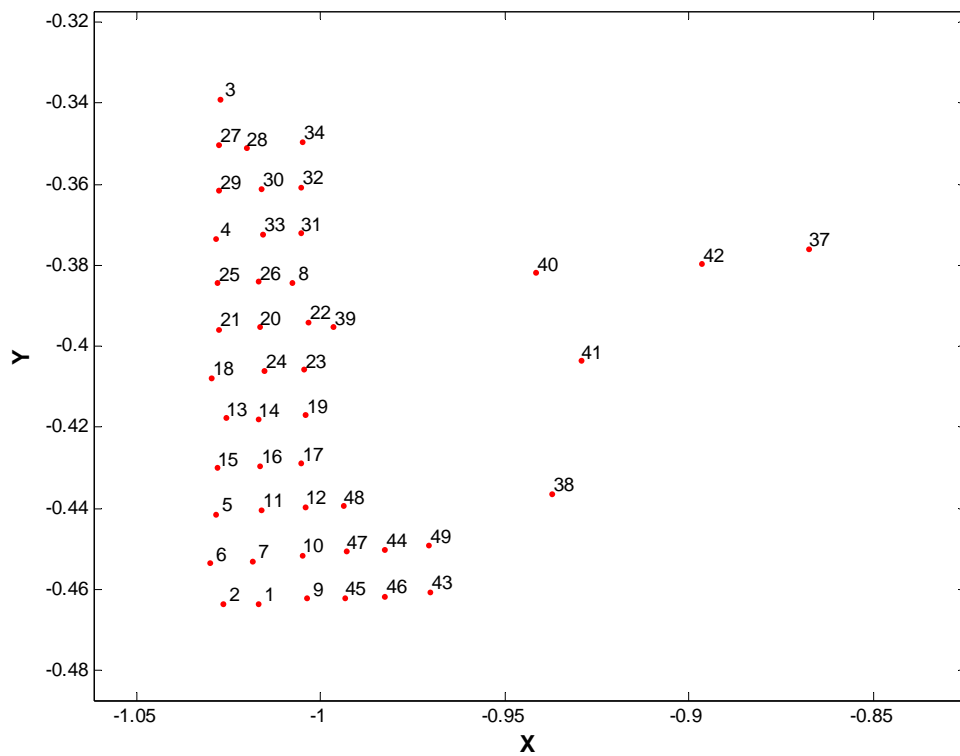
Når projektgruppen i beskrivelsen af datasorteringen taler om kolonner, er det "scanningskolonnerne" 1, 2, 3 osv. på figur F.1, der menes.

F.1 Datasortering

Fordi punkterne i ascii-filen, som tidligere nævnt, ikke kommer i samme rækkefølge, som de er scannet, var projektgruppen nødsaget til at sortere punkterne. At punkterne kommer i samme rækkefølge, som de er scannet, er vigtigt for at rammegenkendelsen, kun ved brug af koordinaterne x , y og z , bliver en succes. I forbindelse med rammegenkendelsen er det vigtigt at kunne gennemløbe hver scannet kolonne for sig, for at se på punkternes z -værdier og derudfra bestemme, hvilke punkter der er beliggende på gulvet/jorden, hvilke der er beliggende på selve kassens ramme, og hvilke punkter der er beliggende på sandet. Punkterne på gulvet/jorden har projektgruppen ikke brug for i det videre arbejde mod en volumenberegning, men punkterne på rammen skal projektgruppen anvende sammen med scanningen af den tomme kasse til at finde z -koordinater i bunden af kassen til punkterne på sandet. Der vil senere komme en nærmere forklaring omkring anvendelsen af punkterne på kassens ramme.

Til at eksemplificere sorteringen af dataene har projektgruppen anvendt dataene fra scanningen af kassen indeholdende 270 l sand med et grid på 1 cm.

For at illustrere, hvor vilkårligt punkterne er placeret i ascii-filen, har projektgruppen plottet de første 50 punkter i Matlab – se figur F.2.

