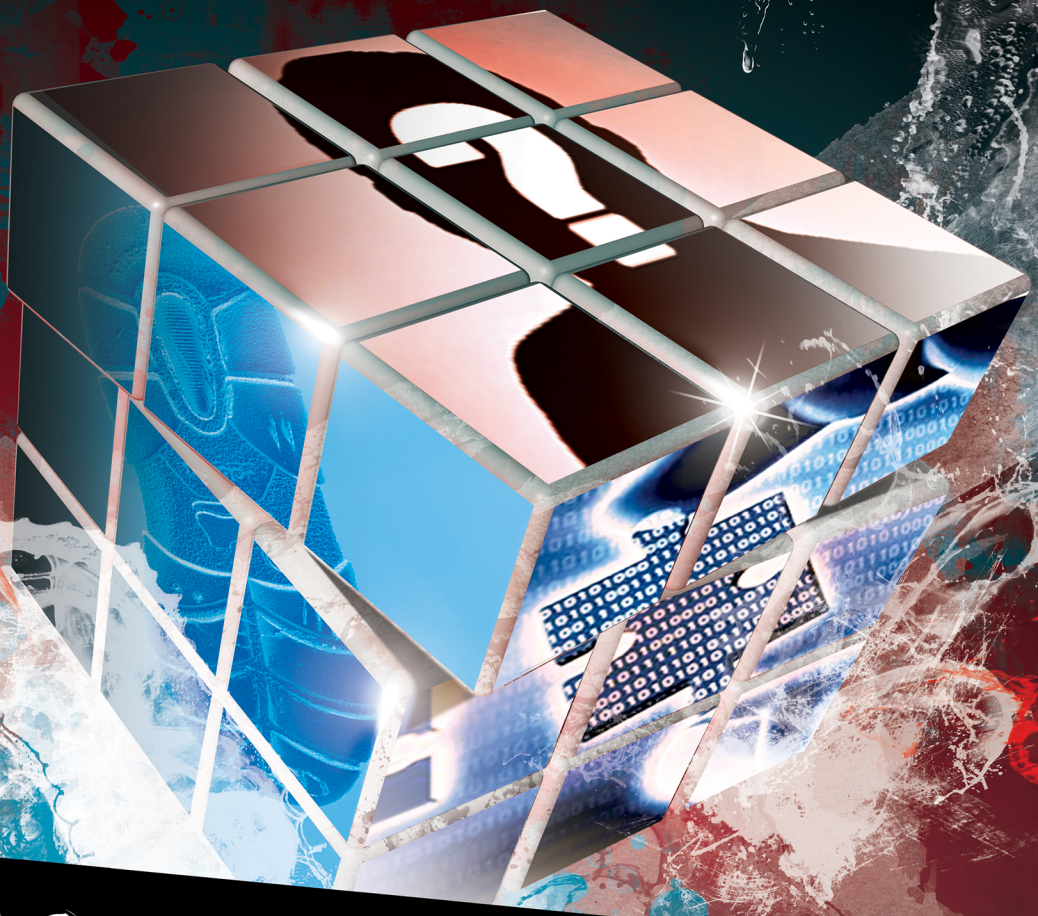
UDARBEJDET AF:
MALTE S. HOLM-CHRISTIANSEN
10. SEMESTER LANDINSPEKTØRSTUDIET
AALBORG UNIVERSITET 2015



IPC-ALGORITMER TIL POLITIET?

RAMBØLL

AD NYE VEJE
AALBORG UNIVERSITET

Titelblad:

Titel: ICP-algoritmer til politiet?

Tema:
Automatisk orientering af to punktskyer- uden brug af fællespunkter.

Projektperiode:
Februar 2015 – Juni 2015

Deltagere:

Malte Skovborg Holm-Christiansen

Vejleder:
Carsten Bech

Opslagstal: 30

Sidetal: 67

Bilagstal: 10

Appendikstal: 6

Afsluttet: 10. Juni - 2015

Synopsis

Nærliggende projekt er udarbejdet I et samarbejde imellem skriver, NKC og Rambøll Oil & Gas. Det forsøger at klarlægge mulighederne for at optimere NKC's sporsikringsmetoder ved skoaftryk. Normalvis sikre NKC et skoaftryk, ved et gerningssted, gennem et gipsaftryk og en række billeder. Skriver forsøger I samarbejde med Rambøll Oil & Gas, at klarlægge om tiden er kommet til at gipsaftrykket, kan erstattes med en metode, hvor sporet indsamles og lagres digital. Efter der er indsamlet et skoaftryk, skal det kunne be- eller afkræftes, om det er tilhørende en specifik sko.
Skriver har igennem nærliggende projektet udviklet en ICP-algoritme, som kan transformere en punktsky fra et skoaftryk, oven i punktskyen af den tilhørende skosål. Der er igennem projektet ikke udfærdiget et endeligt produkt til NKC, men blot forsøgt at udfærdige alt det indledende arbejde og teori til systemudviklingen.

FORORD

Nærliggende projektrapport er udarbejdet af Malte S. Holm-Christiansen, på 10. Semester ved landinspektøruddannelsen på Aalborg Universitet, kandidatgraden *Surveying & mapping*. Projektet er udarbejdet i et samarbejde imellem skriver, NKC (National Kriminalteknisk Center) og Rambøll Oil & Gas.

Igennem projektet har en række personer været behjælpelige i form af input til projektet og besvarelse af problemstillinger.
Der skal rettes en særlig tak til vejlederen ved projektet Carsten Bech, for både at have takket ja til ekstraordinært at vejlede projektet på trods af sine få timer til rådighed på Aalborg Universitet, samt for at have udvist en yderst fleksibel holdning til afholdelse af vejledermøder.
Desuden skal der rettes en tak til Lau Jensen, som er afdelingschef hos Rambøll Oil & Gas. Lau Jensen har skabt kontakten imellem skriver og en række personer, desuden har Lau Jensen stillet udstyr til rådighed, samt diskuteret og vejledt projektet.
Der skal rettes en tak til Per Krat fra NKC, som har opsat testscenarier for skanneren og desuden var yderst behjælpelig med alle spørgsmål angående, hvordan NKC arbejder, samt hvilke krav de har til deres eget arbejde.
Der skal rettes en tak til Jürg Meixner som igennem mange år har arbejdet i området omkring forensic science. Jürg Meixner opsatte kontakten imellem skriver og Hambürg Polietzei, samt han var behjælpelig med en række fagrelevante diskussioner igennem projektet.

Litteratur- og kilde henvisninger er angivet efter Chicago-metoden, hvilket angives som følgende:

- Bøger - Forfatter, årstal
- Hjemmesider skrives - Hjemmesidens oprethaver, årstal

Hvis henvisningen forefindes før et punktum, henvender den sig kun til en enkelt sætning. Forefindes henvisningen efter et punktum eller et afsnit, henvender den sig til hele afsnittet.

Under udarbejdelsen af rapporten er der anvendt en række softwareprodukter:

- PixelMator, anvendt ved fotoredigering samt udarbejdelse af figurer.
- MatLab, til udarbejdelse af scripts.
- MeshLab, til at visualisere indsamlede punktskyer og udarbejdede modeller.
- VXelements, anvendes af skanneren under dataindsamling.

Igennem rapporten er der anvendt fagtermer, hvoraf de mest specifikke vil forklares nedenstående:

NKC: NKC står for National Kriminalteknisk Center.

χ^2: Symbolet χ^2 anvendes i forbindelse med statistisk binominalfordeling, som viser at en stikprøve er sigende ved 20.

Default: Ordet anvendes under programmeringen og betyder at alt er sat til fabriksstandard, hvilket i dette tilfælde er skrivers forprogrammerede værdier.

Random: Random betyder, at noget vælges tilfældigt - uden systematik.

Der kan findes en samlet kildeliste efter rapportens perspektivering. Bilag er til dels givet på papirformat og det resterende findes på den vedlagte CD. Der findes en Bilags og Appendiks oversigt efter perspektiveringen.

INDHOLDSFORTEGNELSE:

1 Indledning 1

2 Initierende problemstilling 3

3 Foranalyse 4

3.1 Kontakt til Per Krat 4

3.2 Valg af indsamlingsmetode 4

3.2.1 Fotogrammetri 5

3.2.2 Laserskanning 9

3.2.3 Konklusion på valg af metode 10

3.3 Laserskannere til dataindsamling 11

3.3.1 Handyscan3d fra Creaworks 11

3.3.2 Freestyle fra Faro 12

3.3.3 MetraScan 70 fra Creaform3d 12

3.3.4 Valget af skanner 12

3.4 Dataindsamling med Handyscan3d 13

3.5 Matchning mellem sko og skoaftryk 16

4 Problemformulering 17

5 Projektstrukturen 18

6 Metodisk teori 20

6.1 Vidensopbyggelse 20

6.2 Metode til systemudvikling 21

7 ICP-algoritmen 23

7.1 ICP-algoritmens struktur 23

7.2 Rensning af punktsky 24

7.3 Relativ orientering 24

7.4 Transformation over tre punkter 26

7.5 ICP-algoritmen 30

8 Anvendelse af ICP-algoritmen 42

8.1 Forklaring af outputtet 49

8.2 ICP-algoritmen anvendt på hele modellen 50

9 Dataindsamling ved forskellige materialer 54

9.1 Skanning af skosålen 54

9.2 Aftryk i sne 55

9.3 Aftryk i jord 57

9.4 Aftryk i sand 59

9.5 Aftryk i gipsstøv 61

9.6 Opsummering af de skannede områder 61

10 Konklusion 64

10.1 Perspektivering 66
11 Bibliografi: 68
Bilags- og appendiksoversigt 69

1 Indledning

Når der bliver begået en forbrydelse i Danmark, er normen at politiet tilkaldes. En af politiets funktioner i denne sammenhæng kan være at sikre spor, hvilket kan være en af metoderne til at sikre, at forbryderen kan stilles til ansvar for sine handlinger. Indenfor politiet, findes der en specialenhed i sporsikring, NKC[1]. NKC kan sikre spor som skoaftryk, DNA materiale, effekter etc. Det er samtidigt NKC som linker de forskellige effekter sammen, for at bevise at en pågældende mistænkt er den sande gerningsmand. Det indebærer, at deres bevismateriale skal være af en tilstrækkelig kvalitet til at det kan "holde" i en juridisk retssag, hvor nævningene skal overbevises. Til at sikre beviserne anvendes der mange metoder, herunder affotografering af effekter og terrestrisk manuel opmåling, hvilket anvendes for at politiet ved, hvordan gerningsstedet så ud umiddelbart efter, forbrydelsen blev begået.
som nævnt kan et eksempel på et bevis kan være et skoaftryk fra et gerningssted. Dette spor kan være med til at be- eller afkræfte, hvorvidt en mistænkt er gerningsmanden. Såfremt det kan bevises, at gerningsmandens sko har afsat det pågældende aftryk.
Til at sikre et skoaftryk på gerningsstedet, tager NKC et gipsaftryk af skoaftrykket sammen med en række fotografier og opmåler dets placering. Det kan være problematisk at tage et gipsaftryk, hvis det materiale som skosporet er placeret i, er af et fint materiale så som pulver på et gulv. Hermed menes der, at materiale som eksempelvis murerstøv og sand normalt vil få ødelagt strukturerne i skoaftrykket, hvis der hældes gips ned i det. Derfor har politiet en række metoder til at "hårdgøre" skoaftrykket, inden gipsen hældes i. Dog kan det være problematisk at hårdgøre skosporet, da metoderne hertil giver en risiko for at ødelægge skoaftrykket. Samtidig ødelægges skoaftrykket også, idet gipsen trækkes op. Det medfører at NKC kun har en enkelt chance for at sikre sporet.
Fotografiet bruges dernæst til at sammenligne med et fotografi af et skoaftryk. Dette danner to 2D-modeller, som sammenlignes med henblik på at be- eller afkræfte, om den pågældende sko har afsat det pågældende skoaftryk.

Igennem skrivers tid på Aalborg Universitet, har skriver arbejdet med laserskanning, bl.a. på sit 9. semester praktik hos Rambøll Oil & Gas. Under praktikopholdet nævnte afdelingslederen for 3D Scanning & Survey, Lau Jensen, at han havde en korrespondance med NKC om muligheden for at indsamle data af skoaftryk berøringsfrit og spurgte i den forbindelse skriver, om det kunne være interessant at lave dette som et kandidatprojekt. Dette er udmundet i gældende projekt, som vil omhandle hvordan et skoaftryk kan sikres digitalt uden berøring.

NKC har igennem flere årtier benyttet sig af at tage gipsaftryk af skoaftryk. Der vil igennem projektet undersøges, om tiden er moden til at modernisere NKC's metoder til at der indsamles en model digitalt, hvor der ikke laves noget fysisk aftryk, som kan sammenlignes med en sko.

[1] NKC er en forkortelse for National Kriminalteknisk Center, som er det center indenfor politiet, som sikrer spor og linker sporene til en gerningsmand.

Dermed vil projektet fokusere på, at et aftryk matches[2] til en sko udelukkende igennem 3D-model, som er indsamlet vha. en berøringsfri metode. Når skoen så er matchet til et skoaftryk, skal outputtet være muligt at forklare nævningene i en retssag.
Fordelen ved at indsamle et skoaftryk digitalt og berøringsfriter, at der ikke er en direkte berøring af sporet, hvorfor sporet ikke deformeres (ødelægges) under dataindsamlingen. Samtidigt sikres en rummelig model, hvilket giver en ekstra dimension, at undersøge aftrykket i.

[2] I tilfælde hvor det bekræftes, at en sko har afsat et pågældende skoaftryk, siges der at være fundet match. I den proces hvor der forsøges at finde match, kaldes at de matches.

2 Initierende problemstilling

Som beskrevet i indledningen, har NKC og Rambøll Oil & Gas Survey et fælles ønske om at undersøge, om tiden er moden til at erstatte NKC's metode til sporsikring af skoaftryk med en digital 3D-model. Når NKC sammenligner en sko med et skoaftryk, er det de unikke slitager som sammenlignes, f.eks. hvor der er et mærke i sålen efter en lille sten. Dette skyldes, at hvis det er en helt ny sko uden unikke slitager, vil aftrykket kunne matches til samtlige nye sko af denne type. (Krat, 2015) Der skal i projektet undersøges hvilket instrument, som kan dataindsamle en skosål og et skoaftryk til en rummelig digital model. Dermed skal der undersøges, om der skal dataindsamles med en laserskanner, som er Rambøll Oil & Gas' fortrukne metode, eller om det vil være mere fordelagtigt at benytte en anden metode. Det vigtige for dataindsamlingsmetoden er at nøjagtigheden og detaljeringsgraden er af en kvalitet, som kan forenes med kravene som NKC måtte have. Samtidigt skal den skannede model kunne visualiseres på en måde, hvor nævningene i en retssal kan overbevises om, at den gældende sko har afsat det tilhørende aftryk. Dette udmunder sig i følgende initierende problemformulering:

> Er det muligt at indsamle data til en digital rumlig model med en detaljeringsgrad, hvor skosålens unikke slitager opfanges?

3 Foranalyse

Følgende afsnit har til formål at konkretisere den initierende problemformulering.
I startfasen af projektet var skriver inviteret med til et møde, hvor der ville være to personer fra NKC, samt Lau Jensen som repræsenterede Rambøll Oil & Gas. Mødet handlede overordnet om, at Lau Jensen belyste, indenfor hvilke områder han mente, at en laserskanning kan være relevant. Herefter blev det oplyst, at skriver ønskede udelukkende at beskæftige sig med undersøgelse af matchning imellem en sko og et skoaftryk[3]. Som beskrevet i Bilag A, har skriver fået udleveret en kontaktperson hos NKC, Per Krat, som er ekspert i sporsikring. For at skriver kan finde en indsamlingsmetode, som overholder de krav NKC måtte have til opmålingen, blev der taget telefonisk kontakt til Per Krat. Det er ligeledes skrivers opgave at belyse om dataindsamlingen overhovedet bør foretages med en laserskanner, eller om andre indsamlingsmetoder ville være mere relevante i projektets tilfælde.

3.1 Kontakt til Per Krat

Per Krat ringede til skriver for at aftale det kommende samarbejde i forbindelse med projektet[4]. Det blev aftalt at skriver skulle møde op hos NKC's center for sporsikring d. 11/3, hvor der skulle testes på skanning af skoaftryk i forskellige materialer. Derfor skulle skriver medbringe en skanner, som kunne overholde de krav som NKC har. Per Krat oplyste, at der ikke var et egentligt krav til nøjagtigheden. Som tidligere nævnt matcher NKC en sko til et skoaftryk, ved at udvælge nogle såkaldte interesseområder, som er unikke slitager i skosålen. Hvis en sko har trådt på en sten eller lignende kan denne sten lave et mærke i sålen. Hvis dette mærke er stort nok, vil selv samme mærke kunne optræde i skoaftrykket, afhængigt af det materiale som skoaftrykket er afsat i. Det er dette interesseområde, som skal matches mellem skoen og aftrykket, hvortil der ikke er nogen egentlig nøjagtighed, udover at skanneren skal kunne opfange interesseområder, som ikke er større end få millimeter. Hvis der kan matches fire interesseområder imellem skoen og aftrykket, er det iflg. NKC's standard bevis for, at en sko har afsat gældende aftryk[5].

3.2 Valg af indsamlingsmetode

Under den initierende problemstilling blev det forklaret, at der skal findes en metode til at indsamle data for en skosål og et skoaftryk, med en sådan præcision, at der kan findes match. I følgende afsnit vil der forsøges at finde en metode til indsamlingen af data.

Når der skal indsamles data, skal det indsamles til en punktsky. Grunden til at det skal være en punktsky er, at det skal gøres ved en automatisk metode, hvilket begrundes med mindskning af menneskelige fejl, samt manipulation af den indsamlede data. Når en punktsky indsamles

[3] Der kan findes et referat af mødet under Bilag A.
[4] Igennem projektet har skriver og Per Krat, talt i telefonen et utal af gange. Der findes et referat over de vigtigste oplysninger herfra, under Bilag B.
[5] Information herfor, findes under Bilag B.

automatisk, indsamles der en massiv mængde af data over det gældende område. Dermed "overser" maskinen ikke at indsamle data visse steder, hvorimod en mand med en totalstation kan "overse" at indsamle data i visse interesseområder i aftrykket. Med hensyn til manipulation menes der, at en operatør bevidst kan vælge at undlade at indsamle data for visse interesseområder i aftrykket, fordi vedkommende ikke ønsker, at der skal findes et match.
Til at indsamle punktskyer findes der to almen anvendte metoder; *fotogrammetrisk* eller *laserskanning*.

3.2.1 Fotogrammetri

I følgende afsnit vil der blive analyseret på fotogrammetri, som indsamlingsmetode til afgrænsning af projektets initierende problemstilling.

Fotogrammetri har i mange år været et anvendt værktøj til opmåling og kortlægning af større områder. Grunden til at det som oftest har været anvendt til store områder, er at der blev dataindsamlet fra flyvemaskiner, hvor det forberedende arbejde var omstændigt og krævende kapitalmæssigt. Der har ligeledes været anvendt metriske kameraer[6] til terrestrisk måling, som dog var mindre omstændige at anvende.
De senere år har droner vundet indpas, hvor der anvendes almene kameraer[7]. Dette er blevet muliggjort på basis af, at computere er blevet kraftige nok til at beregne den omfattende strålebudtsudjævning, som indsamlede data kræver for at kunne beregnes til en punktsky.
Denne teknologi har ligeledes affødt, at ikke-metriske kameraer anvendes til at tage billeder af objekter, som ligeledes omregnes til en punktsky på basis af strålebundsudjævning. Når et alment kamera anvendes til at tage billeder af et objekt, som omregnes til en punktsky, betegnes det som *close range photogrammetry.* (geodetic, 2015)
Det kunne antages, at denne teknologi kan anvendes til at skabe en digital rummelig model af et skoaftryk, hvortil der i gældende afsnit, vil opstilles empirisk teori og en SWOT-analyse.

Skriver har tidligere arbejdet med fotogrammetri under sit 7. Semesters projekt: Opmåling af Kongerslev Kalkgrav. Det vides, at der ved visse materialer kan forekomme komplikationer i form af overstråling[8]. Desuden kan det blive kritisk at opnå en ensartet nøjagtighed i hele modellen, da den ved fotogrammetri fra ikke-metriske kameraer, kan variere meget.
Mht. nøjagtigheden er der mange faktorer som spiller ind. Blandt andet kameraets antal pixel i billedet, desuden er der indflydelse af antal overbestemmelser i overlappet, linsefortegnelse og afstand til objektet.

Der kan approximeres en nøjagtighed ud fra:

$$\sigma_X^2 \frac{\sum_{i=1}^{n_x} \Delta X_i^2}{n_x} \; ; \qquad \sigma_Y^2 \frac{\sum_{i=1}^{n_Y} \Delta Y_i^2}{n_Y} \; ; \qquad \sigma_Z^2 \frac{\sum_{i=1}^{Z} \Delta Z_i^2}{n_Z}$$

[6] Et metrisk kamera, er et kamera, hvor alle de indre parametre er nøje kendt.
[7] Med almene kameraer, menes der at det er ikke-metriske kameraer.
[8] Overstråling, er et fotogrammetrisk ?, hvor det lyse i et billede, fylder mere end hvad realiteten er.