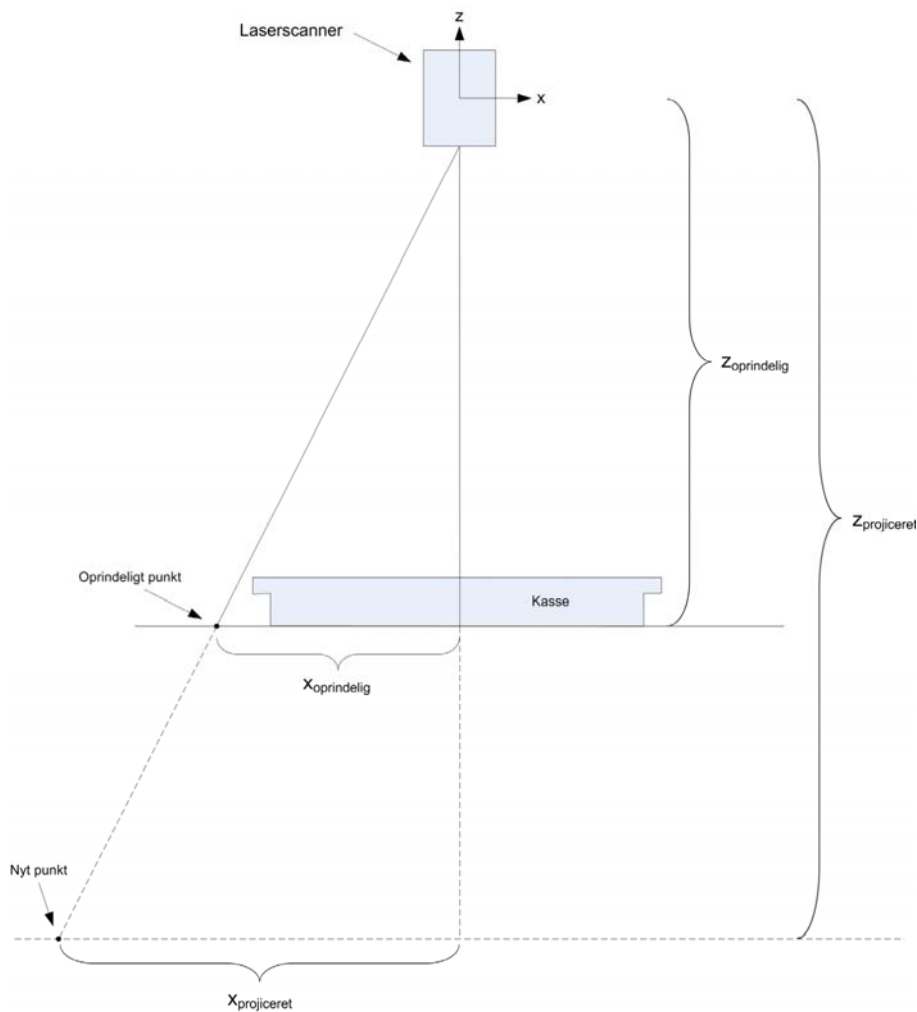


Figur F.2: Viser et plot af de 50 første punkter beliggende omkring kassen nederste venstre hjørne. Plottet viser at selvom punkterne scannes kolonnevist, sorteres de ikke herefter i ascii-filen.

Projektgruppen havde svært ved at skelne mellem punkterne, da de ligger meget tæt, hvilket besværliggjorde sorteringen af punkterne. Af den grund projicerede projektgruppen punkterne ned på et plan beliggende under gulvet/jorden. Fremgangsmåden for projiceringen beskrives i følgende afsnit.

F.1.1 Projicering af punkter på plan

For at skabe større afstand mellem punkterne og dermed gøre det nemmere at se, hvilke punkter, der hører til hvilken kolonne, projicerede projektgruppen de oprindelige scannede punkter ned på et underliggende plan – se figur F.3.



Figur F.3: Viser grundprincippet i projiceringen af punkterne.

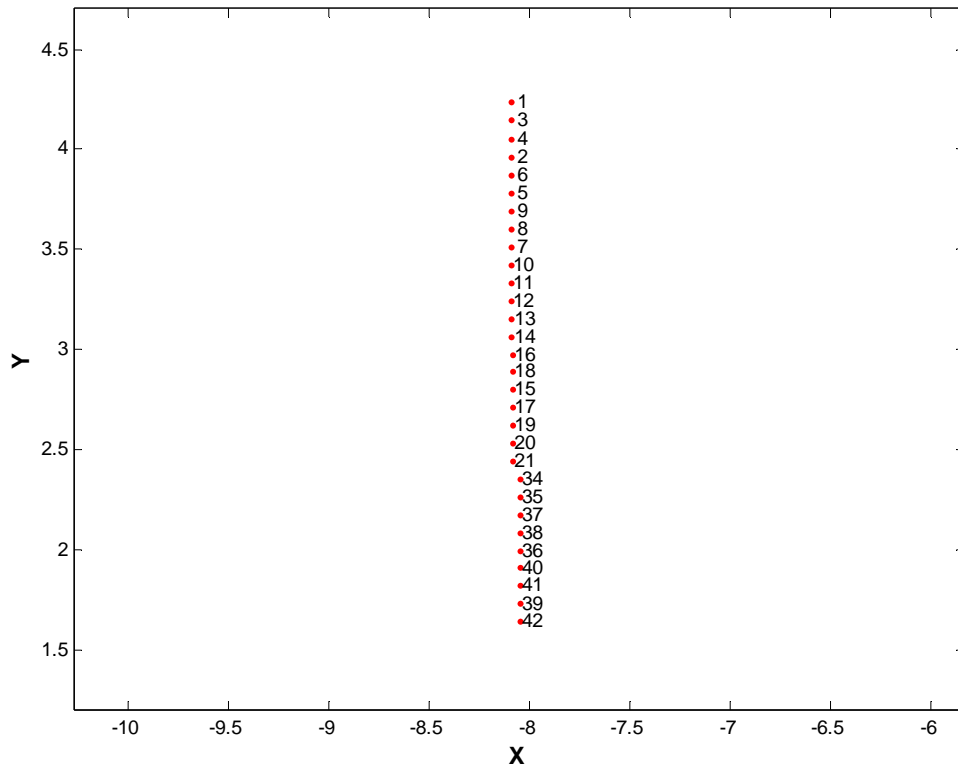
Projektgruppen har i Matlab udarbejdet et script, som punkt for punkt og både i x og y foretager en projektion af punkterne på et underliggende plan. Formlen, som blev anvendt, var følgende:

$$X_{ny} = X_{oprindeligt} \cdot \frac{Z_{projiceret}}{Z_{oprindeligt}} \text{ og } Y_{ny} = Y_{oprindeligt} \cdot \frac{Z_{projiceret}}{Z_{oprindeligt}}$$

Efter projiceringen af alle punkterne var disse klar til at blive sorteret efter henholdsvis x- og y-kordinaterne.