Hvor:

σ_X^2 , σ_Y^2 , og σ_Z^2 er varianserne mod hver deres akse, til et vilkårligt punkt.

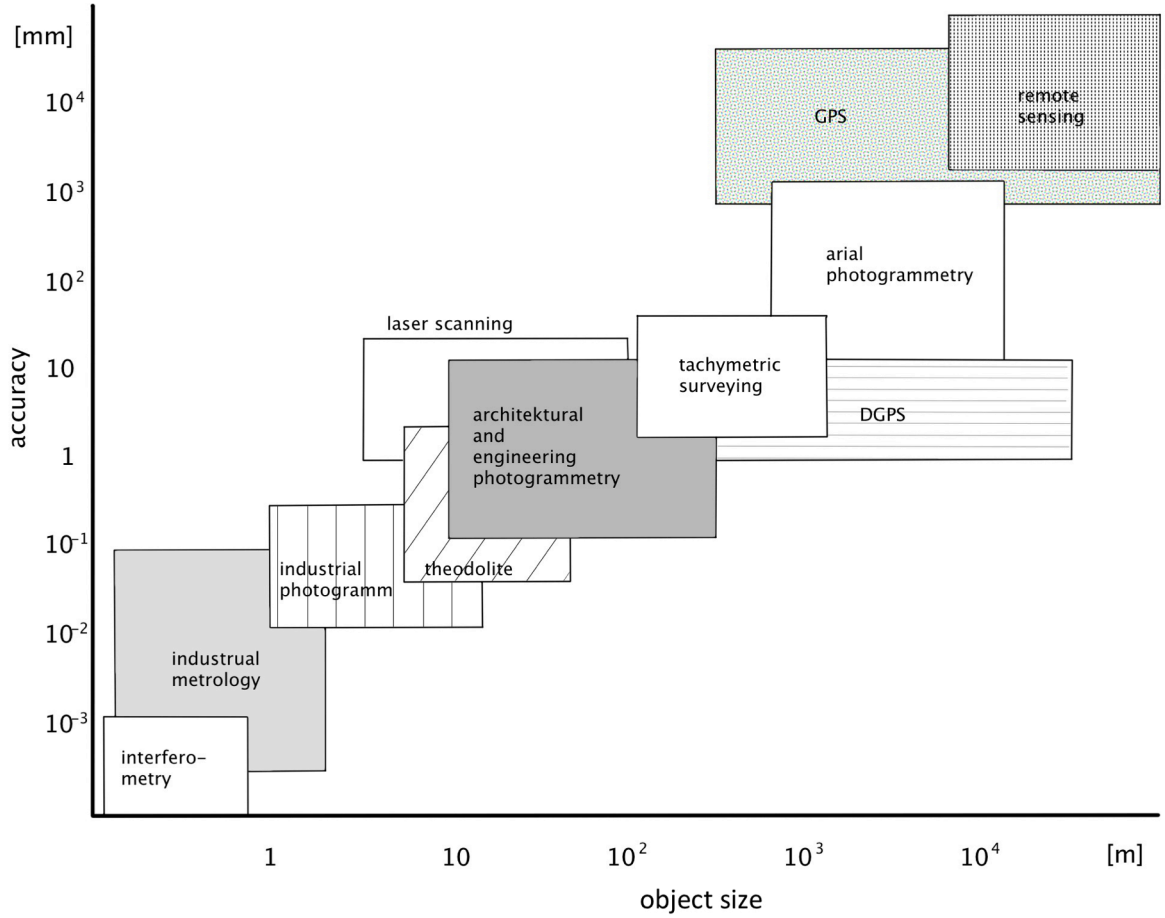
$\Delta X, \Delta Y$ og ΔZ står for billedernes koordinat difference.

n_x, n_Y og n_Z betegnes som antallet af overbestemmelser.

(K.Fekete, 2008)

Ovenstående formler bygger dog på, at koordinatdifferencen kendes. Koordinatdifferencen kan ikke umiddelbart bestemmes, eftersom den findes under strålebundsudjævningen. Ligeledes kendes det fra almen fotogrammetri, at et punkt kan bestemmes ned til en halv pixelstørrelse. Denne teori kan dog ikke anvendes ved strålebundsudjævning, eftersom der anvendes mere end to billeder. Når strålebundtsudjævningen anvendes, kræves der kontrast i billedet. Det betyder at hvis billedet enten lider af overstråling eller manglende kontrast, kan det medføre at der forekommer datahuller, eller områder i modellen med ringe nøjagtighed.

Det vides, at der er lavet en afhandling på et universitet i Cape Town (Heinz Rüther, 2012), som afdækker nøjagtigheden af *Close Range Photogrammetry*, som er den form for fotogrammetri, som ligeledes skulle anvendes for gældende problemstilling. De nåede frem til en spredning på *0.4 mm* ved anvendelse af et Canon Mark II kamera, som har 21.1 megapixel. Dette ville ligeledes være den nøjagtighed, som skriver forventer at der kunne opnås i projektets problemstilling, såfremt det affotograferede område ikke lider af overstråling. I gældende projekt, blev det dog også påvist, at metoden led under, at flere områder i modellen havde afvigelser på 1-2 mm, hvilket kan skyldes overstråling.



Figur 1 viser forskellige målemetoders præcision i forhold til afstand. Redigeret I PixelMator. (Thomas Luhman, 2011)

Figur 1 viser et skema over nøjagtigheden ift. afstand til et objekt ved fotogrammetrisk dataindsamling. Der er skildret en række forskellige fotogrammetriske målemetoder. En målemetode som skal anvendes i gældende projekt er; *Architektural and engineering photogrammetry*. Skemaet skildrer at der kan opnås en nøjagtighed ned til 0.1 mm, hvilket vurderes som tilstrækkeligt i projektets tilfælde.
Eftersom der anvendes et håndholdt kamera, er det ligeledes relativt billigt i anskaffelse af hardware. I rapporten fra University of Cape Town, blev der som tidligere nævnt, anvendt et Canon Mark II kamera, som kan anskaffes for ca. 13.000 kr. (Pricerunner, 2015). Eftersom kameraet er relativt billigt at anskaffe, er det ligeledes relativt billigt at skifte ud, når det kommercielle marked giver mulighed for forbedrede løsninger.
Skriver har selv arbejdet med fotogrammetri på 7. Semester; Opmåling og kortlægning af Kongerslev Kalkgrav. Det er skrivers empiriske opfattelse, at strålebundtsudjævningen er forholdsvis tung databearbejdningsmæssigt. Skrivers empiriske bud er, at

strålebundtsudjævningen for en opgave, som den i projektet, ville tage i omegnen af 15-30 min[9]. at beregne, alt efter hvilken computer som anvendes og hvor massiv datamængden er.

SWOT-analyse af fotogrammetri som indsamlingsmetode

Der vil blive lavet en SWOT-analyse som vil beskrive muligheder kontra svagheder og styrker kontra trusler, ift. om der kan anvendes fotogrammetri i projektets opgave. SWOT-analysen er lavet på basis af forrige afsnit.

Strengths • Relativ billig i anskaffelse • Høj nøjagtighed	**Weakness** • Beregningstid
Opportunities • Relativt billigt at opdatere hardware	**Threats** • Sårbar overfor manglende kontrast • Risiko for datahuller • Kan ikke arbejde i mørke

Figur 2 viser en SWOT-analyse ift. om fotogrammetri, kan anvendes som dataindsamlingsmetode til projektet.

Der ses en samlet SWOT-analyse på Figur 2. Det er beskrevet, at instrumentet har en svaghed, eftersom der i høj grad kræves kontrast. En løsning på dette kunne være selv at skabe kontrast i aftrykket, men NKC ønsker en metode, som ikke er i berøring med aftrykket, hvorfor dette ikke ses som en løsning. Ligeledes er der risikoen for datahuller, hvilket er en problemstilling, som skriver ikke har fundet en entydig løsning på. Dette er meget risikabelt, eftersom metoden skal bruges til at dokumentere spor, som kan føre til fængselsstraf.
Det er beskrevet, at metoden kan være tung beregningsmæssigt, men under Opportunities blev det beskrevet at det er relativt billigt at opdatere hardware, hvilket gælder for både kameraet, men ligeledes en ny computer. Grundet at det er billigt at opdatere teknologien i takt med tiden, ser skriver ikke beregningstiden som en barriere.
Ligeledes er det beskrevet, at der kan opnås en tilstrækkelig nøjagtighed, men som tidligere

[9] Denne antagelse bygger på skrivers tidligere erfaringer, med at processere fotogrammetrisk data.

beskrevet, er denne nøjagtighed i høj grad er varierende over modellen. Fotogrammetri vil efter skrivers overbevisning, være et godt redskab, hvis der altid skulle dataindsamles for det samme materiale, da der i dette tilfælde kunne tages højde for instabiliteterne ved fotogrammetri. udfordringen ligger i, at NKC aldrig ved, i hvilket materiale der er afsat et skoaftryk, og at der derfor skal vælges en dataindsamlingsmetode, som fungerer meget alsidigt.

3.2.2 Laserskanning

I forrige afsnit, blev der udarbejdet en SWOT-analyse af fotogrammetri, som projektets dataindsamlingsmetode. Det blev beskrevet, at der sandsynligvis kunne forekomme komplikationer i form af datahuller og ringe nøjagtighed over visse områder af modellen, hvis der vælges at anvende fotogrammetri. I følgende afsnit vil der blive udarbejdet en SWOT-analyse for laserskanning som dataindsamlingsmetode i projektet.

Laserskanning har i mange år været brugt indenfor opmålingsbranchen til større detaljerede opmålingsopgaver, som skanning af en bygning. Der er en undergruppe til de traditionelle laserskannere; håndholdte skannere. Denne type skannere har som oftest en meget høj nøjagtighed på typisk 0.2 - 1 mm. De håndholdte skannere er kendt indenfor bilindustrien, hvor de bl.a. anvendes til at kontrollere, om et karosseri mm., er produceret korrekt. I Rambøll Oil & Gas, har der været anvendt håndskannere til at skanne rørsamlinger for, hvor de skulle udskiftes. Håndskannerne virker på forskellige måder, hvor nogle af dem orienterer sig selv vha. targets og andre uden. Ingen af håndskannerne vil kræve, at der påsættes nogen form for targets eller lignende i selve skoaftrykket.
Kvaliteten af laserskanningen er forholdsvis stabil, hvormed der menes, at punktnettet er af forholdsvis ens densitet, og derfor fremkommer der sjældent datahuller. En af ulemperne ved laserskanneren er, at den har svært ved at registrere punkter over materialer, som er matsorte. Det skyldes, at den matte sorte overflade kaster meget lidt lys tilbage, og de fleste håndskannere er udstyret med en klasse 1 laser, for at være "eye-safe[10]". Men et materiale som jord, giver ifølge skrivers empiri ikke problemer i nævneværdig grad, hvilket skriver umiddelbart ser som det materiale, hvor der ofte vil blive afsat spor i, som lægger sig tættest op ad mat sort. Skannernes densitet varierer fra model til model, men er umiddelbart opgivet til mellem 0.2 - 1 mm. Dog skal det holdes in mente, at der er tale om en håndskanner, som operatøren styrer, hvor der indsamles data, hvorfor et område kan blive dataindsamlet et utal af gange, hvilket naturligvis giver en højere punktdensitet. Dermed er det selektivt operatøren, som styrer punktdensiteten, i modsætning til de klassiske laserskanner, som selv styrer i hvilken retning, deres laser skal dataindsamle. Laserskanneren kan dataindsamle i mørke, såvel som solskin. Prisen for en håndholdt laserskanner, har ikke umiddelbart været til at finde i et generelt leje, da den i høj grad varierer. Skriver har korresponderet med Lau Jensen fra Rambøll, som er i besiddelse af et eksemplar. Han oplyser at deres koster i omegnen af 350.000 kr. for skanneren inkl. tilhørende softwarepakke.

[10] Når en laser er eye-safe, betyder det at den ikke kan destruere et øje, ved at laserstrålen rammer pupillen.

SWOT-analyse af laserskanning som indsamlingsmetode

Der vil blive lavet en SWOT-analyse som vil beskrive muligheder kontra svagheder og styrker kontra trusler, ift. om der kan anvendes laserskanning til at dataindsamle i projektets opgave. SWOT-analysen er lavet på basis af forrige afsnit.

Strengths • Stabilt kvalitetsniveau • Høj nøjagtighed • Kan arbejde uanset lysforhold	**Weakness** • Dyr i anskaffelse
Opportunities • Grided kan blive så tæt, som operatøren ønsker	**Threats** • Skanneren er ikke den nyeste på markedet, den skal skiftes hele tiden for at følge med udviklingen

Figur 3 viser en SWOT-analyse ift. om laserskanning, kan anvendes som dataindsamlingsmetode til projektet

Af SWOT-analysen på Figur 3, ses det at laserskanneren er dyr i anskaffelse kontra fotogrammetri. Ligeledes opnår laserskanneren ikke den samme grad af nøjagtighed. Dog arbejder laserskanneren langt mere stabilt end den fotogrammetriske metode. Fotogrammetri er afhængig af stærk kontrast, hvilket der sandsynligvis ikke vil være at finde i projektets opgave, eftersom det ofte er ensartede materialer som jord i et blomsterbed, sand, murerstøv, sne etc. De steder som lider af manglende kontrast, vil resultere i, at den fotogrammetriske metode, vil få større fejl disse steder. Laserskanneren anvender ikke kontrast, hvorfor den kan måle i total mørke om nødvendigt.

3.2.3 Konklusion på valg af metode

Der er opstillet to SWOT-analyser, som beskriver styrker, svagheder, muligheder og trusler, ift. at anvende fotogrammetri og laserskanning. Der vil i følgende afsnit, blive argumenteret for at anvende en af metoderne til dataindsamlingen i projektet.

Hvis der bliver anvendt fotogrammetri som dataindsamlingsmetode, vil det kræve et faktisk lysforhold for billederne, hvilket gør, at skriver ikke ser fotogrammetri som anvendeligt. Laserskanneren giver bedre mulighed for, at der kan arbejdes diskret, da den ikke kræver

eksternt lys. Dette kan være en afgørende faktor, hvis den anvendes i en hemmelig ransagning[11]. Ligeledes lægges der vægt på, at det er politiet, som ønsker at anvende metoden, og derfor lægges der meget vægt på, at metoden er pålidelig og ens i kvalitetsniveauet, hvilket fotogrammetri ikke garanterer. **Derfor vælges der at arbejde videre med laserskanning igennem nærværende projekt**. Laserskanneren giver ligeledes mulighed for at undersøge resultatet i marken, da punktskyen udarbejdes i "realtime", hvor fotogrammetri kræver en strålebundtsudjævning. Dette betyder, at der for laserskanneren, kan vurderes på den indsamlede data ude i marken. Det er vigtigt, at NKC undersøger resultatet for et dataindsamlet spor i marken, da det muligvis er væk, hvis de kommer tilbage til gerningsstedet ved senere lejlighed.

3.3 Laserskannere til dataindsamling

I forrige afsnit blev der argumenteret for, at der skal anvendes en laserskanner til at forestå dataindsamlingen i projektet. Når der skal skannes et skoaftryk, er det vigtigt at det skannes fra mange vinkler, for at alle detaljer opfanges. Det vil kræve et utal af opstillinger med en almen laserskanner, men en håndskanner holdes i hånden og skanner et objekt, ved at operatøren bevæger skanneren rundt, imens målingerne registreres. Den kan forstås som en spraydåse, som måler hver gang der sprayes, og de steder hvor der er malet, er ligeledes dataindsamlet. Dette ses som en god mulighed i projektet, da der simpelt kan dataindsamles i aftrykket fra alle tænkelige vinkler. Der skal igennem afsnittet findes en skanner, som kan forestå dataindsamlingen i projektet. Der vil blive lagt vægt på tre faktorer for valget af skanner: *Punktdensitet, nøjagtighed og om der anvendes targets.* De skannere som tages i betragtning, er valgt på baggrund af, at de repræsenterer forskellige grupper. Dermed menes der, at skriver ikke sammenligner to skannere med tilnærmelsesvis ens hardware specifikationer. Det har ikke været muligt for skriver, at finde oplysninger om hvor mange målinger i sekundet, alle de op stillede skannere opnår, hvorfor dette ikke tages med som en faktor i sammenligningen.

3.3.1 Handyscan3d fra Creaworks

Lau Jensen oplyste at Rambøll Oil & Gas, Qatar, ejer en håndskanner[12], som var indkøbt til et projekt som ikke længere er aktivt. Lau Jensen fik fragtet skanneren til Danmark, hvor skriver har rig mulighed for at teste den ift. skanning af sko og skoaftryk. Der er tale om en handyscan3d fra Creaworks, som kan overholde en nøjagtighed på 5/100 mm i spredning og kan måle ned til 0.2 mm[13] i punktdensitet[14]. Den anvender targets til at registrere ændringer i sin egen position. Det vil i projektet være optimalt, at der ikke anvendes targets, men det er dog stadig en mulighed. Der ses en opsummering af skannerens specifikationer på Tabel 1.

---

[11] Hemmelig ransagning er, hvor politiet ransager et hjem, uden ejeren er bekendt med det.
[12] En håndskanner er en håndholdt laserskanner, som oftest bruges indenfor bilindustrien til at skanne mindre og komplekse objekter, hvor der er krav om høj nøjagtighed og lav punktdensitet.
[13] Der findes et produktblad til skanneren under Bilag C.
[14] Med punktdensitet menes der den interne afstand mellem de punkter, som skanneren opfanger.

	Punktdensitet	Nøjagtighed	Anvender targets
Handyscan3d	0.2 mm	0.05 mm	Ja

Tabel 1 viser specifikationerne for Handyscan3d.

3.3.2 Freestyle fra Faro

Faro har lanceret en laserskanner som ikke anvender targets. Den har en nøjagtighed på 1.5 mm og måler i et grid af ca. 4.7 mm. Specifikationerne af Faro's freestyle skanner er, at den ikke anvender targets og derfor må ses som meget brugervenlig. (Faro, 2015) Der ses en opsummering af skannerens specifikationer på Tabel 2.

	Punktdensitet	Nøjagtighed	Anvender targets
Freestyle	4.7 mm	1.5 mm	Nej

Tabel 2 viser specifikationerne for Faro Freestyle.

3.3.3 MetraScan 70 fra Creaform3d

MetraScan har lanceret deres bud på en højpræcisionslaserskanner. Den anvender ikke targets, men får registreret ændringer i sin position ved en sensor, som altid måler til skanneren. Sensoren er et eksternt instrument, som kræver sin egen opstilling. Den registrerer punkter med en nøjagtighed på 0.085 mm og har opgivet et grid på 0.05 mm. (creaform3d, 2015) Der ses en opsummering af skannerens specifikationer på Tabel 3.

	Punktdensitet	Nøjagtighed	Anvender targets
MetraScan 70	0.05	0.085	Nej

Tabel 3 viser specifikationerne for MetraScan 70.

3.3.4 Valget af skanner

I følgende afsnit vil der blive valgt den skanner, som skal forestå opmålingerne i projektet. Det ses, at Freestyle laserskanneren er den mest brugervenlige, men det er på bekostning af at den har en væsentlig dårligere nøjagtighed og punktdensitet ift. de to tidligere nævnte skannere. På baggrund af dette vælges der *ikke* at bruge Freestyle laserskanneren til at dataindsamle i projektet. Handyscan3d og MetraScan 70 har en nøjagtighed som er sammenlignelig og vil begge kunne anvendes i projektet, da der ikke konkluderes på slitager mindre end nogle millimeter[15]. Punktdensiteten i MetraScan 70 er fire gange bedre ift. Handyscan3d. Dette er dog ikke en faktor, som skriver lægger videre megen vægt på, eftersom skanneren bevæges i

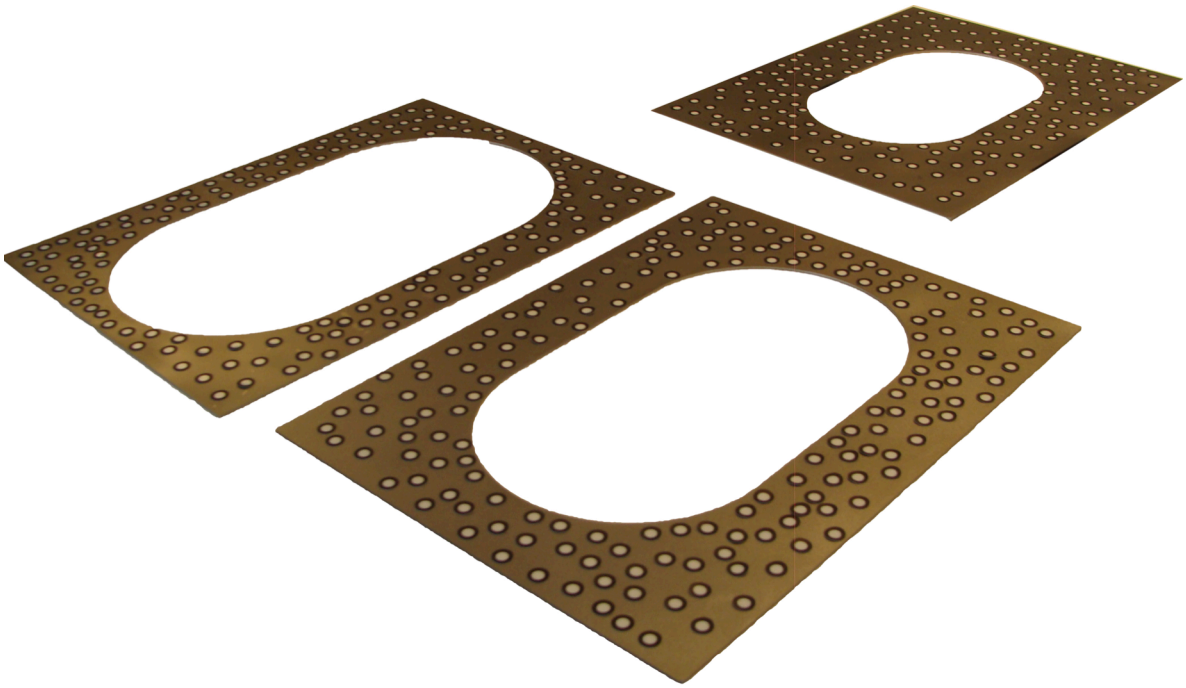
[15] Det blev af Per Krat fortalt, at de ikke tog slitager mindre end nogle millimeter i betragtning.

hånden og der dermed vil opnås dobbelt så høj punktdensitet ved at stryge skanneren over det samme område to gange. MetraScan 70 kræver som nævnt en ekstern opstilling af en sensor. Ved et gerningssted kan pladsen være trang, hvorfor dette ses som en ikke brugbar løsning. Eftersom Rambøll allerede ejer Handyscan3d, som overholder de nøjagtigheder som NKC har, samt at MetraScan kræver opstilling af en ekstern sensor, vælges der at arbejde videre med Handyscan3d i projektet.

3.4 Dataindsamling med Handyscan3d

I forrige afsnit blev det konkluderet, at dataindsamlingen skal foretages med Handyscan3d, fra Creaworks.
I følgende afsnit vil der blive gennemgået hvilket opsæt, det kræver at dataindsamle med gældende skanner.

Når skanneren skal registrere ændringer i sin egen position, anvendes der targets[16]. Disse targets skal spredes rundt om objektet, da der ikke kan sættes targets direkte i skoaftrykket.

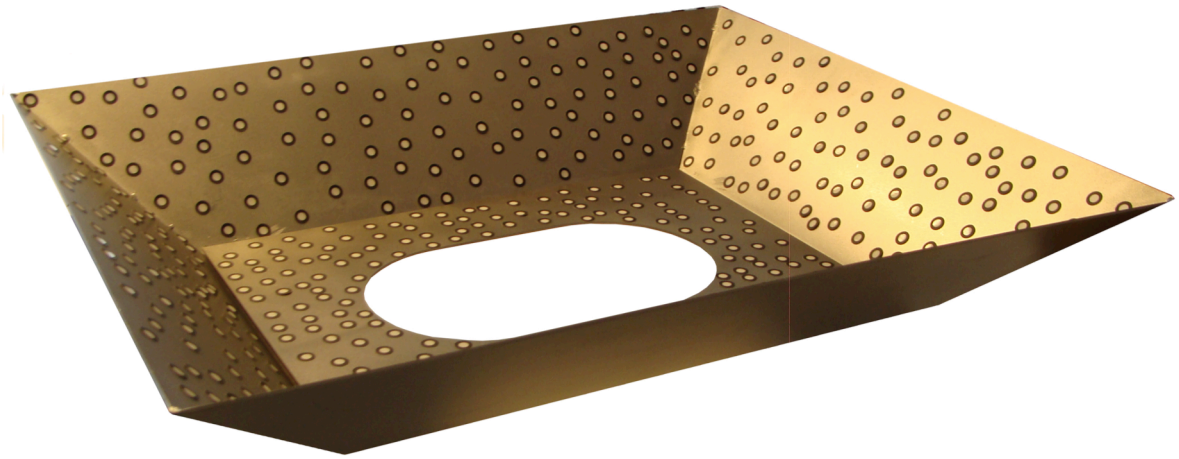


Figur 4 viser nogle plader med targets, som håndskanneren anvender til at orientere sig selv, over et skoaftryk. Affotograferet af skriver og redigeret i PixelMator.

For at der ikke skal spredes targets hver gang, er der konstrueret nogle plader, som passer ned over et bredt spektrum at skostørrelser. Pladerne ses illustreret på Figur 4.

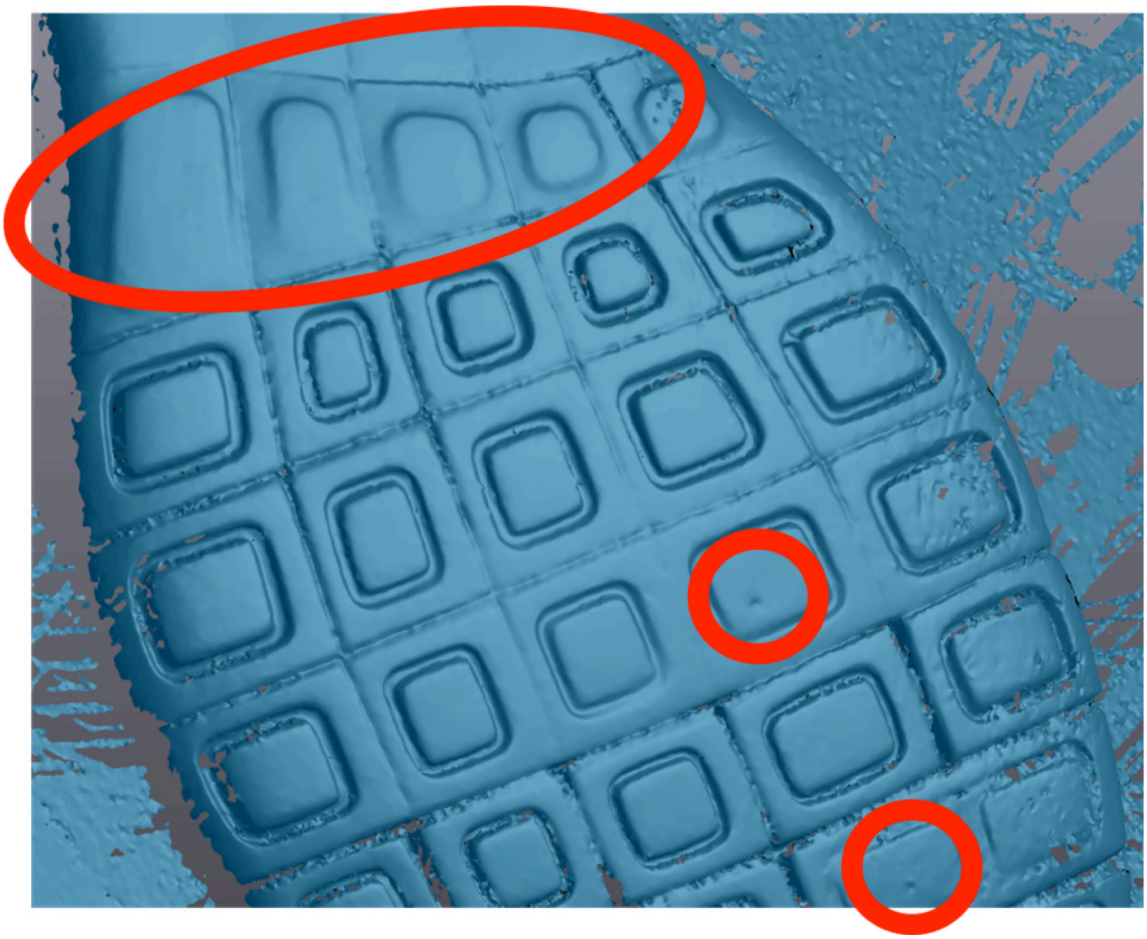
[16] Under Bilag D findes der en uddybning af, hvordan skanneren orienterer sig selv, og hvordan den skanner et objekt.

Det blev skildret, at der ligeledes skal skannes skosålen, for at de to skan kan matches. Skosålen kræver en lidt mere omstændig spredning af targets, da den er løftet over jorden og targets derfor ikke bare kan spredes på jorden, som det er forklaret under Bilag C.



Figur 5 viser et fotografi af en kasse med targets. Håndskanneren anvender kassens targets til at orientere sig selv. Det er tiltænkt at en sko, lægges ned i kassen, for at blive skannet. Fotograferet af skriver og redigeret i PixelMator.

Der er konstrueret en skanningskasse, hvor skoen kan sættes ned i, som ses illustreret på Figur 5. Under Bilag C findes en uddybende teoretisk forklaring af kassens konstruktion.



Figur 6 viser et screenshot fra VMXelements af en skannet skosål, hvor der med rød ring er markeret tre interesseområder. Redigeret i PixelMator.

På Figur 6 ses der et screenshot fra VMXelements, som er det program, skanneren arbejder og opbygger modeller igennem. Gældende skanning blev foretaget i Bilag C. Det ses at der er udpeget tre interesseområder, som er unikke for denne sko. Det øverste interesseområde er forekommet af almindelig slitage. Det som gør dette område unikt, er at vi mennesker generelt går forskelligt og derfor ikke vil slide sålen på samme måde. De to resterende interesseområder er forekommet ved, at der er trådt sten op i sålen, som har efterladt et unikt mærke. Iflg. Per Krat er tre interesseområder på en sål ligeså godt som ti områder i et fingeraftryk, hvilket betyder at det er nok til at fastslå, at den enkelte sko har afsat et gældende aftryk.
De to nederste deformationer har hver en diameter på omkring 2-3mm. For at interesseområdet kan bruges til at matche et skoaftryk, skal interesseområdet ligeledes fremstå i aftrykket. Skriver tog en korrespondance med Per Krat, som fortalte, at det ikke er sandsynligt, at et aftryk er afsat i et materiale, hvor der fremgår detaljer finere end 2 mm. På baggrund af Per Krats udsagn, vurderer skriver at gældende skanner kan forestå dataindsamlingen.

3.5 Matchning mellem sko og skoaftryk

Når en skosål er skannet, ligger den i en lokal punktsky, hvilket ligeledes er tilfældet for skanningen af et skoaftryk. Under Bilag C er det uddybet, hvordan skoen og et aftryk skannes. Når en sko og et skoaftryk er skannet, skal det påvises, om de ”passer sammen”, dette kaldes matchning.
Problematikken ligger i, at begge skyer ligger i hvert deres lokale koordinatsystem og at der ikke er kendte fællespunkter, som det anvendes ved almen landmåling. Derfor skal de to punktskyer, orienteres til det samme koordinatsystem førend, der kan findes et match imellem dem. Derfor skal nærliggende projekt lægge vægt på at udvikle en automatisk eller semiautomatisk metode til at forestå orienteringen, samt at finde en metode til at bevise om en gældende sko har afsat det specifikke skoaftryk.

4 Problemformulering

Igennem foranalysen blev det klargjort, at dataindsamlingen efter skrivers overbevisning skal udføres med en håndholdt laserskanner. Det blev forklaret, at Rambøll ejer en laserskanner, som skriver finder brugbar til at udføre projektets dataindsamling. Der blev endvidere redegjort for problematikken i, at der ikke benyttes targets under dataindsamlingen, som kan anvendes som fællespunkter. Skriver vælger at projektet skal omhandle, hvordan de to punktskyer kan orienteres uden brug af targets.

> Hvorledes er det muligt automatisk at orientere to punktskyer til det samme koordinatsystem uden brug af targets?

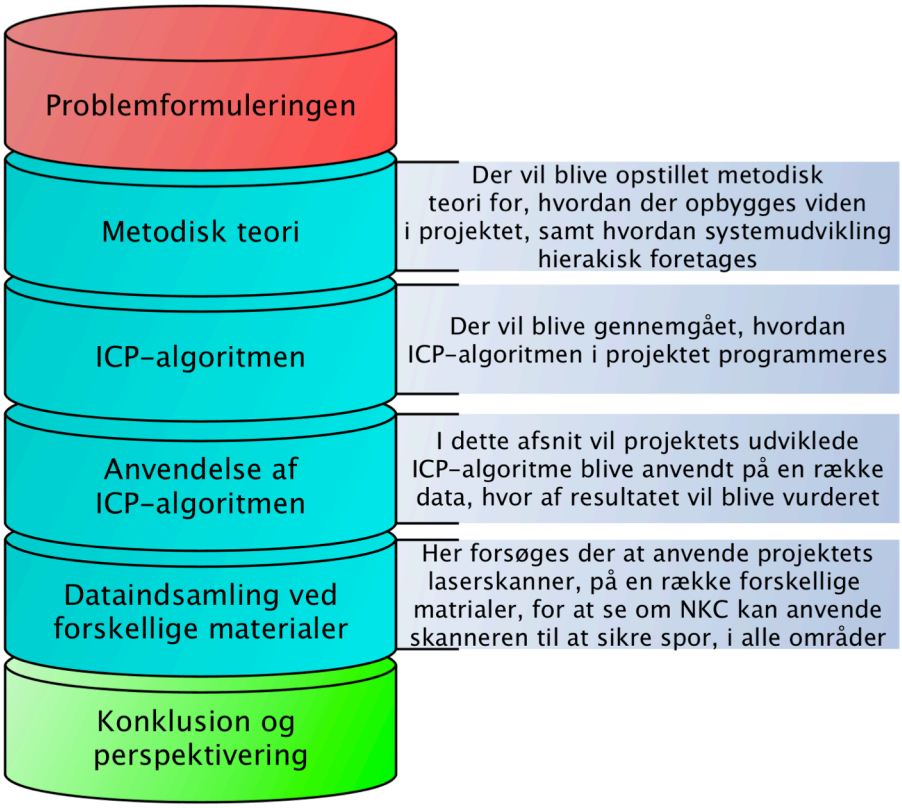
Når de to punktskyer er orienteret til det samme koordinatsystem, skal interesseområderne sammenlignes. Herefter skal der undersøges, om skanneren kan indsamle data i alle de materialer, hvori NKC kan tiltænkes at finde et skoaftryk. Dette leder frem til følgende underspørgsmål:

- Hvordan sammenlignes et interesseområde, skoen og aftrykket imellem?
- Er der nogle typer af materialer, hvor skanneren ikke kan opsamle data, eller hvor målingerne bliver behæftet med nævneværdig meget støj?

Til besvarelse af problemformuleringen, bliver projektet foretaget i tre trin, hvor det første vil omhandle hvordan **punktskyerne orienteres** ift. hinanden.
Næste trin vil omhandle, hvordan et **match findes**. Hermed menes der, at når punktskyerne er orienteret, skal der argumenteres for, om der er match eller ej. I tredje trin, skal skanneren testes ift. en række **forskellige materialer**, hvor der er afsat skoaftryk. Der skal testes, om skannerens output vil blive påvirket af materialets refleksion, for at undersøge om der er senarier, hvor NKC ikke kan anvende en laserskanner.
Når et skoaftryk er indsamlet digitalt, giver dette ligeledes mulighed for, at der kan opbygges en database, hvor et aftryk leder tusindvis af sko eller aftryk igennem fra tidligere forbrydelser, for at undersøge om samme sko har været anvendt flere gange.
Det er banebrudende men ikke direkte revolutionerende, at kunne sammenligne en sko med et aftryk ved brug af en algoritme kontra en manuel vurdering. Der er derimod tale om en revolution, der hvor et aftryk kan sammenlignes med tusindvis af sko og andre aftryk, da dette vil anses som en umulig opgave at udføre manuelt. Som nævnt ligger revolutionen altså ikke i at kunne sammenligne *et* aftryk med *en* sko automatisk, men dette skal ses som det indledende arbejde, for at kunne forstå hvordan det udbygges til en database.

5 Projektstrukturen

I følgende afsnit, vil projektstrukturen blive opstillet med en billedlig eksemplificering af hvordan den resterende del af rapporten hierarkisk vil forløbe. Afsnittet har til formål, overfor læseren at give et simplificeret overblik over, hvad rapporten indeholder fra problemformuleringen til konklusionen. Der vil blive opstillet et strukturdiagram, hvor alle elementerne af de kommende afsnit, vil være indholdet, efterfølgende vil der komme et afsnit, som uddyber hvad der vil blive foretaget i de gældende afsnit, samt hvad deres formål er ift. projektet.



Figur 7 viser et flowdiagram over projektets struktur. Udarbejdet af skriver i yED.

I Figur 7 ses der et flowdiagram af projektets struktur. Det ses at efter opstillingen af problemformuleringen, skal denne løses med fokus på at opnå en konklusion. For at arbejde struktureret og forøge raten for succes, opstilles der metodisk teori for hvordan der opbygges viden igennem projektet. Dette er essentielt, for at få en forståelse af, hvordan et problem håndteres og løses, uden at der drages konklusioner, som ikke er tilstrækkeligt underbyggede. I projektet er det bestemt, at hoveddelen skal omhandle systemudvikling. Til systemudvikling findes der et utal af anvendelige metoder. Der vil forsøges at opstille en metode for hvordan systemudvikling foretages hierarkisk. Det er essentielt, at forstå de forskellige faser af systemudvikling, for at systemopbyggelsen bliver struktureret på en sådan måde, at der arbejdes målrettet mod det produkt, som måtte ønskes, samtidigt med at raten for succes

styrkes. Efter den metodiske teori er stillet op, kan selve systemudviklingen påbegyndes, som er udvikling af projektets ICP-algoritme.
Der vil i selve projektet ikke blive opstillet, hvordan skriver har fundet frem til de enkelte elementer, som ICP-algoritmen er opbygget af. Der vil ligeledes ikke blive opskrevet de mislykkede forsøg, som skriver har måttet erfare under programmeringen. Teorien og empirien som er kommet til under systemudviklingen, vil i stedet være at finde under Bilag E. Der vil i projektet blive opstillet den hierarkiske opbygning af ICP-algoritmen, samt hvad de enkelte delelementer bevirker i algoritmen. Efter ICP-algoritmen er opbygget, vil den forsøges anvendt på forskellige data for at undersøge, om algoritmen i det hele taget virker. Det forventes ikke at algoritmen kan orientere data, hvor der er meget ens struktur eller relativ meget støj. Det skal holdes in mente, at dette ses som det indledende arbejde for udviklingen af en ICP-algoritme og ikke et endeligt produkt.
Efter projektets ICP-algoritme er blevet vurderet, vil der blive undersøgt om laserskanneren kan dataindsamle over en bred vifte af materialer. De opstillede materialer er fundet og dataindsamlet i samarbejde med NKC, som vil undersøge om skanneren kan dataindsamle skoaftryk, for alle de scenarier, de bliver udsat for. Dette gøres for at underbygge hypotesen om laserskanning som et anvendeligt redskab hos NKC.

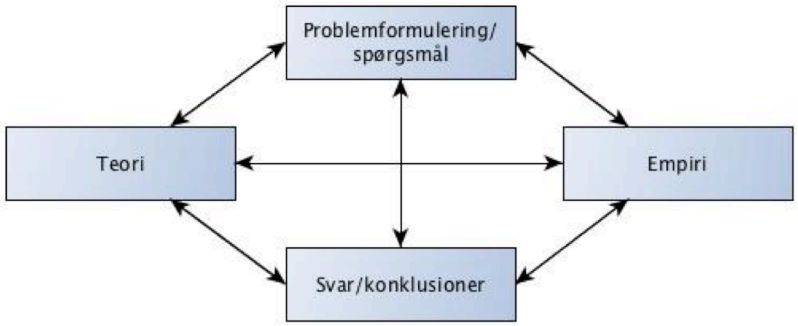
Til sidst i projektet vil der blive opstillet en konklusion og perspektivering.

6 Metodisk teori

Til at strukturere et projektforløb og arbejde målrettet mod et resultat, findes der en række forskellige metoder, som med fordel kan anvendes. I gældende projekt skal der anvendes metode for vidensopbyggelse, samt metode til systemudvikling. Dette grunder i, at der arbejdes med et nyt emne i projektet, hvorfor der skal opbygges den fornødne viden, for at kunne systemudvikle hertil.
I gældende afsnit vil der forelægge en metode for hver af disse arbejdsgange.

6.1 Vidensopbyggelse

Formålet med følgende afsnit er at konkretisere hvordan der opbygges viden igennem projektet, fra et problem konkretiseres til en løsning eller konklusion forefindes.



Figur 8 skitserer hvordan videnopbyggelsen struktureres i et projekt og samspillet herfor, fra et problem konkretiseres til at problemet løses. Taget fra (Aunsborg, 1997).

På Figur 8 ses den metodiske procesbeskrivelse til, hvordan der opnås viden igennem et vilkårligt projektforløb. Beskrevne forløb starter fra ideen, som udmunder i en problemstilling og ned til en besvarelse i form af en løsning eller konklusion herfor.

Problemformulering/spørgsmål: Et projekt starter med et problem som skal løses, eller en idé til noget som kan forbedres. Problemformuleringen/spørgsmålet leder mod et svar/konklusion, men såfremt spørgsmålet ikke umilddelbart besvarer sig selv, ledes der enten mod empiri eller teori.