F.1.2 Sortering af punkter efter x-koordinaterne

Projektgruppen sorterede først alle 18.360 punkter mht. x-koordinaterne. I figur F.4 er nogle af punkterne i første kolonne plottet vha. Matlab. Projektgruppen har ikke plottet hele første kolonne, da punkterne og deres nummerering vil blive presset så meget sammen, at det ikke er muligt at se nummereringen, hvilket er vigtigt i denne forbindelse.



Figur F.4: Viser et plot af de 50 første punkter i første kolonne sorteret efter x-koordinaterne.

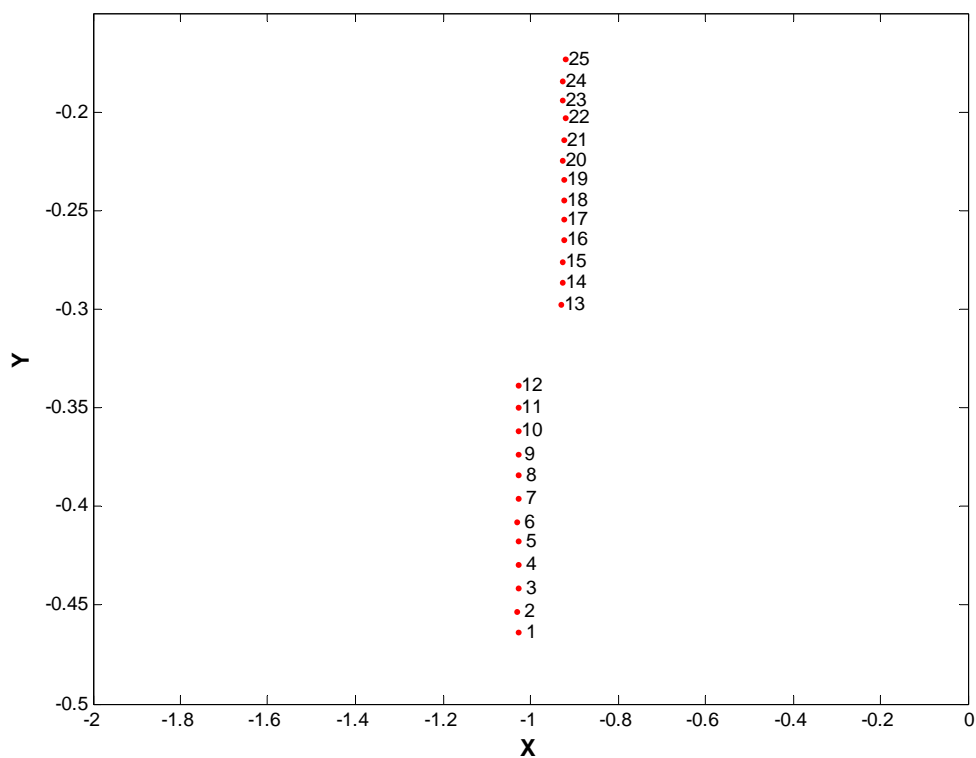
Figur F.4 illustrerer, at punkterne nu er sorteret, så de står kolonnevist, men figuren illustrerer også at punkternes rækkefølge i kolonnen stadig er vilkårlig, og derfor er det nødvendigt at foretage endnu en sortering – nemlig af y-koordinaterne i hver kolonne.

F.1.3 Sortering af punkter efter y-koordinaterne

For at kunne sortere punkterne efter y-koordinaten er det nødvendigt først at isolere punkterne tilhørende første kolonne, anden kolonne, tredje kolonne osv. og sor-

tere punkterne i hver kolonne efter y-koordinaten. Først beregnes de projicerede punkters afstand mellem hinanden, hvilket gøres ved at gange faktoren mellem den mindste af de oprindelige z-værdier og den projicerede z-værdi med det oprindelige grid, som er 1 cm i dette tilfælde. Afstanden mellem de projicerede punkter anvendes i det følgende til at fordele punkterne i de kolonner, som de er scannet i. Om det er 2 mm, 1 cm, 2,5 cm eller 5 cm grid er der mere end 10 punkter i hver scannet kolonne og ud fra denne viden beregnes middel af de 10 første punkters x koordinater. Herefter findes de punkter, hvis x koordinat er større end den beregnede middel + afstanden mellem punkterne. Det første af de fundne punkter (f.eks. punkt nr. 67) må være det første punkt i næste kolonne og det sidste punkt i forrige kolonne må derfor være punktet lige før punkt nr. 67. Første kolonne indeholder altså punkterne 1-66, og disse sorteres efter deres y koordinat. Kolonnens punkter indsættes i en ny matrice, og hvert punkt tildeles et "kolonne id", som gør det muligt senere at hente alle punkter i f.eks. kolonne 17 ud af matricen. Herefter beregnes middel af de 10 næste punkter (punkterne 67-76), og proceduren gentages, indtil der ikke er flere punkter.