Teori og empiri: Teori og empiri er tæt forbundne. Når problemformuleringen ønskes besvaret, ledes der som oftest enten mod teori eller empiri. Er problemformuleringen linket til et emne skriver har arbejdet med før, kan en tidligere opnået empiri muligvis lede til en besvarelse af problemet. Empirien kan ligeledes udbygges ved at lede mod teorien, for så at lede tilbage mod anden opnået empiri, som kan kædes sammen. Har skriver aldrig før arbejdet med et gældende

emne, vil problemformuleringen, som oftest lede mod en teori, som derefter kan lede mod empiri, som hjælp til at besvare den opstillede teori. Der kan ligeledes overbygges med andres opnåede empiri, som kan drages til nytte gennem gældende personers tidligere skrifter eller afhandlinger. Teori/empiri er de to elementer, som ofte leder direkte til et svar på problemformuleringen.

Svar/konklusioner: Under svaret kan der enten perspektiveres til nye problemformuleringer, som en direkte konsekvens af den opstillede teori, eller sekundær inddraget empiri. Ligeledes er svaret ikke nødvendigvis en entydig løsning, hvilket vil lede konklusionen tilbage til problemformuleringen for at få lukket samtlige løse ender.

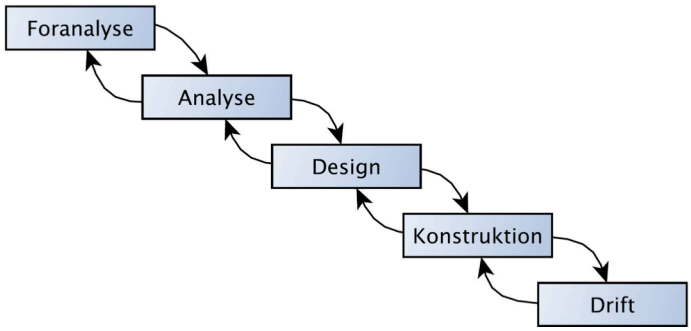
På denne måde er alle fire kasser i Figur 8 tæt forbundne. Hvordan disse fire kasser anvendes, samt i hvilken rækkefølge, vil være direkte indvirkende på projektets strukturmæssige opbygning.

6.2 Metode til systemudvikling

I projektet skal der udvikles et system, som kan behandle punktskyerne ift. orientering og sammenligning. For at arbejde målrettet og struktureret mod en løsning, anvendes der et metodisk flowdiagram til at strukturere arbejdsprocessens forløb.
Generelt kan de forskellige metoder til systemudvikling opdeles i to processtrukturer, det iterative forløb og det sekventielle.

Den sekventielle model dikterer projektets forløb diktatorisk, hvor hvert step arbejder målrettet mod et resultat. Som hovedregel kendes den sekventielle metode som et vandfaldsforløb, hvor der ikke er tilbagegang til tidligere processer.
Den iterative model leder konstant tilbage til et tidligere step og forsøger at forbedre resultatet.

Fordelen ved den sekventielle model er, at der sikres et resultat indenfor overskuelig tidshorisont. Ulempen er dog, at den ikke giver mulighed for at forbedre et step og dermed opnå et optimalt resultat.
Den integrerende model gør sig nyttig ved, at den altid forsøger at forbedre hvert step og dermed opnå det optimale resultat. Ulempen ses ved at den er forholdsvis tidskrævende, eftersom hvert forløb skal gennemgås et utal af gange, da den ikke arbejder målrettet.



Figur 9 viser den generelle projektmodel. Taget fra (Rie Jepsen, 2003).

På Figur 9 ses der et flowdiagram af den generelle projektmodel, udarbejdet af Rie Jepsen. Det hedder den generelle projektmodel, men henvender sig til projektbaseret systemudvikling. Metoden har et vandfaldsforløb, med løbende itererende processer. Dermed er beskrevne metode en blanding mellem den iterative og sekventielle metode, da den har et sekventielt forløb, hvor processerne er iterative. Fordelen ved gældende metode er, at den arbejder målrettet mod et resultat, men giver mulighed for at forbedre resultaterne ved sin iterative proces. Når en systemudvikler anvender denne metode, er det udvikleren, som vurderer om et forløb skal forbedres iterativt, eller om det er tilstrækkeligt optimalt til sekventielt at gå videre til næste step. Det er vigtigt at den endelige bruger, som er NKC i gældende tilfælde, inddrages i, hvordan resultatet skal leveres. Hermed menes der, at det resultat som der arbejdes imod, skal være interesseafstemt med de ønsker NKC har. Derfor kan det være relevant at inddrage NKC igennem systemudarbejdelsen.

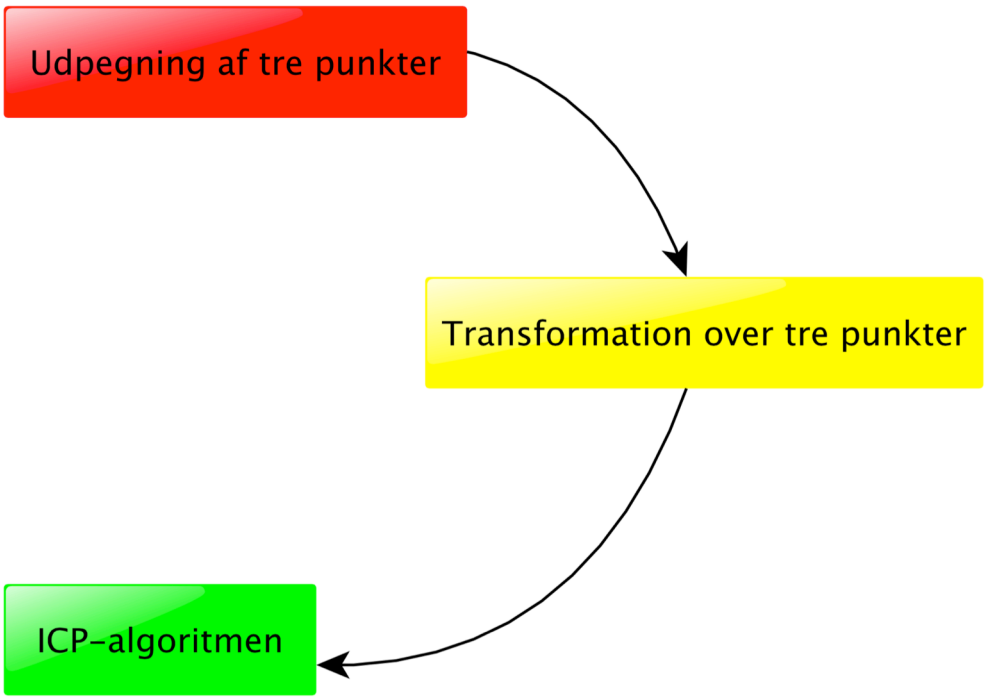
Beskrevne metode vurderes at være optimal til projektet, eftersom det er et nyt arbejdsområde for skriver, og at det derfor ikke er ideelt at arbejde med direkte mod et resultat, eftersom skriver er nød til at opbygge teori og empiri, som udviklingen skrider frem. Ligeledes vurderes det at være en dårlig ide, at arbejde udelukkende iterativt, da dette opbygger en masse teori og empiri, men ikke sikrer et egentligt resultat, som NKC ønsker.

7 ICP-algoritmen

Som nævnt i afsnit 3.5 ligger skanningerne af skoen og dens tilhørende aftryk i hvert deres koordinatsystem. Der er ikke targets der kan bruges som fællespunkter, derfor skal der anvendes en anden metode, som udelukkende orienterer den ene punktsky over i den anden vha. den indbyrdes geometri. Til at gøre dette er der udviklet en metode kaldet ICP-algoritme. Under Bilag D findes der en forklaring af hvordan en ICP-algoritme er bygget op, hvorfor dette ikke vil blive uddybet videre i projektet. I projektet ønskes der at udvikle en ICP-algoritme til at forestå orienteringen, da skriver ikke har kunnet finde et forprogrammeret script, som kan gøre dette med et tilfredsstillende resultat. Projektets ICP-algoritme vil følge den hierarkiske arbejdsgang fra Bilag D. Selve algoritmens opbygning vil blive gennemgået i følgende afsnit, men alle de empiriske erfaringer, som blev opnået under algoritmens programmering, vil blive gennemgået i Bilag E.

7.1 ICP-algoritmens struktur

I følgende afsnit vil der blive gennemgået hvordan projektets ICP-algoritme er struktureret. Før selve ICP-algoritmen kan anvendes, skal der udføres noget indledende bearbejdning af dataene, dette vil ligeledes blive gennemgået i følgende afsnit.

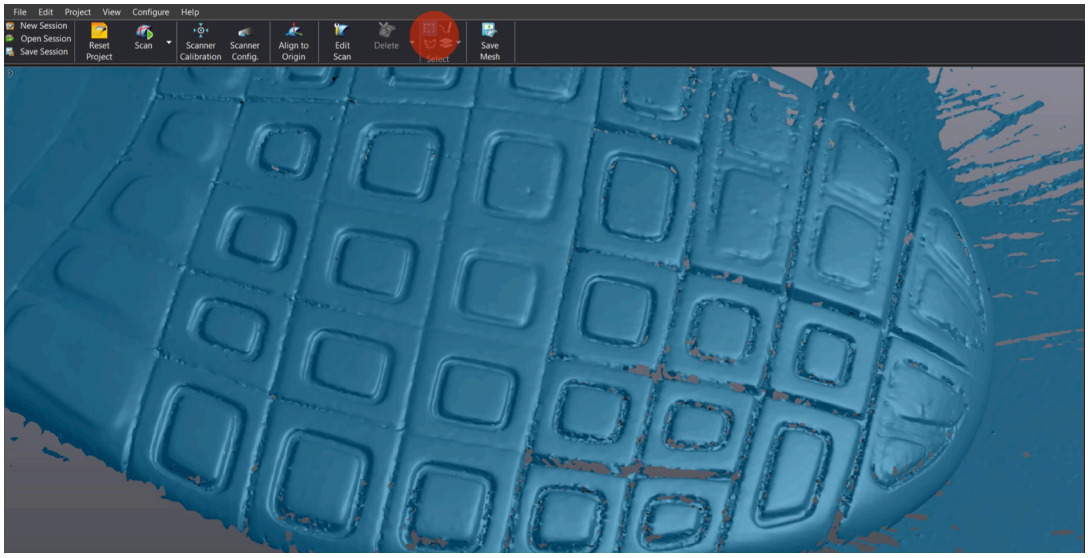


Figur 10 viser et flowdiagram over hvordan projektets ICP-algoritme virker. Udarbejdet i yED.

På Figur 10 ses et flowdiagram for arbejdsgangen når projektets ICP-algoritme anvendes. Det ses i flowdiagrammet, at der er tre scripts, hvor det kun er det ene af dem (det grønne) som omhandler selve ICP-algoritmen. De to andre scripts er indledende databehandling, som er nødvendigt for, at projektets ICP-algoritme virker efter hensigten. De vil alle tre blive gennemgået i projektet.

7.2 Rensning af punktsky

Når skanneren indsamler en punktsky af et objekt, vil der ikke kun blive indsamlet data af modellen men ligeledes af omgivelserne. Det skal bemærkes, at dette ikke er en del af flowdiagrammet fra Figur 10, eftersom det ikke er en egentlig del af ICP-algoritmen, men er en nødvendig del af databearbejdningen, inden dataene skal processeres i ICP-algoritmen. I følgende afsnit beskrives det, hvordan en punktsky renses.



Figur 11 viser et screenshot af VMXelements, af en skannet sko, hvor klippeværktøjerne er markeret med rød. Redigeret i PixelMator.

På Figur 11 ses et screenshot af en skannet sko i VMXelements. Klippeværktøjerne ses markeret med en rød transparant plet. Det ses at skoen er skannet, men dette er dens omgivelser ligeledes. Klippeværktøjerne bruges her til at klippe omgivelserne væk, således kun skoen og ikke også omgivelserne eksporteres fra programmet. Det gøres ved at markere alt udefraliggende data og slette det. Dette er en manuel proces. Efter skrivers erfaring tager dette omkring 2 min.

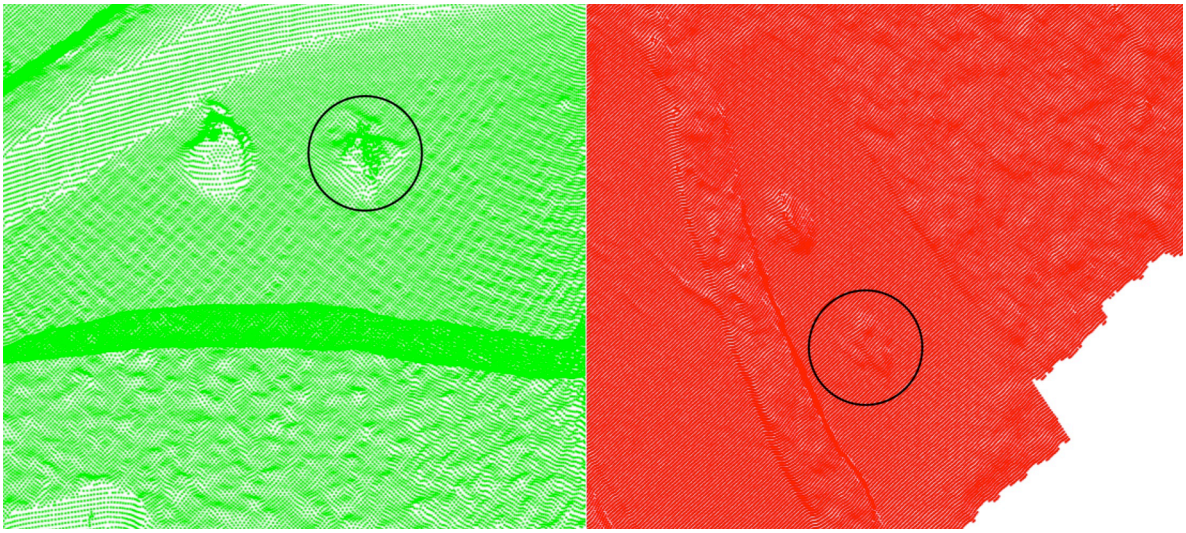
7.3 Relativ orientering

Når ICP-algoritmen skal anvendes er betingelserne, at de to punktskyer skal være forholdsvist godt relativt orienteret . ICP-algoritmen transformere de to punktskyer på hinanden, dvs. at der skal foretages en rotation og translation, som bringer de to punktskyer til det samme koordinatsystem. Når ICP-algoritmen startes, skan den kunne bestemme den vinkel, som

modellen som den ene model skal translateres og roteres imod. For at det kan lade sig gøre, skal modellerne være orienteret, så rotationen er mindre end 30^{o} (Sturm, 2013). Til at forestå dette har skriver lavet to scripts, som findes under Appendiks I og Appendiks II. Denne del af databearbejdningen er illustreret i den røde og gule kasse fra Figur 10.

Udpegning af tre punkter

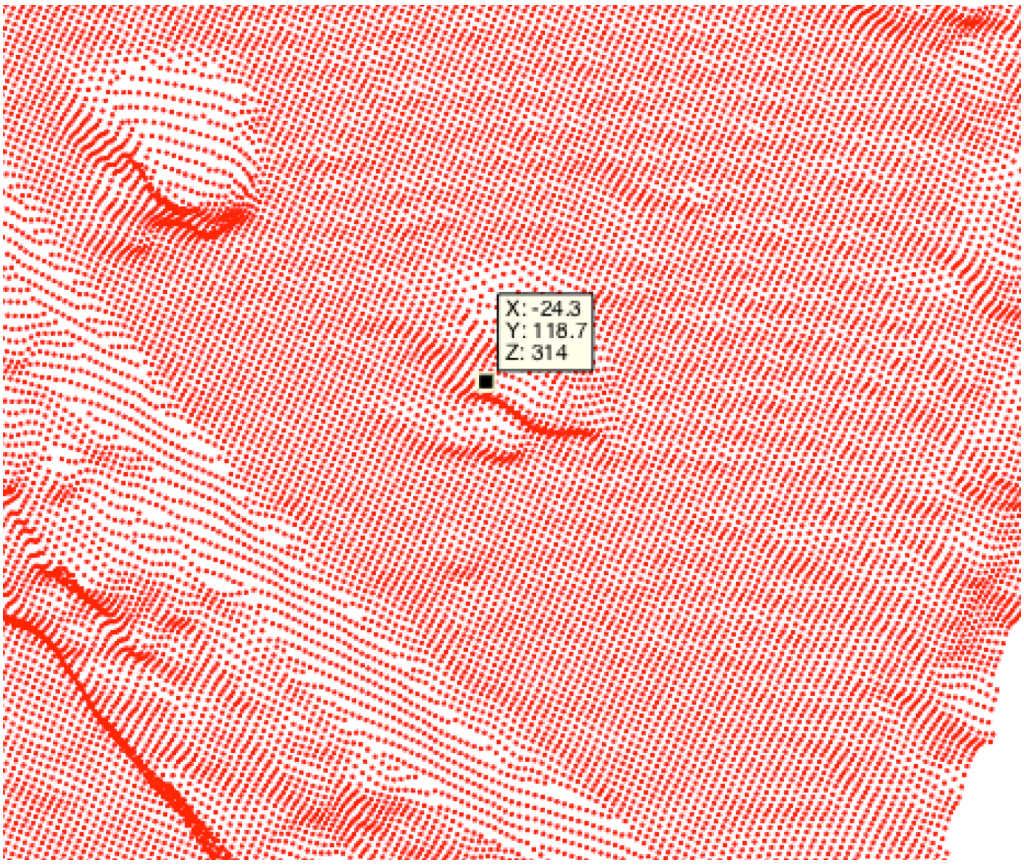
Udpegningen af de tre punkter[17] sker under Appendiks I. Det virker ved at der indlæses to punktskyer[18]. Et for skoen og et for det aftryk som formodes at være tilhørende den gældende sko.



Figur 12 viser to screenshots af to punktskyer, taget i MatLab. Det til venstre i billedet, er af en sko og det til højre er af et aftryk i gips. Der er i PixelMator lagt to sorte ringe om to korresponderende let-genkendelige områder.

På Figur 12 ses der to screenshots fra skrivers skanninger. Det til venstre er en skanning af en sko og det til højre er en skanning af et gipsaftryk, selv samme sko har afsat. Der er markeret med sort ring omkring to områder, som er let-genkendelige i begge aftryk. Begge punktskyer er plottet i MATLAB.
Der skal i disse to områder udpeges korrelerende punkter med et punkt i hvert plot.

[17] Under Bilag G findes der en begrundelse for, hvorfor der skal udpeges tre punkter, som skal spredes ud over de to modeller.
[18] Modellerne som anvendes, findes under Bilag I. Der anvendes aftrykket i gips og skoen.

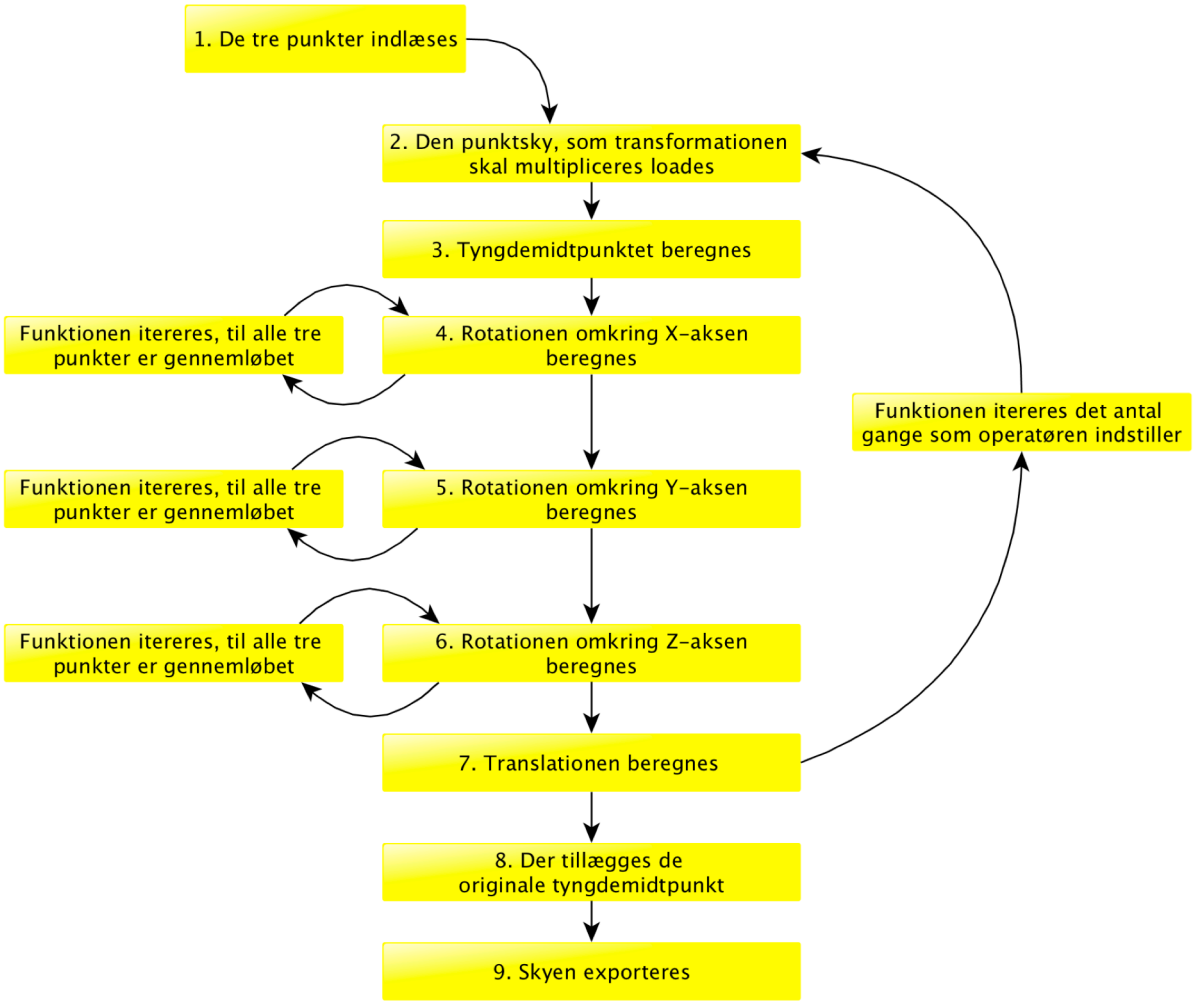


Figur 13 viser et screenshot fra Matlab, hvor der er udpeget et punkt indeni et 3D plot.

På Figur 13 ses der, at et punkt udpeges i plottet. X, Y og Z –koordinaterne skrives ind i scriptet under Appendiks II. Dette gøres for udpegningen i begge plottede punktskyer.
Ved denne metode skal der udvælges tre områder, som er fordelt mest muligt over modellen. Udpegningerne skal være fordelt ud over hele modellen, grundet at en fejl i udpegningen mellem korrelerende punkter vil vokse ekspotentielt med afstanden ud langs modellen- væk fra punktet.
Det skal holdes i mente at det ikke er af afgørende betydning, om disse punkter udpeges med høj nøjagtighed imellem de to skans, eftersom ICP-algoritmen senere vil udføre den endelige orientering.

7.4 Transformation over tre punkter

Under Figur 10 ses et step hvor der skal transformeres under tre punkter. Scriptet til dette step findes under Appendiks II. Dette script anvender de udpegede punkter fra de to plots til at forestå den indledende orientering.



Figur 14 viser et flowdiagram over Appendiks II. Udarbejdet i yED.

I Figur 14 ses der et flowdiagram over Appendiks II, som skal forestå orienteringen.
Det ses at der først indskrives de tre korrelerende punkter (seks i alt). Flowdiagrammet vil blive gennemgået step for step i følgende afsnit:

Step 1

De tre korrelerende punkter beskriver forholdet for transformationen de to punktskyer imellem. Som beskrevet tidligere i afsnittet er de udpeget manuelt.

Step 2

Den punktsky som transformationen ønskes tillagt, bliver indlæst. Det er denne sky, som vil blive lagt over i den anden, dog multipliceres translationen og rotationen ikke før step 7.

Step 3

Der beregnes et tyngdemidtpunkt, som rotationen vil ske omkring. Der er i Bilag E beskrevet, hvordan rotationsmatrixen anvendes til at rotere datasættet om tyngdemidtpunktet. Tyngdemidtpunktet er beregnet efter:

Det beregnes ift. hver af de tre akser.

$$T_x = \frac{\sum X_1 + X_2 + \cdots + X_n}{n}$$

$$T_Y = \frac{\sum Y_1 + Y_2 + \cdots + Y_n}{n}$$

$$T_Z = \frac{\sum Z_1 + Z_2 + \cdots + Z_n}{n}$$

$$Tyngdemidtpunktet = \begin{bmatrix} T_x \\ T_Y \\ T_Z \end{bmatrix}$$

Dermed er tyngdemidtpunktet beregnet, hvilket gøres både for til- og fraskyen.

Hver af skyerne får subtraheret deres tyngdemidtpunkt i samtlige koordinater. Hvilket ligeledes gælder for fra-skyen.

$$\begin{bmatrix} P_X \\ P_Y \\ P_Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} T_x \\ T_Y \\ T_Z \end{bmatrix}$$

Step 4

I dette step skal der beregnes hvor meget modellen skal roteres om de tre akser. Dette gøres på basis af mindste kvadraters princip. Som tidligere nævnt kan mindste kvadraters princip, anvendes på mange forskellige måder, men basalt set gør de det samme. Under Bilag E er der redegjort for, hvorfor projektet har valgt den anvendte metode frem for andre fundne metoder. Til anvendelse af mindste kvadraters princip beregnes rotationen hierarkisk for de tre akser som hhv. er X, Y og til sidst Z (ω, φ og κ).

Til-skyen betegnes som (x, y og z), hvor fra-skyen betegnes som (X, Y og Z).

Først beregnes der en a og b værdi, som er tilhørende rotationen til ω:

$$a = \frac{\sum_{n=1}^{f}((Y_n \cdot y_n) + (Z_n \cdot z_n))}{\sum_{n=1}^{f}({y_n}^2) + ({z_n}^2)}$$

$$b = \frac{\sum_{n=1}^{f}((Z_n \cdot y_n) - (Y_n \cdot z_n))}{\sum_{n=1}^{f}(({y_n}^2) + ({z_n}^2))}$$

Disse værdier anvendes til at beregne cosinus og sinus til rotationsmatrixen omkring ω:

$$Cos(\omega) = \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

$$Sin(\omega) = \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

Step 5

I dette step beregnes a og b til φ efter samme princip, som i Step 4:

$$a = \frac{\sum_{n=1}^{f}((X_n \cdot x_n) + \left(Z_n \cdot \left(y_n \cdot Sin(\omega) + z_n \cdot Cos(\omega)\right)\right))}{\sum_{n=1}^{f}({x_n}^2) + (y_n * Sin(\omega) + \ z_n \cdot Cos(\omega))^2}$$

$$b = \frac{\sum_{n=1}^{f}((X_n \cdot (y_n \cdot Sin(\omega) + z_n \cdot Cos(\omega))) - (Z_n \cdot x_n))}{\sum_{n=1}^{f}(({x_n}^2) + (y_n \cdot Sin(\omega) + z_n \cdot Cos(\omega)^2))}$$

Disse værdier anvendes til at beregne cosinus og sinus til rotationsmatrixen omkring φ:

$$Cos(\varphi) = \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

$$Sin(\varphi) = \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

Step 6

I dette step beregnes rotationen om κ, efter samme princip som Step 4 og 5:

$$a = \frac{\sum_{n=1}^{f}\left(\left(X_n \cdot \left(x_n \cdot Cos(\varphi) + (y_n * Sin(\omega) + z_n \cdot Cos(\omega)\right) \cdot Sin(\varphi)\right) + (Y_n \cdot \left(y_n * Cos(\omega) - z_n \cdot \ Sin(\omega)\right))\right)}{\sum_{n=1}^{f}((\ x_n \cdot Cos(\varphi) + (y_n \cdot Sin(\omega) + z_n \cdot Cos(\omega)) \cdot Sin(\varphi))^2 + \left(y_n \cdot Cos(\omega) - z_n \cdot Sin(\omega)\right))^2}$$

$$b = \frac{\sum_{n=1}^{f}\left((Y_n \cdot \left(x_n \cdot Cos(\varphi) + \left(y_n \cdot Sin(\omega) + x_n \cdot Cos(\omega)\right) \cdot Sin(\varphi)\right)) - (X_n \cdot \left(x_n \cdot Cos(\omega) - z_n \cdot Sin(\omega)\right)\right)}{\sum_{n=1}^{f}\left(\left(x_n \cdot Cos(\varphi) + \left(y_n \cdot Sin(\omega) + z_n \cdot Cos(\omega)\right) \cdot Sin(\varphi)\right)^2 + \left(y_n \cdot Cos(\omega) - z_n \cdot Sin(\omega)\right)^2)\right)}$$

Disse værdier anvendes til at beregne cosinus og sinus til rotationsmatrixen omkring κ:

$$Cos(\kappa) = \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

$$Sin(\kappa) = \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

Nu kan værdierne for step 4, 5 og 6, sættes ind i rotationsmatrixen og multipliceres til fra-skyen.

Step 7

Nu skal translationen beregnes.
Translationen beregnes de tre punkter imellem, for hver af skyerne[19]. Det gøres ved:

$$Translation = \ mean\left(\begin{bmatrix} X_n \\ Y_n \\ Z_n \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_n \\ y_n \\ z_n \end{bmatrix}\right)$$

Herefter subtraheres translationens samtlige punkter i fra-skyen.

Datasættet er nu translateret.

Step 2 til 7 gentages et forprogrammeret antal gange. Skrivers test[20] viste at det er passende med 20 gange, da rotationerne herefter bliver meget små og ikke får nogle egentlig indflydelse på resultatet af ICP-algoritmen.

Step 8

I følgende step summeres tyngdemidtpunktet fra Step 3 til samtlige koordinater i fra-skyen:

$$\begin{bmatrix} T_X \\ T_Y \\ T_Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_n \\ Y_n \\ Z_n \end{bmatrix} \quad \text{og} \quad \begin{bmatrix} T_X \\ T_Y \\ T_Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_n \\ y_n \\ z_n \end{bmatrix}$$

Step 9

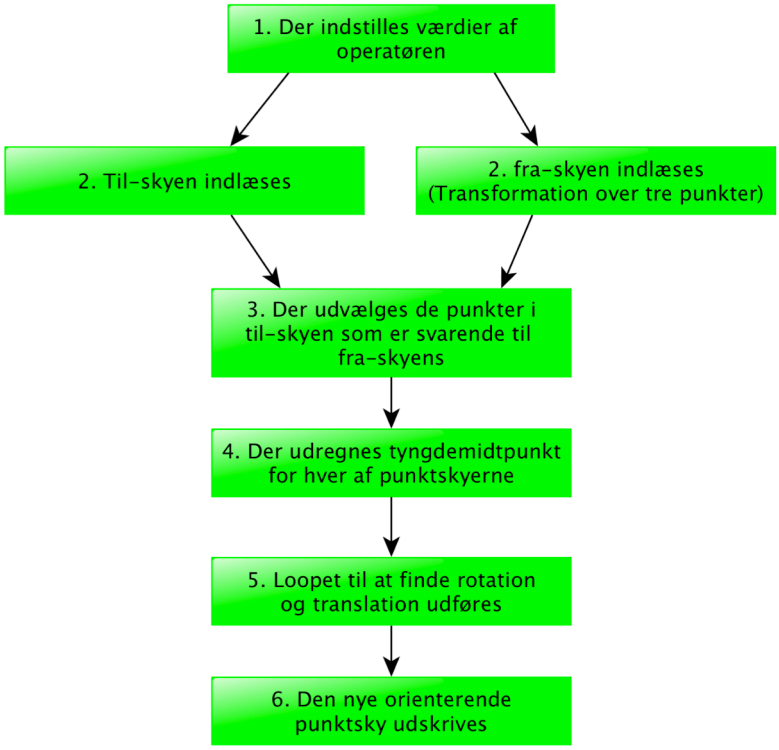
I dette step eksporteres fra-skyen og er klar til at blive indlæst i ICP-algoritmen. Det kan ligeledes være fordelagtigt kun at klippe interesseområdet ud, for at der bliver færre punkter at beregne i de videre processer. I afsnit 3.1 blev det forklaret, at politiet kun sammenlignede interesseområderne, hvorfor alt udenomliggende data kun vil biddrage til en længere beregningstid.

7.5 ICP-algoritmen

Efter den indledende orientering er foretaget, er der givet et godt udgangspunkt for ICP-algoritmen, hvilket forøger dens rate for et succesfuldt resultat. Som nævnt i Bilag D, skal ICP-algoritmen have et godt udgangspunkt. Dr. Jürgen Sturm nævner i en forelæsning, at en ICP-algoritme kun vil opnå succes, såfremt de to datasæt maksimalt ligger 30° fra hinanden (Sturm,

[19] De tre punkter tilhørende fra-skyen er betegnet ved x, y og z, hvor de tre punkter i til-skyen er betegnet ved X, Y og Z.
[20] Denne test er udført ved at tage et datasæt og lade funktionen iterere 1, 5, 10, 15, 20, 25 og 30 gange. Det viste sig at alt under 20 gange gav mindre fejl, hvor alt fra 20 og op gav nogenlunde det samme. Det blev prøvet at iterere funktionen 18, 19, 20, 21, 22, 23 og 24 gange. Det viste sig at omkring 20 gange var det optimale. Dette er dog ikke en endegyldig test, da det bør afprøves i en betaversion af det samlede produkt, over en bred vifte af datasæt.

2013). Dette ses dog ikke som et reelt problem, eftersom udpegningen af de tre punkter fra afsnit 7.3, skulle være udført i megen ringe grad, for at dette ikke opnås. I følgende afsnit vil der blive gennemgået, hvordan ICP-algoritmen i projektet er bygget op, samt hvordan den lavpraktisk fungerer. Projektets ICP-algoritme har grundlag i den teoretiske og hierarkiske opbygning fra Bilag D.



Figur 15 viser strukturen af den ICP-algoritme, som er udarbejdet i projektet. Udarbejdet i yED.

Figur 15 viser strukturen af den ICP-algoritme, som er udarbejdet i projektet[21].
Der vil blive gennemgået samtlige steps, i nærværende afsnit.

Step 1

Der skal indstilles en række værdier af operatøren.

Først skal der indstilles en værdi for, hvor godt datasættene er orienteret indledende. Denne værdi er i millimeter imellem punkterne. Det er vigtigt, at værdien ikke indstilles lavere, end realiteten er. Denne værdi bliver kontinuert mindre for hver gang funktionen gennemløber,

[21] Projektets ICP-algoritme findes under Appendiks III.

hvorfor det kan være en fordel at indstille den for højt, eftersom den bruges til at frasortere udefra liggende punkter. I takt med at værdien bliver indstillet for højt, skal scriptet gennemløbe flere gange.
Den indstillede værdi kaldes i scriptet for **B** og **B0**. Den skal indstilles to gange, da den bruges i nogle mellemberegninger, imellem Step 5 og 6, til at starte scriptet forfra, hvis B bliver mindre, end en given værdi.

Efterfølgende skal der indstilles, hvor meget mindre, B skal blive, for hver iteration, i værdien **KN**. Værdien **KN** multipliceres på B, umilddelbart før der løbes videre til næste iteration.
KN er af default sat til 0.99. Det begrundes med, at skriver forsøgte denne med en række forskellige værdier, hvorefter skriver vurderede resultatet af orienteringen. Det viste sig, at scriptet kørte stabilt ved denne værdi, samtidigt med at beregningerne gik relativt hurtigt [22]. Denne værdi kunne ligeledes have været 0.95 eller 0.999. Skriver har ikke udført tilstrækkelige tests til at konkludere, at 0.99 er den entydigt bedste. Dette er en vurdering, som ville blive foretaget efter en evt. beta test version.

Når beregningerne foretages, sker det ikke over den hele punktsky, men nogle tilfældigt udvalgte punkter i hver sky. Der skal indstilles af operatør, hvor mange punkter, det ønskes at beregningerne skal foretages over. Dette kan ses som en udtynding i punktskyen, men det overskriver ikke den originale punktsky, men lagres i en separat matrix. På denne måde kan translation og rotationen beregnes over de tilfældigt udvalgte punkter og når scriptet er kørt til ende, kan rotationen og translationen multipliceres og summeres på den originale fra-sky. Efter hver iteration findes der nye random punkter fra de to originale punktskyer. Dette udføres som opskrevet, grundet hvis der bruges punkter, som er beliggende langt fra hinanden, kan dette rettes op i næste iteration. Det skal holdes in mente, at to punkter ikke kan blive korrelerende, såfremt deres interne distance overstiger værdien fra B.
Af default er mængden af random anvendte punkter sat til 4000 i **a_sample**. Der skal ligeledes sættes en nedre grænse for, hvor mange punkter i **a_sample**, som må sorteres fra på baggrund af B. Den nedre grænse hedder **a_min** og er af default sat til $\frac{1}{10}$.

Step 2

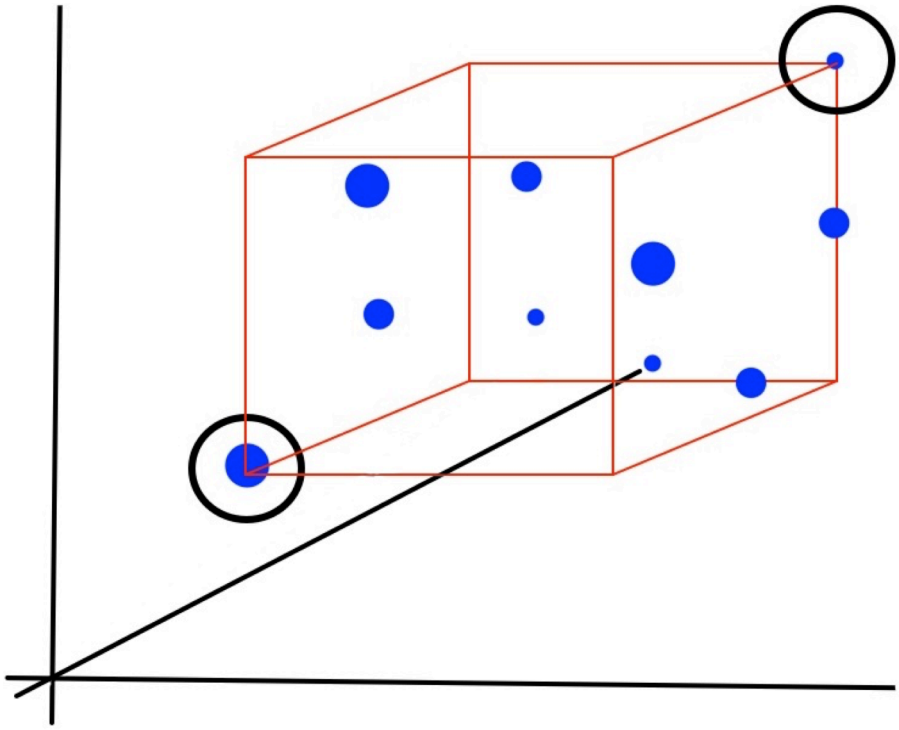
Der indlæses en til-sky og en fra-sky. Fra-skyen er den eksporterede model fra den indledende orientering. Fra-skyen indlæses to gange, grundet at hvis der er et gennemløb, som giver negativt resultat, sættes den roterede fra-sky tilbage til sin originale tilstand. I Scriptet er til-skyen kaldt **PC1** og fra-skyen er kaldt **PC2** og den model, som beholder fra-skyens originale tilstand er kaldet **ORG**.

Step 3

Det blev forklaret under afsnit 7.4, at det er interesseområdet som sammenlignes. Det betyder at af de to skyer som bliver læst ind, er det ene af hele skoen og det andet af et

[22] 3 min for to punktskyer af 600.000 punkter i hver. Dette skete ved alle scriptets settings til default.

interesseområde, som er relativt orienteret ift. punktskyen for hele skosålen. For at de tilfældige udvalgte punkter, som beregningerne foretages over ikke bliver spredt over hele skoen, skal der søges i et område på skoen svarende til interesseområdet fra aftrykket.
Til at afgrænse området anvendes en funktion, kaldet **inRange**, som selekterer de punkter indenfor en min og max afgrænsning. **inRange** funktionen skal anvendes separat på de tre dimensioner (X, Y og Z).
De afgrænses i minimum ud fra den laveste værdi for X, Y og Z i sålens interesseområde,



Figur 16 viser en figur, hvor er er fundet et min og max punkt i skyen, som er markeret med to sorte ringe. De to punkter afgrænser en boks, hvor de resterende punkter vil ligge indenfor. Redigeret i PixelMator.

hvorefter B subtraheres separat for de tre minimumskoordinater, da dette ses som den angivne unøjagtighed af den indledende orientering. Maximumværdierne findes på samme måde, hvor blot B summeres på de tre respektive akser.

Når afgrænsningerne er fundet, dannes der en boks ud fra min og max summeret/subtraheret B, som ses illustreret på Figur 16. Denne boks bruges til at afgrænse, hvilke punkter fra skosålen (til-skyen), som skal bruges til den videre beregning. De punkter som selekteres i til-skyen, bliver indlagt i en ny matrix under funktionen **boxpoints**.