Plottes punkterne efter de er sorteret både efter x- og y-koordinaterne ser det ud som på figur F.5.



Figur F.5: Viser data sorteret efter både x- og y-koordinaterne.

Som det fremgår af figur F.5, ligger punkterne ikke helt på en linje. Dette skyldes, at de første 12 punkter er på gulvet, og de næste (13-25) er på kassen. Punkterne forskel i z gør, at de bliver vist forskudt.

Bilag G - Kontrol af kasse

Dette bilag vil indeholde en beskrivelse af projektgruppens kontrol af trækassen, der anvendes som model af et rigtigt lad på en lastbil. Som beskrevet i kapitel 6 Testfelt har projektgruppen foretaget en meget fin scanning af den tomme kasse, netop for senere at kunne kontrollere dennes helt præcise volumen. Kontrollen er foretaget i Cyclone og beskrives i det følgende.

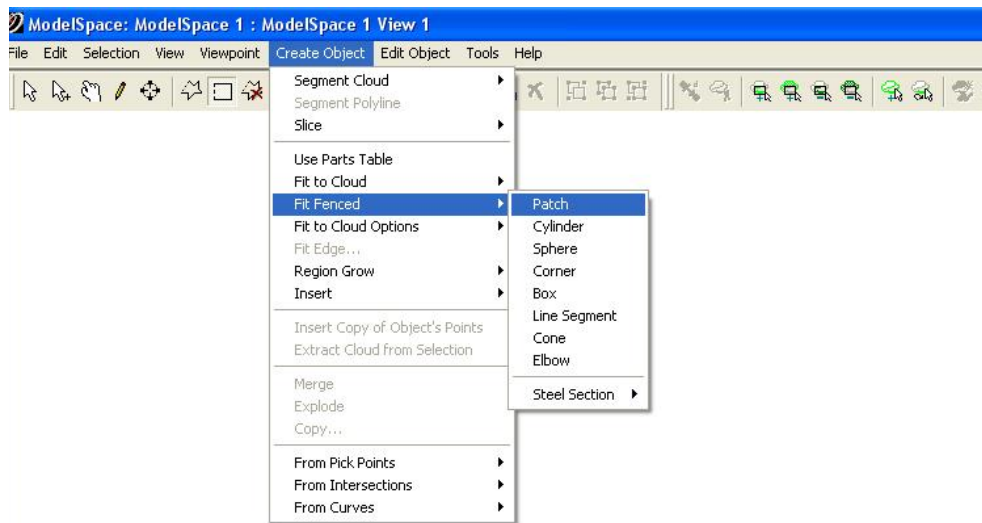
Til sidst i kapitlet beskrives projektgruppens kontrol af kassens dimensioner og volumen, som skal anvendes til sammenligning med resultaterne fra den volumen, projektgruppen når frem til.

G.1 Modellering

Den fine scanning (2 mm grid) af den tomme kasse blev foretaget i scanning nr. 16, hvilket også fremgår af bilag E. Et såkaldt "modelspace" blev genereret i Cyclone, og dataene fra scanningen kan herefter ses som en punktsky i 3D. I dette "modelspace" er det bl.a. muligt at panorere og se punktskyen fra forskellige vinkler, hvilket gør udvælgelsen af de punkter, som f.eks. skal danne bunden af kassen, nemmere.

Som det første slettede projektgruppen de punkter, som ikke skulle indgå i modelleringen af den tomme kasse, nemlig punkterne på gulvet. Disse punkter blev slettet for ikke, at de ved et uheld skulle blive valgt sammen med f.eks. punkter til modellering af siden af kassen.

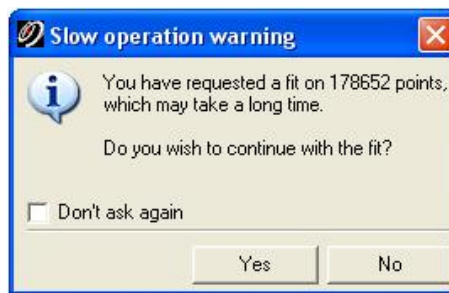
Først genereres et plan ud fra punkterne beliggende på bunden af kassen. Med et "fence" vælges de punkter, som med 100 % sikkerhed ligger på bunden af kassen. For at være helt sikker på at der ikke vælges punkter, som hører til siderne eller enderne af kassen, sørgede projektgruppen for, at udvælgelsen foregik et stykke fra skæringen mellem bunden og henholdsvis siderne og enderne af kassen – se figur G.1.



Figur G.1: Viser et udsnit af skærbilledet fra Cyclone's generering af et plan for bunden af kassen.

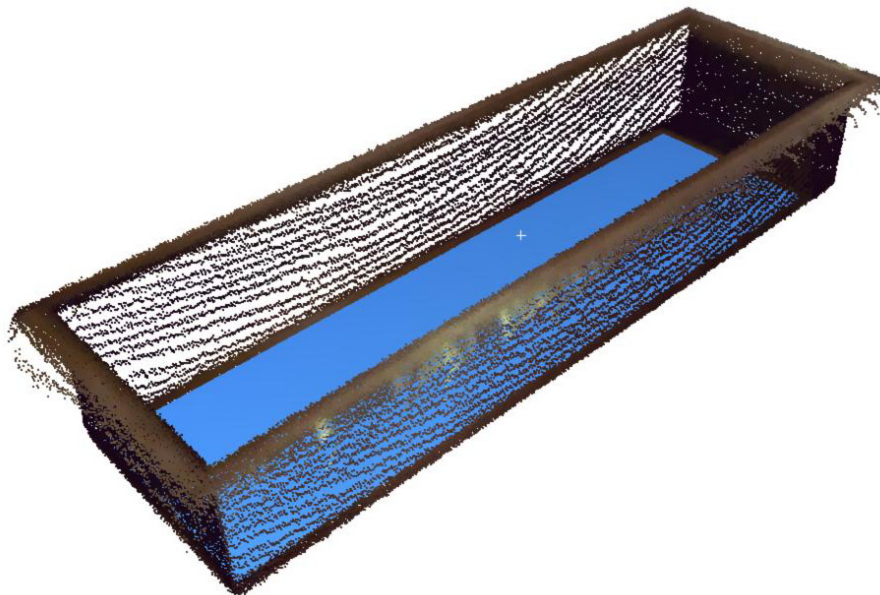
Som det fremgår af figur G.1 vælges "create object", "fit fenced" og til sidst "patch", hvorefter programmet genererer det bedste plan ud fra de valgte punkter.

For at understrege pålideligheden af projektgruppens modellering og den efterfølgende beregning af kassens volumen, har projektgruppen medtaget figur G.2, som poppede op, da projektgruppen valgte "patch".



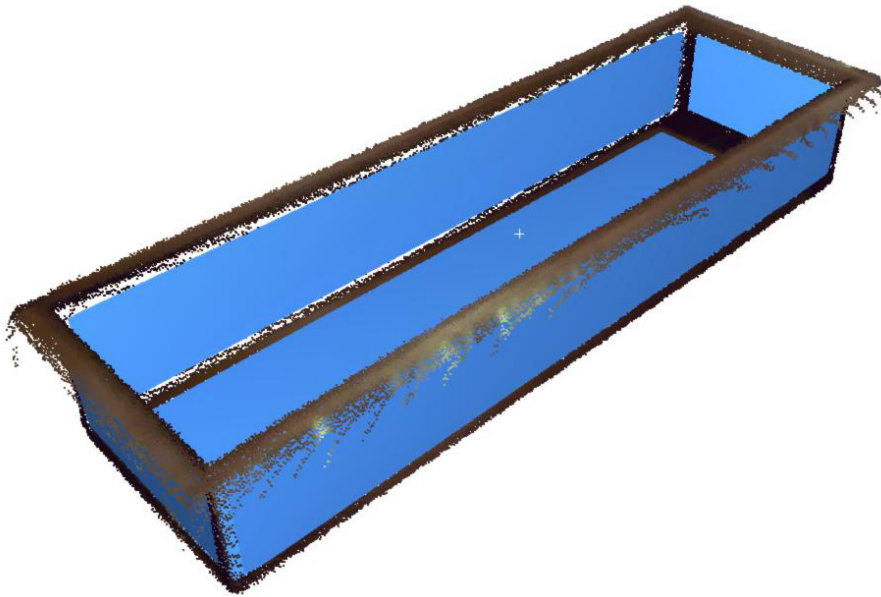
Figur G.2: Illustrerer at planet for bunden af kassen er genereret ud fra knap 180.000 punkter.

Hvordan genereringen af planet helt præcist foregår, og om programmet foretager en udjævning af punkterne vides desværre ikke, og derfor vil projektgruppen ikke beskæftige sig med dette. Efter beregningen fremkommer planet i en blå farve – se figur G.3.