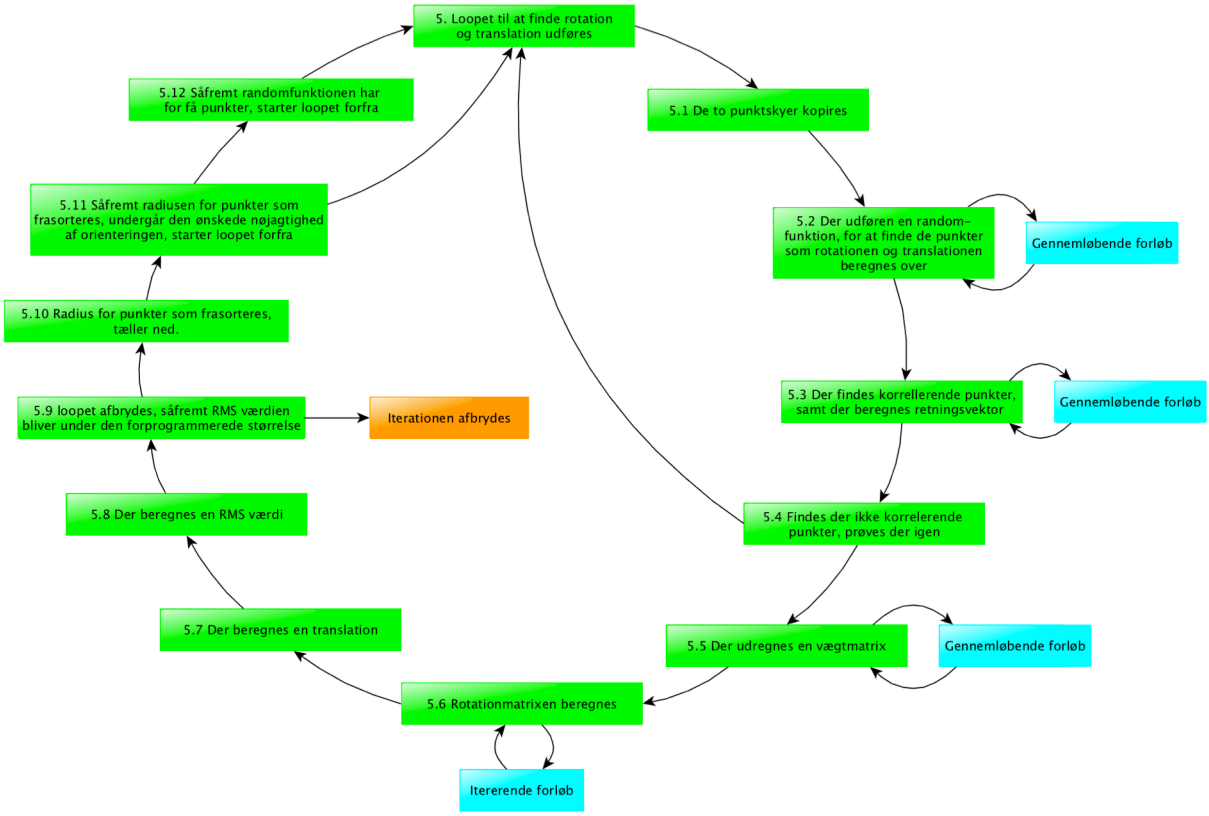
Step 4

I dette step beregnes der et tyngdemidtpunkt for hver af til og fra –skyen. Det er ikke den egentlige til-sky, som tyngdemidtpunktet beregnes over, men den nye matrix som blev fundet i

forrige step.
Tyngdemidtpunktet bliver beregnet på samme måde som i Step 3 under afsnit 7.4. Efter tyngdemidtpunkterne er beregnet for de respektive punktskyer, skal punktskyernes koordinater beregnes ift. deres tyngdemidtpunkt. Det gøres ved at subtrahere tyngdemidtpunktets koordinat fra alle X, Y og Z –værdier i den tilhørende punktsky, hvilket ligeledes ses illustreret i Step 3 under afsnit 7.4.
Under Bilag D, findes der en uddybende forklaring på, hvorfor det er vigtigt, at de to punktskyers koordinater beregnes ift. deres tyngdemidtpunkt.

Step 5

I følgende step vil iterationen fra Step 5 blive gennemgået. Det er i gældende iteration, at rotationsmatrixen og translationen bliver udregnet.



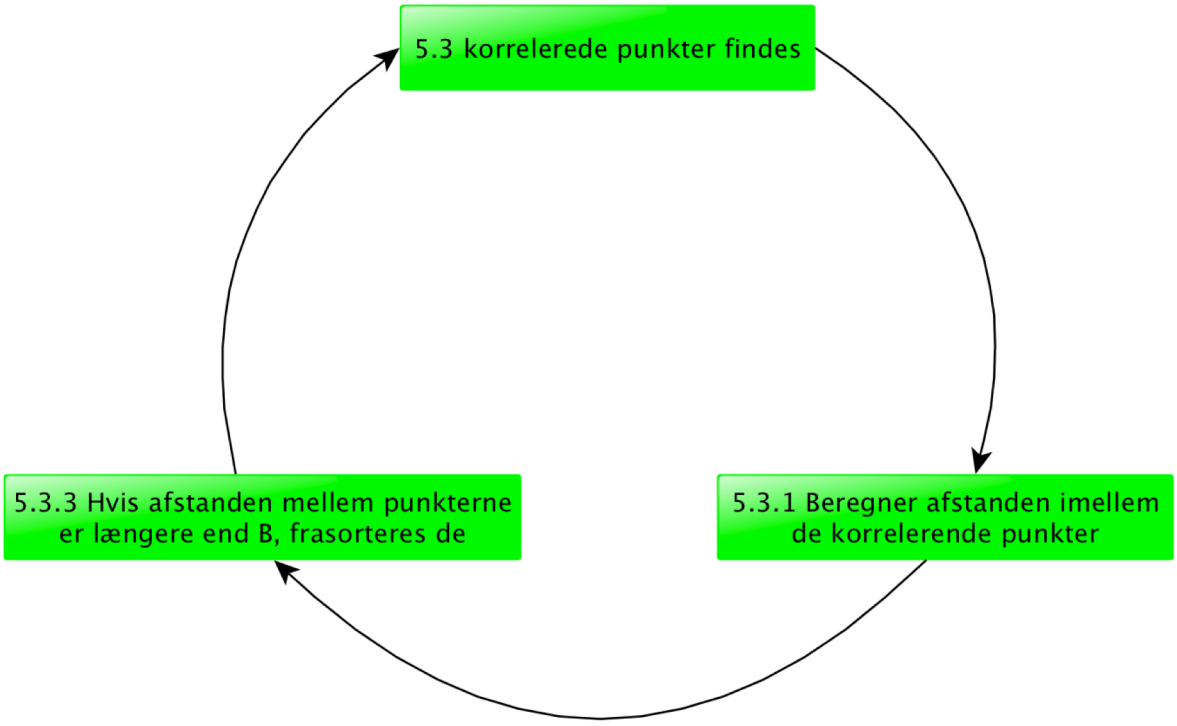
Figur 17 viser et flow-diagram over de steps som indgår i iterationen, for projektets ICP-algoritme. Udarbejdet i

Figur 17 viser et flow-diagram, for iterationen som beskrives, i gældende step. Der vil blive beskrevet hele lykkens gennemgang, i separate nummererede spalter.

Step 5.1:
I dette step kopieres de to modeller, som blev lavet i Step 4. Dette gøres, fordi de to skyer vil blive beregnet undervejs i funktionens gennemløb og såfremt step 5.11 eller step 5.12 ikke opnår de ønskede resultater, bliver iterationen startet forfra fra modellerne fra Step 4.

Step 5.2:
I gældende step beskrives der, hvordan de tilfældigt udvalgte punkter udvælges.
Som beskrevet under Step 1, foretages udregningerne ikke over alle punkterne i skyerne, men over nogle tilfældigt udvalgte. De punkter som anvendes, udvælges tilfældigt gennem en Random funktion. Random funktionen er opbygget på den måde, at den tilfældigt udvælger et punkt ad gangen i hver af de to punktskyer over interesseområdet. Punkterne vælges ud fra MATLAB funktionen **randi**, det tilfældigt valgte punkt skrives til to nye matrixer[23]. Denne random funktion, gemmemløber a_sample[24] antal gange, hvor der bliver skrevet et ekstra punkt til hver af de to matrixer for hvert gennemløb. Det er disse to matrixer, som bruges til den videre beregning. Der bliver valgt nye punkter for hver gang, Step 5 gennemløber funktionen.

Step 5.3:
I dette step findes de korrelerende punkter, samt at punkter som frasorteres på baggrund af den interne afstand, hvilket blev beskrevet i Step 1. Der vil i følgende step blive forklaret, hvordan punkterne findes og frasorteres.



Figur 18 viser et flow-diagram, hvor de korrelerende punkter findes og frasorteres. Udarbejdet i yED.

Figur 18 viser et flow-diagram for det gennemløb, hvor der findes korrelerende punkter imellem de to punktskyer. Hele gennemløbet behandler et sæt punkter ad gangen.
Der bruges en **dsearchn** funktion, som tager det i'de punkt i fra-skyen og finder det nærmeste punkt i til-skyen. Der beregnes en afstand imellem de to punkter, som senere skal bruges til en

[23] Der dannes en ny matrix for de tilfældige punkter, for både til og fra –skyen.
[24] Under Step 1, blev det beskrevet, at a_sample er forindstillet af operatøren.

vægtmatrix.
Hvis afstanden imellem punkterne er længere end B, bliver de frasorteret, men vil kunne blive udvalgt igen i næste iteration for Step 5. Under Bilag E findes en uddybende forklaring om vigtigheden af dette.
Gennemløbet vil fortsætte til der ikke er flere punkter i skyerne.

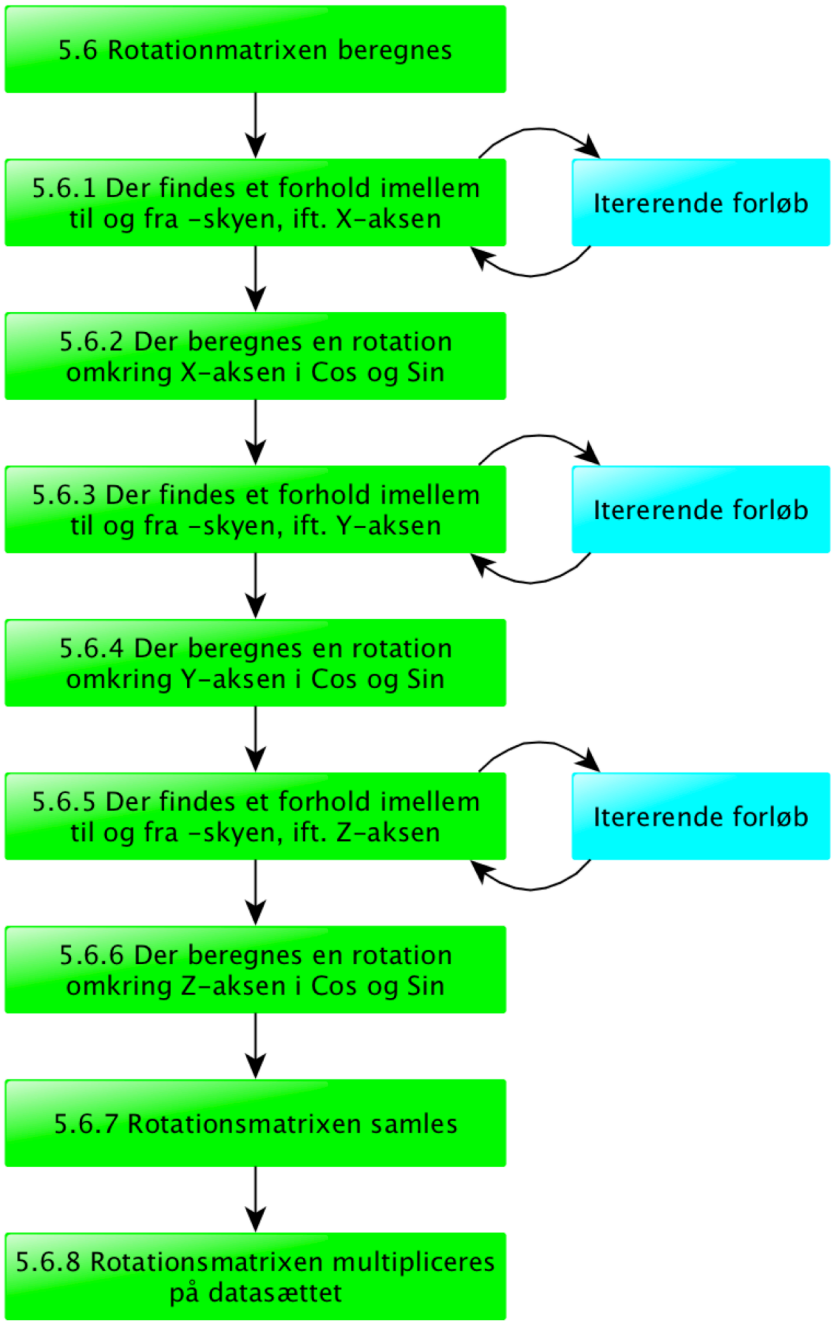
Step 5.4:
I dette step undersøges der, om samtlige punkter er blevet frasorteret ved MATLAB's isempty function. Såfremt der ikke findes korrelerende punkter, vil Step 5 fortsætte til et nyt gennemløb.

Step 5.5:
I følgende step, udregnes vægtmatricen. Den udregnes på baggrund af afstanden imellem de korrelerende punkter (dp), som blev udregnet I Step 5.3. Først findes den maksimale distance imellem de korrelerende punkter (MaxDist). Efterfølgende udregnes vægtmatricen (C) ved følgende formel:

$$C = 1 - \frac{dp}{MaxDist}$$

Vægtmatrixen skal vægte punkterne, så de punkter som passer bedst sammen, får den højeste vægt, hvor de punkter som passer mindre godt sammen, får en mindre vægt. Denne vægtmatrix bliver senere multipliceret på kvadraterne, som anvendes i mindste kvadraters metode, hvorfor det vurderes anvendeligt, at de punkter som passer bedst sammen får en vægt tæt på 1, og de punkter som passer mindre godt sammen, får en vægt tættere på 0. Formlen til C vil give de punkter med den maksimale distance vægten 0, og derefter vil alle punkter få en vægt tættere på 1, i takt med at deres distance bliver mindre.
Denne funktion beregner vægten for et punkt ad gangen og gennemløber ligeså mange gange, som der er punkter i fra-skyen (undtaget de frasorterede). Herefter laves en ny matrix med alle vægtene, hvor vægtene har samme i'de plads i matrixen, som den i'de plads for vægtens tilhørende punkter i til og fra –skyen

Step 5.6:
I følgende step gennemløber funktionen til beregning af rotationsmatrixen kun en enkelt gang. For at beregne rotationsmatrixen, skal der først beregnes et forhold imellem de to punktskyer, en akse af gangen. Til at beregne forholdet vil funktionen gennemløbe det samme antal gange, som der er punkter i skyen. Til sidst samles rotationerne om de respektive tre akser til en samlet rotationsmatrix, som vil blive multipliceret på fra-skyen. Dette vil blive uddybet i følgende step.



Figur 19 viser et flow-diagram over hvordan rotationsmatrixen beregnes.

I Figur 19 ses der et flow-diagram over, hvordan den samlede rotationsmatrix beregnes.

Step 5.6.1 (Step 5.6.3 og 5.6.5):
Der skal beregnes et forhold, som fortæller hvor meget de to punktskyer ligger forskudt ift. hinanden. Til at bestemme forholdet anvendes samme formel som er anvendt i 7.4under Step 4, som ses uddybet i Bilag E.

$$a = \frac{\sum_{n=1}^{f}(C\cdot(Y_n\cdot y_n)+C\cdot(Z_n\cdot z_n))}{\sum_{n=1}^{f}(C\cdot {y_n}^2+C\cdot {z_n}^2)} \quad (1.1)$$

$$b = \frac{\sum_{n=1}^{f}(C\cdot(Z_n\cdot y_n) - C\cdot(Y_n\cdot z_n))}{\sum_{n=1}^{f}(C\cdot {y_n}^2 + C\cdot {z_n}^2)} \quad (1.2)$$

Det ses af formel (1.1), at der i nævneren beregnes et kvadrat imellem til og fra –skyen (som er vægtet). Kvadratet beregnes imellem Y og Z –aksen. I tælleren beregnes kvadraten ved de samme akser, men i stedet for at beregne imellem de to punktskyer, beregnes kvadraten i tælleren kun imellem kvadraterne i til-skyen. Når nævner og tæller divideres, fås forholdet, som anvendes til at beregne rotationen omkring X-aksen, som betragtes som en "låst" akse. Grunden til at X-aksen (ω) anses som "låst" er, at rotationen foretages omkring den og dermed ikke direkte i aksen.
Dette ses gjort i både *a* og *b*.
Dette gøres for de korrelerende punkter og funktionen itereres samme antal gange, som der er fundet korrelerende punkter, hvorefter der beregnes:

$$a = a_1 + a_2 + \cdots + a_n$$

$$b = b_1 + b_2 + \cdots + b_n$$

Det samme princip gælder for Step 5.6.3 og 5.6.5.

Step 5.6.2, Step 5.6.4 og 5.6.6:

Når det samlede forhold er beregnet, anvendes det til at beregne rotationen omkring X-aksen. Cosinus og Sinus beregnes på følgende måde:

$$Cos(\omega) = \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

$$Sin(\omega) = \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

Ovenstående formler itereres ikke i gældende step.

Samme princip fra **Step 5.6.1** til **Step 5.6.2** gælder for **Step 5.6.3, 5.6.4, 5.6.5** og **5.6.6**, som derfor ikke vil blive beskrevet separat.

Step 5.6.7:

I forrige step blev rotationerne beregnet separat for de respektive tre akser. I følgende afsnit vil de tre rotationer blive samlet til *en* matrix.

Rotationen omkring X-aksen (ω) betegnes som:

$$R_\omega = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & Cos(\omega) & -Sin(\omega) \\ 0 & Sin(\omega) & Cos(\omega) \end{bmatrix}$$

Rotationen omkring Y-aksen (φ) betegnes som:

$$R_\varphi = \begin{bmatrix} Cos(\varphi) & 0 & Sin(\varphi) \\ 0 & 1 & 0 \\ -Sin(\varphi) & 0 & Cos(\varphi) \end{bmatrix}$$

Rotationen omkring Z-aksen (κ) betegnes som:

$$R_{\kappa} = \begin{bmatrix} Cos(\kappa) & -Sin(\kappa) & 0 \\ Sin(\kappa) & Cos(\kappa) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

De tre rotationer samles til *en* rotationsmatrix[25]:

$$R = R_{\omega} \cdot R_{\varphi} \cdot R_{\kappa}$$

(Brande-Lavridsen, 1993)

Step 5.6.8:

I følgende step roteres datasættet med rotationsmatrixen fra forrige step. Det udføres ved at multiplicere rotationsmatrixen på fra-skyen p:

$$p^r = p \cdot R$$

Datasættet er nu drejet.

Step 5.7:

I følgende step beregnes translationen. Der vil blive gennemgået lavpraktisk, hvordan translationen beregnes.
Til at beregne translationen, skal der bruges en matrix, som indeholder retningsvektorerne imellem de korrelerende punkter. Der er tidligere beregnet en retningsvektormatrix (**tra**), men eftersom datasættet i forrige step blev roteret, vil denne ikke længere kunne anvendes. Derfor beregnes der en ny efter samme princip som den forrige beregnede. Efterfølgende beregnes transformationen ved at beregne **mean** af retningsvektormatrixen og subtrahere den med fra-skyen (p^r), hvorefter fra-skyen opnår konvergens (P^r) med til-skyen :

$$translationen = \begin{bmatrix} Mean(tra_x) \\ Mean(tra_Y) \\ Mean(tra_Z) \end{bmatrix}$$

$$P^r = p^r - translationen$$

Step 5.8:

I aktuelle step bliver der forklaret, hvordan det undersøges, om de to modeller passer sammen. For at finde ud af hvor godt de to modeller er sammenfaldende i overlappet, bruges princippet RMS. RMS står for Root Mean Squared, hvilket ligeledes er, hvad der foretages for at beregne værdien. Der beregnes en kvadreret middelværdi af retningsvektorerne, imellem de korrelerende punkter:

[25] Under Bilag E, ses det samlede udtryk til rotationsmatrixen opskrevet.

$$RMS = \sqrt{Mean \sum_{i=n} (P^r{}_x - P_x)^2 + Mean \sum_{i=n} (P^r{}_Y - P_Y)^2 + Mean \sum_{i=n} (P^r{}_Z - P_Z)^2}$$

Step 5.9:
Det er RMS-værdien, som udtrykker i hvilken grad, der er opnået konvergens. Det er derfor ligeledes RMS-værdien, som skal opnå en forprogrammeret størrelse, for hvornår iterationen afbrydes og de nu sammenfaldende modeller udskrives. Under Step 1 blev det fortalt, at der skal forprogrammeres en værdi (**pre**), som beskriver hvornår ICP-algoritmen skal afbrydes, fordi der er opnået tilstrækkeligt konvergens. Funktionen hedder:

```
if RMS<pre
   break
end
```

Step 5.10:
Som nævnt i Step 1 er der forprogrammeret en tolerance for, hvornår punkter ikke anses som værende korrelerende (**B**). Som tidligere nævnt skal denne tolerance multipliceres med en konstant værdi (**KN**), for at tolerancen bliver mindre for hver iteration:

$$B = B \cdot KN$$

Step 5.11:
Hvis B bliver mindre end den forprogrammerede værdi (**pre**), skal iterationen starte forfra. Det begrundes i, at hvis B bliver mindre end RMS værdien for de to modeller, er der ikke længere plads for modellen, til at den kan roteres til en bedre position. Som beskrevet i Bilag D, skal modellen bruge et frirum til at rotere fra en forkert position til den ønskede[26]. Dette begrundes i, at RMS-værdien ikke bliver konstant bedre, men bevæger sig i en sinuskurve mod konvergens. Dette udføres med funktionen:

```
if B<pre
   B=BO
```

Step 5.12:
I step 1 blev der beskrevet, at hvis antallet af de random-samplede punkter bliver mindre end en given værdi, skal scriptet starte forfra. Dette anvendes som en ekstra sikkerhed for, at outputtet bliver succesfuldt. Det begrundes med at antallet af de random-samplede punkter, som frasorteres, er et udtryk for, at **B** giver for lidt "rum" til, at punktskyen kan roteres fra en forkert position til den korrekte. Det gøres ved funktionen:

```
if numel(Q1(:,1))<(a_sample/a_min)
```

[26] Dette uddybes under Bilag H

```
  PC2=ORG;
  R_E=1;
  RMS=BO;
end
```

Hvor `numel(Q1(:,1))` er antallet af random-samplede punkter i X-koordinaten for fra-skyen. Dette kunne ligeledes være Y eller Z –koordinaten, da det blot skal være et udtryk for antallet af punkter, som er tilbage efter frasorteringen. **a_sample** er det forprogrammerede antal random-samplede punkter og **a_min** er et udtryk for det minimale antal af random-samplede punkter, som anses værende acceptabelt.