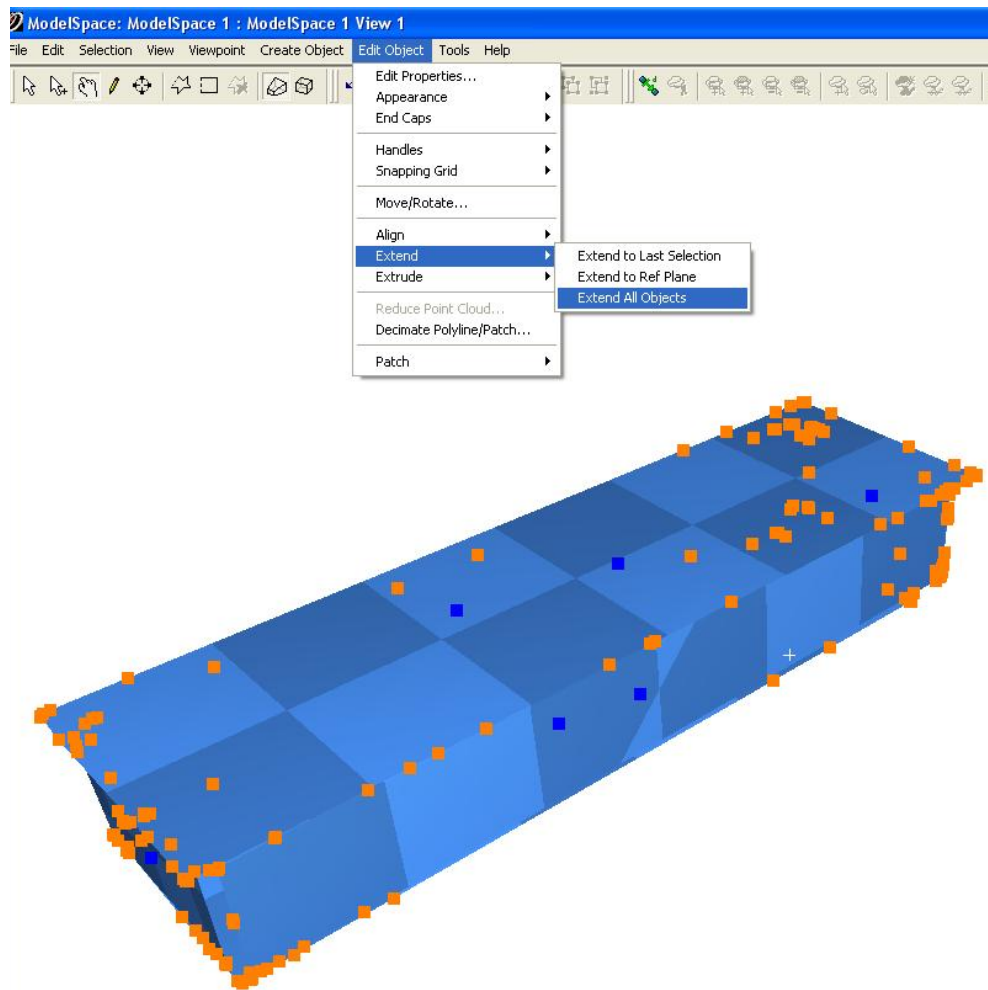
Figur G.3: Viser 2 mm punktskyen for den tomme kasse, hvor det blå er det netop genererede plan i bunden.

Projektgruppen gentog ovenstående fremgangsmåde for de to sider og hver ende af kassen. Resultatet fremgår af figur G.4



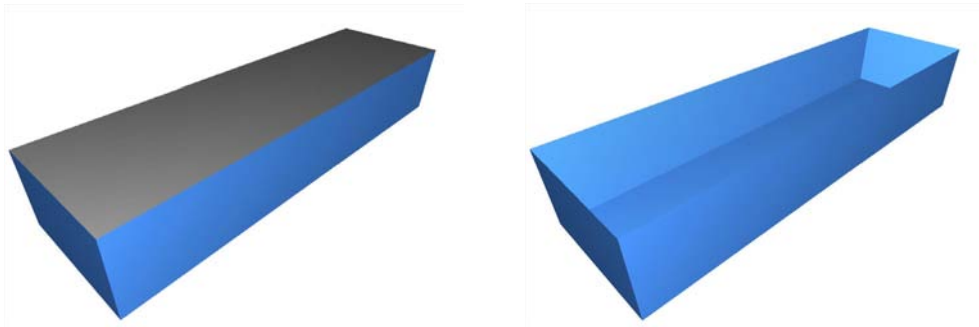
Figur G.4: Viser de fem genererede planer i den tomme kasse.

På figur G.4 er det tydeligt at se, at projektgruppen har været forsigtig med ikke at vælge de punkter, som ligger tæt på skæringen mellem to planer. Til sidst vælges punkterne på kassens ramme, for ligeledes at generere et plan for toppen af kassen. Efter alle seks planer var genereret, blev disse forlænget, så de ville skære hinanden – se figur G.5.



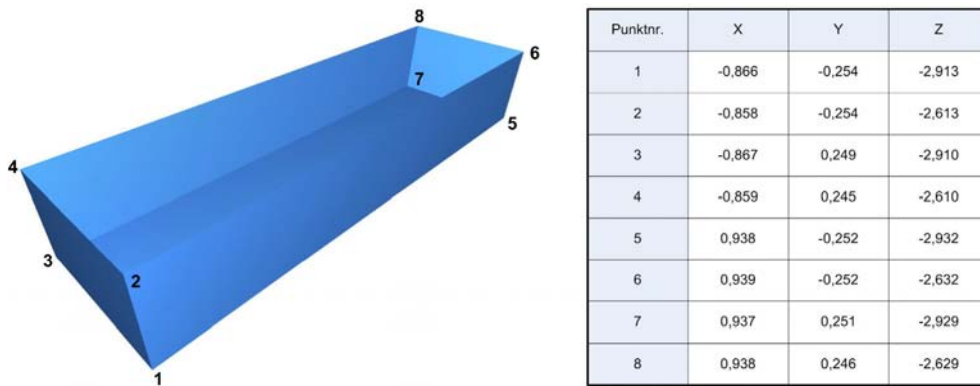
Figur G.5: Viser, hvordan de seks planer forlænges, til de skærer hinanden.

For at forlænge planerne vælges de alle og i "edit object" vælges "extend" efterfulgt af "extend all objects", som det er vist på figur G.5. Efter forlængelsen af alle planerne blev planet for toppen af kassen (låget) placeret i et andet lag og givet en anden farve (grå), for nemmere at kunne holde styr på top og bund af kassen. På figur G.6 fremgår resultatet af den færdige modellering af den fine scanning af den tomme kasse med - og uden låg.



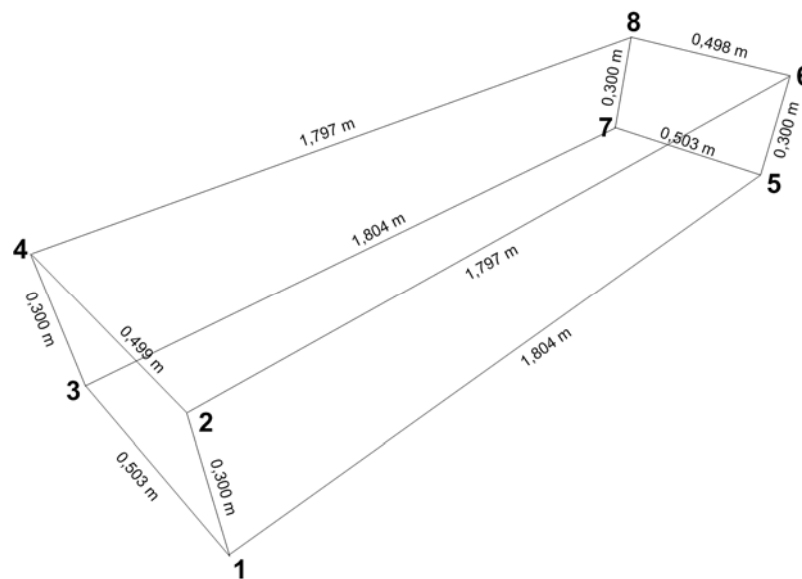
Figur G.6: Viser den færdige kasse med låg (tv.) og den uden låg (th.).

Herefter kunne projektgruppen udpege kassens otte hjørnekoordinater, som skulle anvendes til beregningen af kassens præcise volumen. Koordinaterne fremgår af figur G.7 med dertilhørende tabel.



Figur G.7: Viser hjørnernes koordinater og deres tilhørsforhold til kassen.

Kassens dimensioner kan nu kontrolleres, for bl.a. at se om kassen er rektangulær og resultatet fremgår af figur G.8.



Figur G.8: Viser dimensionerne på kassen ud fra koordinaterne til de otte hjørnepunkter.

Af hjørnepunkternes koordinater og figur G.8 fremgår det, at kassen ikke er helt rektangulær, hvilket vanskeliggør volumenberegningen af kassen. Projektgruppen har, efter drøftelse med vejleder, valgt at dele kassen op i seks tetraeder (T1, T2, T3, T4, T5 og T6) og anvende følgende formel til beregningen af volumenet af kassen [www.mathworld.wolfram.com].

$$V(t_i) = \det \begin{vmatrix} x_1 & y_1 & z_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & z_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & z_3 & 1 \\ x_4 & y_4 & z_4 & 1 \end{vmatrix} / 6 = 0,2707 \text{ m}^3$$

Projektgruppen har anvendt Matlab til beregning af kassens dimensioner og volumen. Scriptet indeholdende beregningerne har projektgruppen kaldt "kontrol" og findes på bilagscd'en i mappen "Matlab scripts".

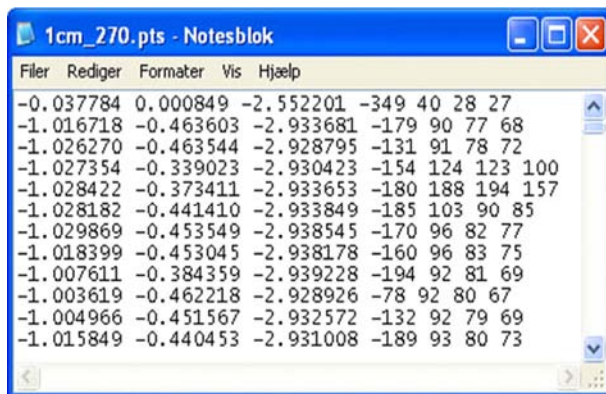
Bilag H – Korrespondance med Per Paag fra Leica Geosystems.

Email sendt d. 21. februar 2005:

Hej Per.

Vi er en gruppe, som går på sidste semester af landinspektørstudiet på Aalborg Universitet. Vores vejleder er Carsten Bech, og det er igennem ham, at vi har fået din emailadresse og idéen til at kontakte dig.