Det ses at hvis antallet af random-samplede punkter bliver mindre end $\frac{a_sample}{a_min}$, bliver den roterede og translaterede punktsky sat tilbage til originaltilstanden (**ORG**) og rotationen (**R_E**) sættes til en. Dermed startes scriptet forfra.

Step 6:

I dette step udskrives de to punktskyer, som nu har opnået konvergens og derfor kan bruges til en sammenligning for at matche interesseområdet af aftrykket med skosålen. Som tidligere nævnt[27], skal dette gøres for fem interesseområder. De udskrives med funktionen **dlmwrite**.

Som det kan ses i Bilag F, har det været en omfattende teoretisk proces, for skriver at dechifrere hvordan projektets ICP-algoritme skulle opbygges. Metoden til systemudvikling fra afsnit 6.2viste sig i høj grad at være brugbar, eftersom den dikterer at der vurderes på hvert ”step”. For projektet betød vurderingerne lavpraktisk, at efter et element i ICP-algoritmen var opbygget, blev data forsøgt processeret i det gældende ”step”. Såfremt det enkelte ”step” ikke virkede efter hensigten, gav metoden mulighed for, at dette kunne rettes, inden skriver arbejdede sig videre til næste ”step”. Dette er brugbart for programmering, der har så mange ”steps”, som projektets ICP-algoritme er opbygget af. Hvis der ikke blev vurderet på de enkelte delelementer, ville det være en uoverskuelig opgave, at dechifrere hvilket step, som ikke virker efter hensigten, såfremt ICP-algoritmens processering af data ikke er en succes.

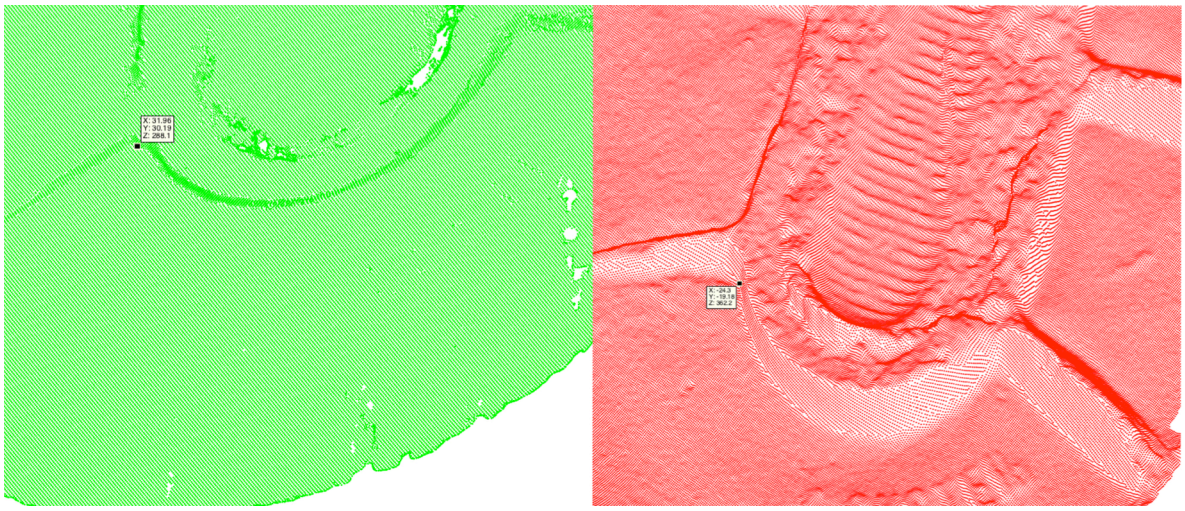
Ligeledes gjorde metoden til vidensopbyggelse fra afsnit 6.1sig brugbar. Under den teoretiske udarbejdelse gjorde gældende metode sig brugbar, til at forstå hvordan skriver anvender indsamlet teori og empiri, til at arbejde sig videre mod en konklusion på problemet.

[27] Dette er nævnt af Per Krat under Bilag B

8 Anvendelse af ICP-algoritmen

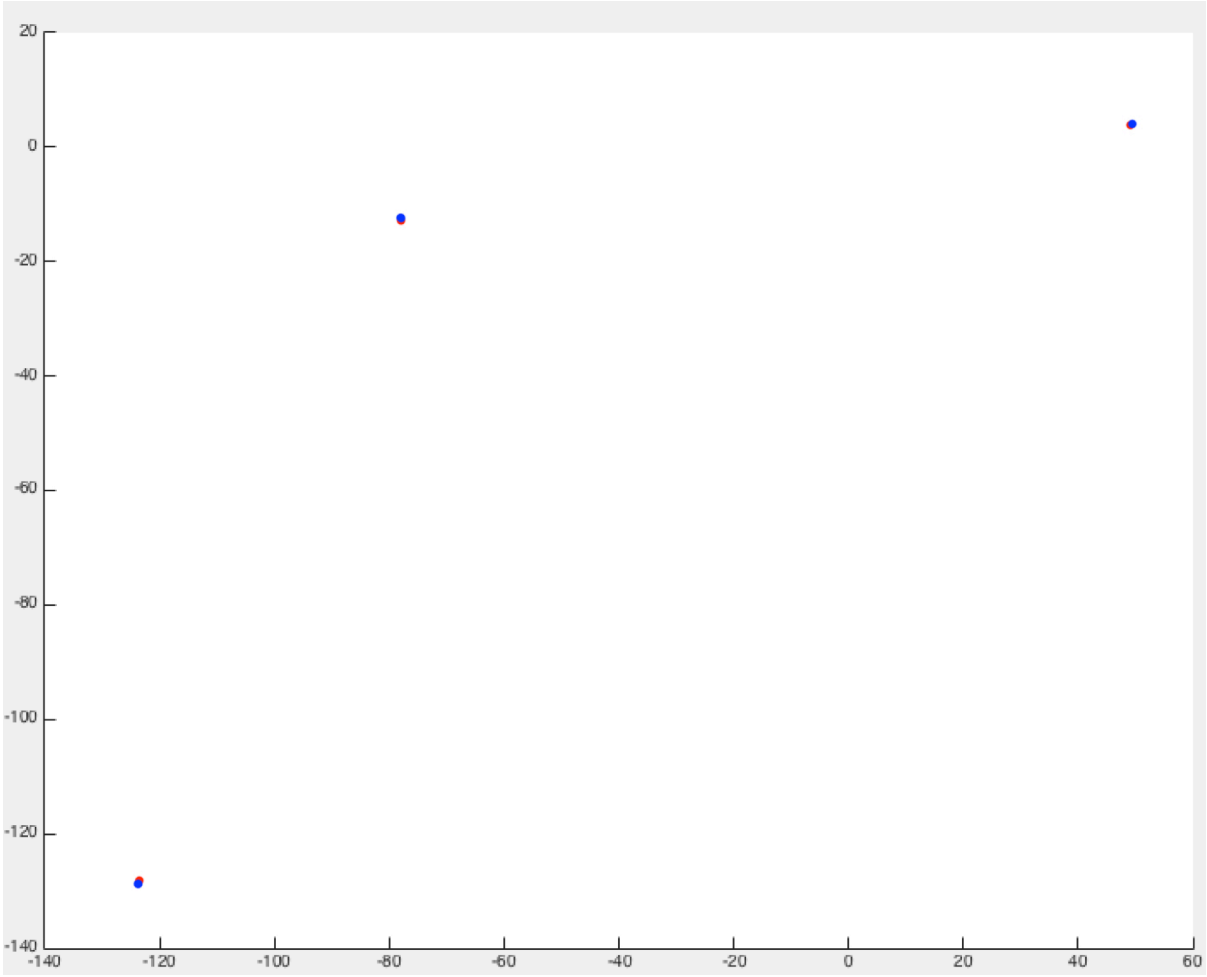
I forrige afsnit blev det forklaret hvordan ICP-algoritmen i projektet er udarbejdet, samt dens teoretiske grundlag. I følgende afsnit vil der blive vist og konkluderet på data, som er processeret vha. projektets ICP-algoritme. Der vil blive anvendt en skanning af en sko, og en skanning som er foretaget af skoens aftryk i gipsstøv. Dataindsamlingen er foretaget i samarbejde med NKC og vil blive bearbejdet i afsnit 9

Først skal modellerne orienteres indledende gennem Appendiks I og II.



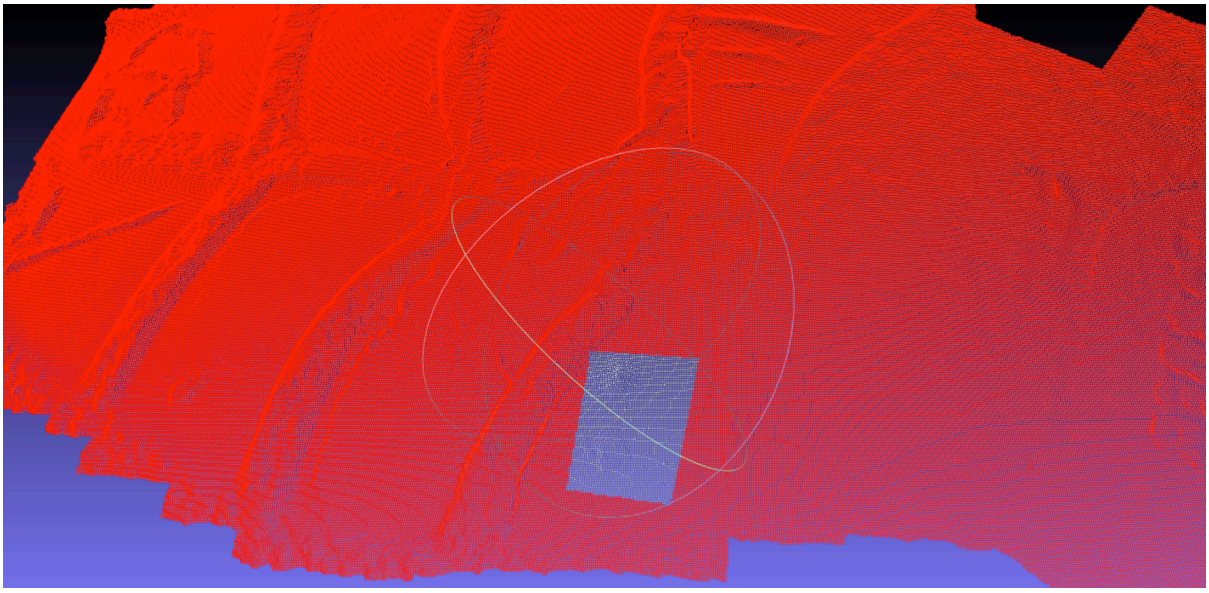
Figur 20 viser et screenshot fra Appendiks I af modeller fra Bilag I, Aftryk i gips/gips.txt og Skoaftrykket/sko.txt, som er plottet i Matlab. Der er udpeget et punkt i hver punktsky, som er forsøgt udpeget det samme sted i begge punktskyer. Redigeret i PixelMator.

Det ses af Figur 20, at der er forsøgt at udpege to punkter, som er beliggende det svarende sted i hver af de to punktskyer. Der udvælges tre punkter i hver model jf. Bilag F.
De tre punkter (seks punkter i alt) skrives ind i Appendiks II.



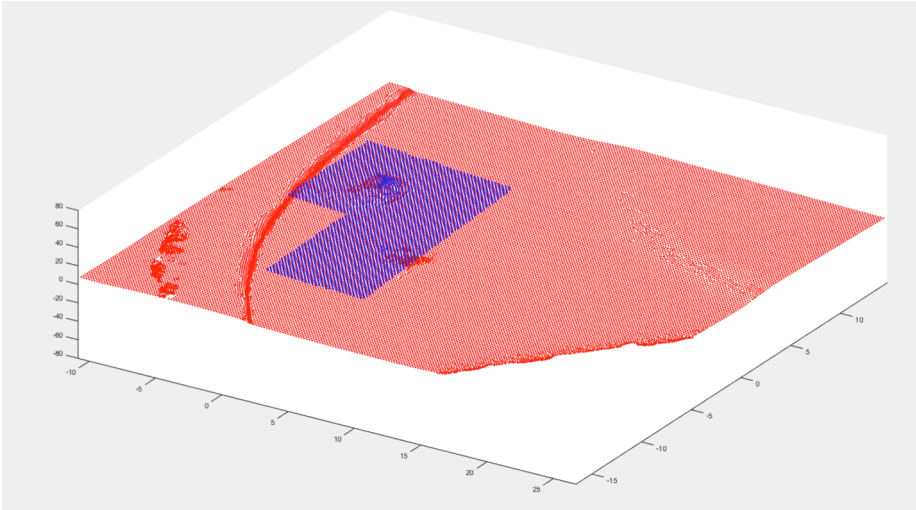
Figur 21 viser et screenshot fra Appendiks II af modeller fra Bilag I, Aftryk i gips/gips.txt og Skoaftrykket/sko.txt, som er plottet i Matlab. Det viser de seks punkter efter orienteringen fra Appendiks II. De røde punkter er fra model 1 og de blå er fra model 2. Det ses at de røde og blå punkter er tilnærmelsesvist sammenfaldende. Der er redigeret punktstørrelse i PixelMator.

De to modeller orienteres i Appendiks II, jf. Teorien fra afsnit 7.4. De seks punkter ses efter orienteringen på Figur 21, hvor de røde punkter er fra model 1 og de blå fra model 2. Det ses at de røde og blå punkter er tilnærmelsesvis sammenfaldende, hvilket betyder at orienteringen er en succes. I samme script udskrives den indledende orienterede fra-model.



Figur 22 viser et screenshot fra MeshLab, hvor der er selekteret et interesseområde i modellen (Bilag I/Aftryk i gips/gips.txt), som er orienteret i Appendiks II. Alle de røde punkter slettes, så det kun er interesseområdet som står tilbage.

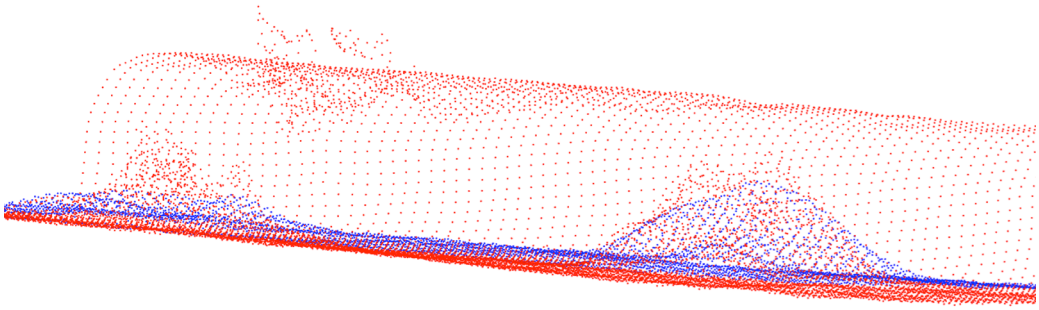
Efter at den ene punktsky er orienteret indledende, skal der selekteres et interesseområde fra aftrykket, som ønskes sammenlignet med skoaftrykket. Selekteringen foretages i MeshLab ved først at indlæse[28] aftrykket og bagefter anvende MeshLab's *selection tool*. På Figur 22 ses der hvordan alt andet end interesseområdet fraselekteres i MeshLab. Interesseområdet eksporteres i X,Y og Z –koordinater i en .TXT fil.
Den eksporterede .TXT fil indlæses i Appendiks III sammen med skoen, hvor interesseområdet er fra-skyen og skoen er til-skyen. Efterfølgende køres Appendiks III igennem Matlab.



Figur 23 viser et screenshot fra Matlab, hvor Appendiks III har orienteret to punktskyer

[28] Under Bilag H findes der en guide til, hvordan en .STL fil indlæses til MeshLab. Beskrevne guide kan ligeledes bruges til at indlæse en .TXT fil (punktsky).

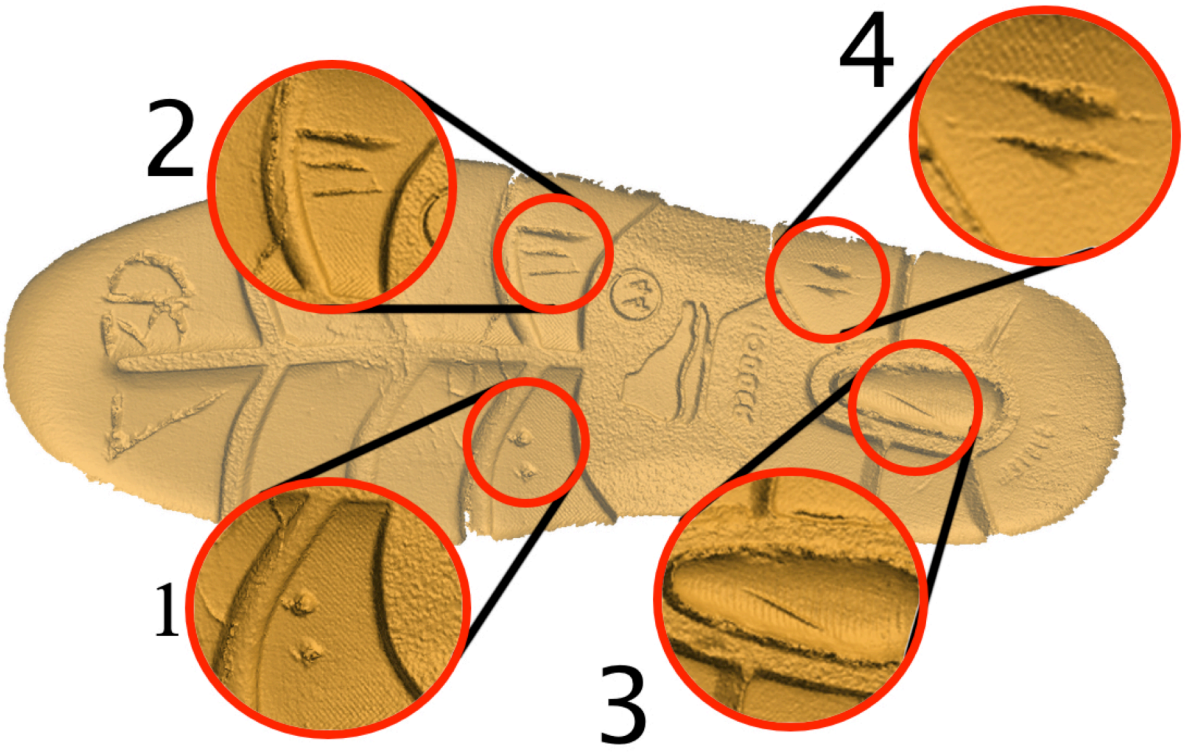
Figur 23 viser et screenshot af de to punktskyer, som er blevet orienteret af Appendiks III. Det ses at de blå pletter fra interesseområdet er sammenflydende med de røde pletter fra skosålen, hvilket betyder at de to områder er orienteret korrekt.