Vi har tænkt os at lave et projekt om brugen af laserscanning til volumenberegning og mere præcist til at beregne volumen af sand på lastbiler, når de forlader grusgrave osv. Altså som en slags kontrol for diverse entreprenører om de får det sand, de betaler for. Vi ved, at man enkelte steder vejer lastbilerne tomme og derefter fulde, for at beregne, hvor meget sand entreprenørerne har fået. Andre steder har man vægt i skovlen på gummigeden. Disse vægte har en fejlmargen på kun 0,09 %, og derfor går projektet også ud på at finde ud af, hvor præcist det kan gøres med laserscanner. Derudover er der selvfølgelig det tidsmæssige aspekt - der er ikke tid til at vente på at hvert læs bliver modelleret osv., så derfor vil vi forsøge at lave et program, som kan læse en ascii-fil (fra Cyclone) og ud fra denne beregne volumen. Vi har lavet en testscanning, som vi har læst ind i Cyclone og derigennem fået en ascii-fil med alle koordinaterne og intensiteten. Selve x, y og z (de tre første kolonner) er lige til, men vi kan ikke helt gennemskue, hvordan intensiteten udtrykkes gennem de sidste 4 kolonner:



```
1cm_270.pts - Notesblok
Filer Rediger Formater Vis Hjælp
-0.037784 0.000849 -2.552201 -349 40 28 27
-1.016718 -0.463603 -2.933681 -179 90 77 68
-1.026270 -0.463544 -2.928795 -131 91 78 72
-1.027354 -0.339023 -2.930423 -154 124 123 100
-1.028422 -0.373411 -2.933653 -180 188 194 157
-1.028182 -0.441410 -2.933849 -185 103 90 85
-1.029869 -0.453549 -2.938545 -170 96 82 77
-1.018399 -0.453045 -2.938178 -160 96 83 75
-1.007611 -0.384359 -2.939228 -194 92 81 69
-1.003619 -0.462218 -2.928926 -78 92 80 67
-1.004966 -0.451567 -2.932572 -132 92 79 69
-1.015849 -0.440453 -2.931008 -189 93 80 73
```

Kan du fortælle os, hvad tallene i de sidste 4 kolonner er udtryk for??

På forhånd tak.

Mvh

Jan Glitzky, Anker H. Mortensen og Kasper Svendsen
10. semester landinspektørstuderende

Aalborg Universitet
Fibigerstræde 11, rum 59
9220 Aalborg Ø.

Svar modtaget d. 23. februar 2005:

Hej Kasper

Hermed et svar som jeg håber i kan bruge.

MVH

Per

this pts format is exported as

x,y,z,intensity, R,G,B

meaning the last four are containing colour information.

column 4 is a value between 0-255, representing the multihue intensity value.

columns 5-7 are values again between 0-255, representing colour info taken from the photograph split into the three RGB channels.

Email sendt d. 26. april 2005:

Hej Per.

Vi er en gruppe landinspektørstuderende på 10. semester på Aalborg Universitet. Vi er ved at lave et projekt om laserscanning og har i den forbindelse brug for at kende prisen på en HDS2500. Vi har forsøgt at ringe til Leica, men alle vi snakkede med henviste til dig.

Håber du kan hjælpe os med en pris på en HDS2500?

På forhånd tak.

Jan, Anker og Kasper.

Svar modtaget d. 26. april 2005:

Hej Kasper

HDS 2500 produceres ikke længere, markedsprisen på en brugt er ca. 280-300.000 Kr afhængig af stand, uden software og PC.

HDS 3000 koster idag 665.000 Kr uden software og kursus, en komplet pakke med software, PC og kursus for en person ligger på 930.000 Kr.

HDS 4500 koster idag 950.000 Kr uden software og kursus, en komplet pakke med software, PC og kursus for en person ligger på 1.100.000 Kr.

Alle nævnte priser er excl moms.

Hvis der er yderligere spørgsmål jeg kan hjælpe med er du velkommen til at sende mig en mail.

MVH

Per Paag

13.4 Opsummering

Det tiltænkte anvendelsesområde for det udarbejdede system var en grusgrav, men kunne portalen konstrueres på en sådan måde, at den kunne være transportabel, vil systemet også kunne anvendes andre steder, såsom på byggepladser. Systemet vil derved også kunne anvendes til kontrolmåling.

Med en pris pr. volumenbestemmelse på 0,33 kr. mener projektgruppen, at systemet har gode perspektiver, og er de metoder, som blev beskrevet i kapitel 3 vedrørende volumen, overlegen, og dette både på tid, nøjagtighed og pris. Med hensyn til metoden, som er baseret på massefylde (beskrevet i afsnit 3.1.2), kan systemet ikke matche nøjagtigheden. Det blev erfaret at en brovægt, der kan veje op til 60 ton, har en nøjagtighed på 0,09 % af den samlede vægt, der vejes. En sådan nøjagtighed opnåede det udviklede system ikke, men resultaterne viser dog, at nøjagtigheden ikke er langt fra de 0,09 %. På trods af denne erfaring, mener projektgruppen dog, at det udviklede system, er at foretrække frem for en metode, der er baseret på brovægt, og dette er ikke mindst på grund af omstændighederne og de problemstillinger, der eksisterer ved at fastlægge omregningsfaktoren.

Projektgruppen mener, at det udviklede system vil være attraktivt for erhvervslivet, hvad enten det er i en grusgrav eller på byggepladser og ser generelt systemet som et solidt opmålingsværktøj, der kan finde mange anvendelsesområder.