Figur 24 viser et screenshot fra Matlab, hvor Appendiks III, har orienteret to punktskyer

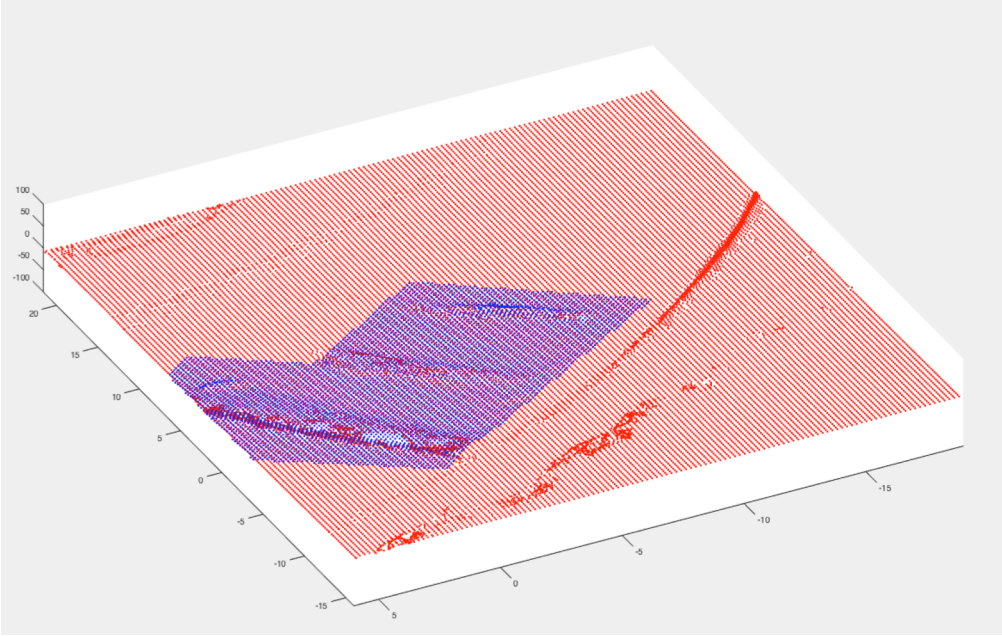
For at illustrere tydeligheden af hvordan de to interesseområder passer sammen, har skriver opdimensioneret Z-aksen, så interesseområdet fremtræder tydeligere, hvilket ses på Figur 24. Det ses, at punkterne i de to interesseområder tilnærmelsesvist har opnået konvergens. Dermed er interesseområdet sammenlignet digitalt, skoen og aftrykket imellem. Det er nu op til aftryks-eksperten fra NKC at vurdere om der er tale om det samme interesseområde. De to orienterede punktskyer er ligeledes eksporteret i .TXT format, hvoraf de kan indlæses i MeshLab.
Dataene som er anvendt ved beskrevne interesseområde, kan findes i Bilag I/Aftryk i gips under filen T1.

Jævnfør samme princip forsøges algoritmen anvendt på et sekundært område.



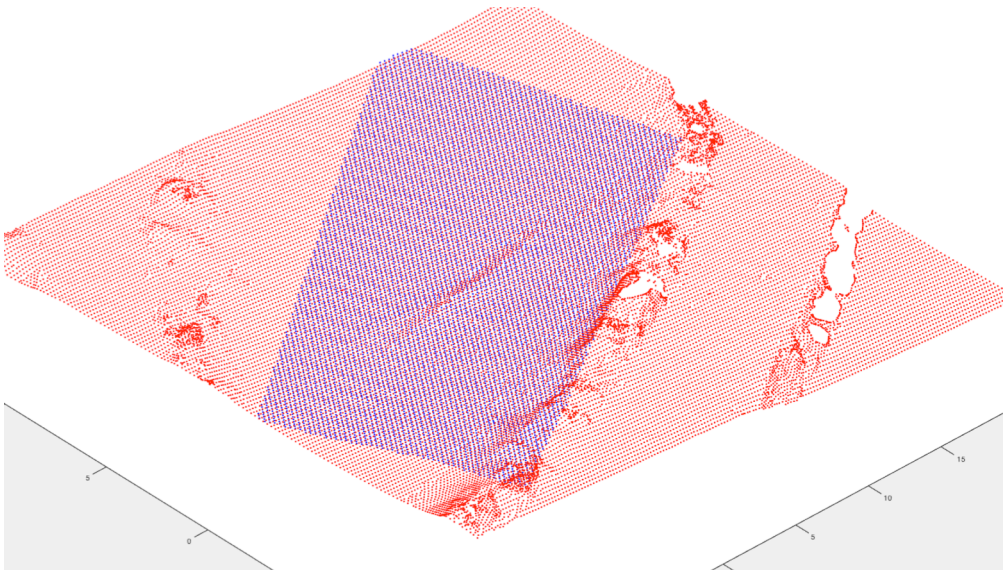
Figur 25 viser et aftryk af den skosål, som er anvendt til projektets tests. Der er markeret fire interesseområder, som er forstørret. Billedet af skosålen kommer fra .STL filen fra Bilag I/Skoaftrykket/Sko.STL, taget i MeshLab og redigeret i PixelMator.

Området T1, som blev orienteret med projektets ICP-algoritme, ses på Figur 25. Område T1 er markeret på figuren som område 1. De resterende tre områder vil ligeledes forsøges orienteret, med en efterfølgende vurdering.



Figur 26 viser et screenshot fra Matlab, hvor Appendiks III, har orienteret to punktskyer.

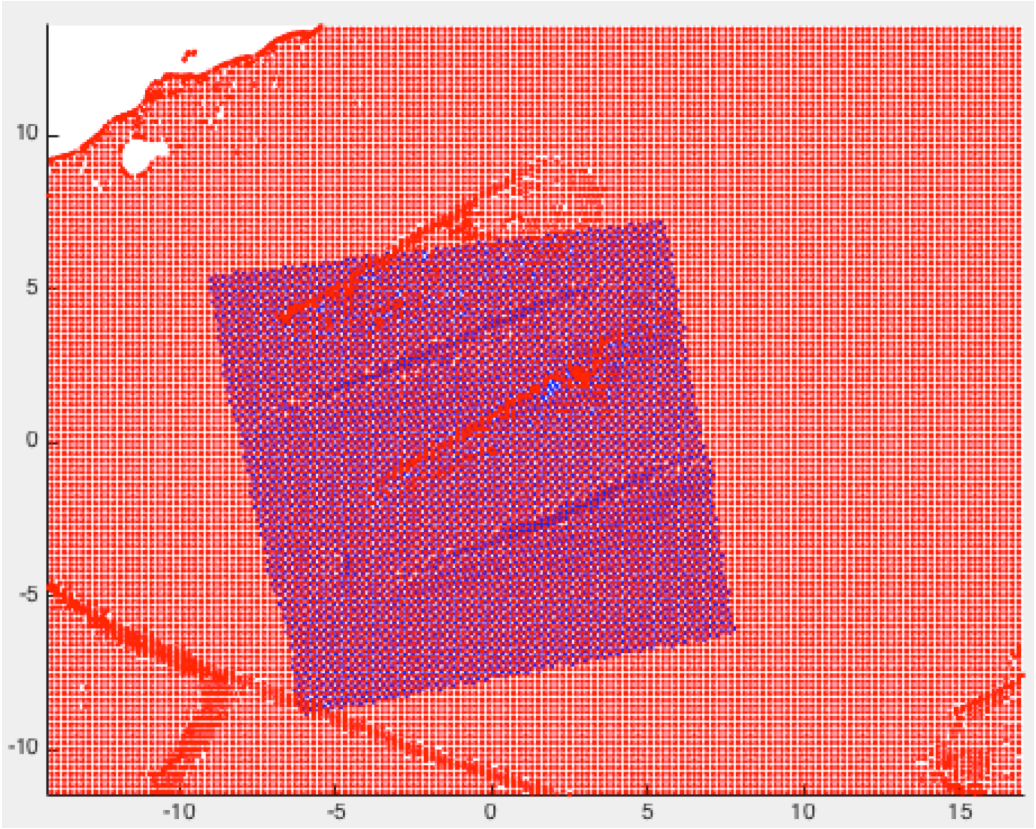
På Figur 26 ses resultatet af det sekundære område orienteret. Det ses at de tre fordybninger er sammenflydende, den røde og blå punktksy imellem. Dette betyder at orienteringen er en succes. Interesseområdet fra Figur 26 findes under Bilag I/Aftryk i gips under fil T2. Området T2 ses på Figur 25 som område 3.



Figur 27 viser et screenshot fra Matlab, hvor Appendiks III, har orienteret to punktskyer.

På Figur 27 ses område 3 orienteret. Filen findes under Bilag I/Aftryk i gips under fil T3, hvor de to orienterede filer er eksporteret i samme mappe under navnene PC1_T3 og PC2_T3. Det kan være svært visuelt at vurdere Figur 27. Dog ses det svagt, at interesseområderne er sammenflydende. Skriver underbyggede denne vurdering, da de orienterede skyer blev indlæst i

MeshLab, hvor det er muligt at slukke/tænde de forskellige punktskyer og på denne måde se, at de to områder er sammenflydende.



Figur 28 viser et screenshot fra Matlab, hvor Appendiks III, har orienteret to punktskyer.

Skriver forsøgte ligeledes med område 4 fra Figur 25, hvoraf resultatet ses på Figur 28. Filerne findes under Bilag I/Aftryk i gips under fil T4, hvor de to orienterede filer er eksporteret i samme mappe, under navnene PC1_T4 og PC2_T4.
Det ses at de to modeller er ringe orienteret og stort set ikke overlappende. Det kan muligvis skyldes at der er meget ens geometri i området, de to skyer imellem. Skriver forsøgte med det gældende område flere gange, hvor der blev indstillet på, hvor mange punkter, som skulle indgå i random samplingen. Der blev ligeledes forsøgt at justere RMS-værdien, som skal opnås, før algoritmen afbrydes og de orienterede punktskyer udskrives. Grunden til den ringe orientering, findes muligvis i, at de to deformationer ikke er ens. Der ses, at den blå sky, har to tilnærmelsesvis linjer, hvor deformationen i den røde sky fremtræder lidt bredere. Hvis deformationen ikke er afgivet korrekt fra skoen til aftrykket, har algoritmen ikke mulighed for at finde korrelerende punkter, hvorfor der ligeledes ikke er noget at orientere de to punktskyer efter. Dette ville blive løst, såfremt der udvikles en metode, hvor hele sålen orienteres på én gang, så der ikke bliver lagt nær så høj vægt på, at det enkelte interesseområde er gengivet helt

korrekt fra skoen til aftrykket.

8.1 Forklaring af outputtet

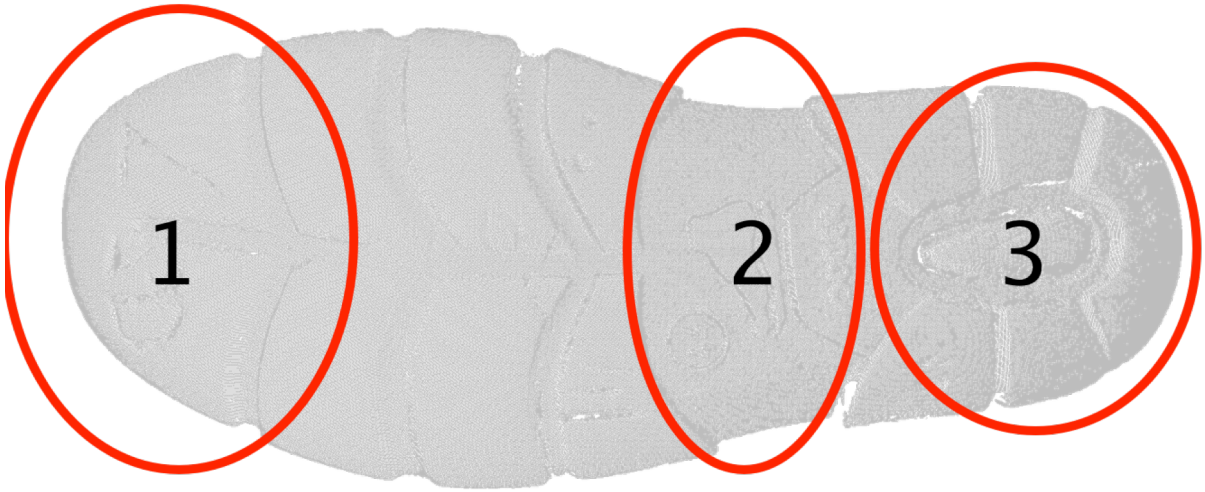
I forrige afsnit blev det vist hvordan to interesseområder bliver lagt sammen. I følgende afsnit, vil skriver forsøge at forklare, hvordan dette resultat, kan forklares til en dommer og evt. nævninge i en retssal.

Under et besøg hos Rambøll Oil & Gas diskuterede skriver projektets problemstillinger med afdelingschef Lau Jensen. Lau nævnte, at han kendte en ved navn Jürg Meixner, som arbejder for Zoller + Fröhlich (Z+F). Jürg har igennem flere år specialiseret sig i laserskanning i forbindelse med politiarbejde. Han fortalte at Hambürg Polietzei igennem mange år har anvendt laserskanning i forbindelse med sporsikring. Jürg satte et møde op med Hambürg Polietzei, hvor skriver, Jürg og Lasse Buurgaard Sørensen (fra Rambøll Oil & Gas) deltog. Mødet fandt sted, på Hamburgs hovedpolitistation. Hambürg Polietzei viste alle de forskellige sammenhænge, hvor laserskanning bliver anvendt. De viste bl.a. at de laserskanner biler, som er kollideret, for at de gennem computeren kan beregne, hvordan sammenstødet er foregået. De viste at de havde laserskannet en kollideret bil, hvor føreren var skudt i baghovedet og afgået ved døden. De kunne ved hjælp af algoritmer beregne, hvordan bilen var kollideret, og at gerningsmanden havde skudt føreren to gange, uafhængigt af hinanden. De fortalte, at et meget brugbart redskab til retssagerne er, at 3D printe de kolliderede biler, for at en dommer og/eller nævninge kan sidde og sætte modellerne sammen og på den måde få en fysisk forståelse af, hvordan de to kørertøjer er kollideret.
Dette ville muligvis også være anvendeligt i projektet, da der kunne printes en model af skoen og aftrykket, hvor en dommer og/eller nævninge, så kan få en fysisk forståelse af hvordan de to modeller passer sammen. Dette kan så bakkes op af de to orienterede 3D-model, hvor man digitalt kan se, hvordan de forskellige deformationer passer sammen.
Det viste sig, at Hambürg Polietzei også har testet på skanning af skoaftryk men ikke sidder færdige med et endeligt produkt. En af de ting som volder Hambürg Polietzei problemer, er, at der ikke findes et system til en database, som kan finde match imellem et nyt skoaftryk, til de tidligere indsamlede aftryk. For at dette kan blive en realitet, er det nødvendigt at kunne anvende ICP-algoritmen på hele aftrykket i stedet for at udvælge et enkelt lille område på sålen.

Tidligere i rapporten er det nævnt, at skoen og aftrykket ikke har den samme fladegeometri, hvilket ligeledes er årsagen til, at algoritmen ikke kan anvendes på hele skoen og aftrykket. Som en test, vil skriver forsøge at gøre dette alligevel. Testen skal give en forståelse for, hvorfor de to aftryk ikke kan sammenlignes direkte, for at opnå en forståelse for, hvorvidt der evt. kan arbejdes videre til et spin-off projekt omhandlende opbyggelse af en database, som kan sammenligne hele skanningen af sålen med hele skanningen af aftrykket.

8.2 ICP-algoritmen anvendt på hele modellen

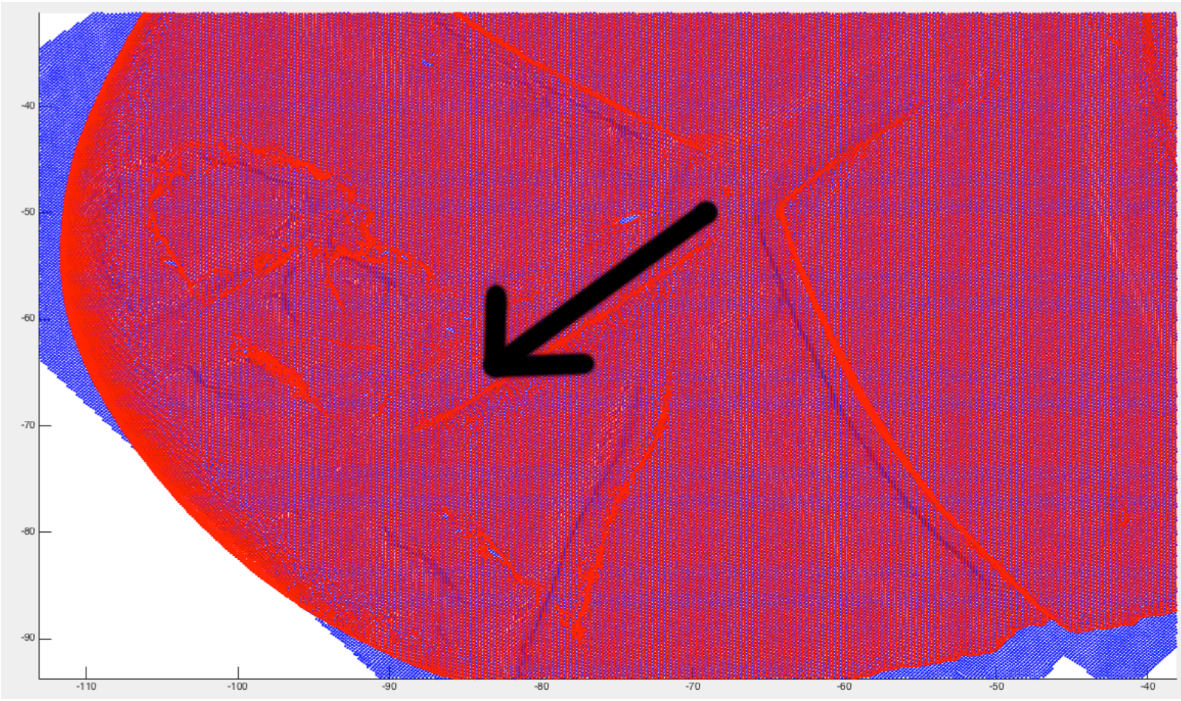
I forrige afsnit, blev nogle interesseområder translateret og sammenlignet vha. Projektets ICP-algoritme. Det blev endvidere forklaret, at det kan være interessant, hvis denne teori kunne anvendes på hele sålen og et tilhørende aftryk, -af hensyn til at opbygge en database. I følgende afsnit vil det blive forklaret, hvorfor projektets ICP-algoritme ikke på sit nuværende stadie kan forestå denne translation.



Figur 29 viser et screenshot af en skosåls skannede punktsky, visualiseret i MeshLab. Der er med rød ring redigeret tre områder, som er nummereret. Redigeret i PixelMator.

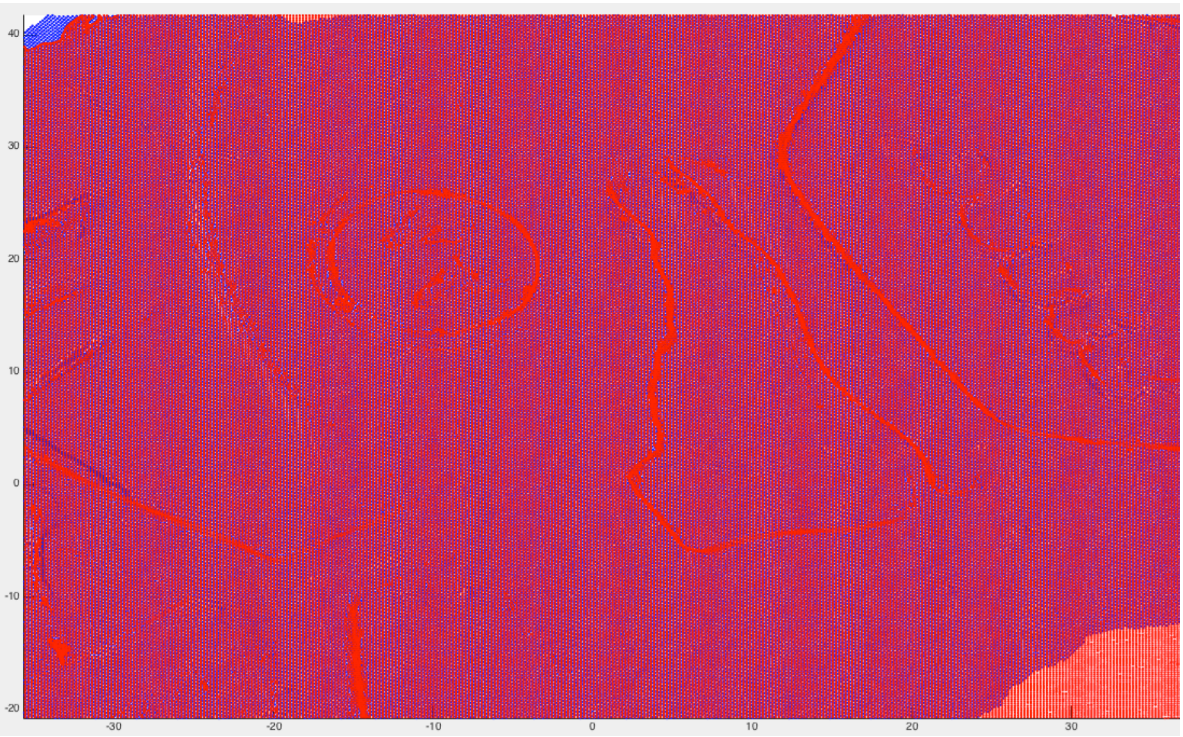
På Figur 29 ses et screenshot fra MeshLab af skosålens punktsky, som findes under Bilag I/skoaftrykket, under filen Sko.txt. Der er markeret tre områder.
Gennem Matlab vil der forsøges at få ICP-algoritmen til at orientere hele modellen af sålaftrykket med hele skanningen af aftrykket i gipsstøv[29]. De to aftryk orienteres indledende, hvorefter ICP-algoritmen forsøger at fuldføre den endelige orientering ved alle "settings" sat til default, pånær B og B0 som sættes fra 5 mm til 10 mm, som begrundes med at aftrykkets og sålens overfladegeometri er forskellig, hvorfor de ikke længere passer indenfor 5 mm.
Resultatet vil blive inspiceret visuelt gennem tre screenshots fra et Matlab plot3.

[29] Aftrykket i gipsstøv findes under Bilag I/Aftryk i gips/gips.txt



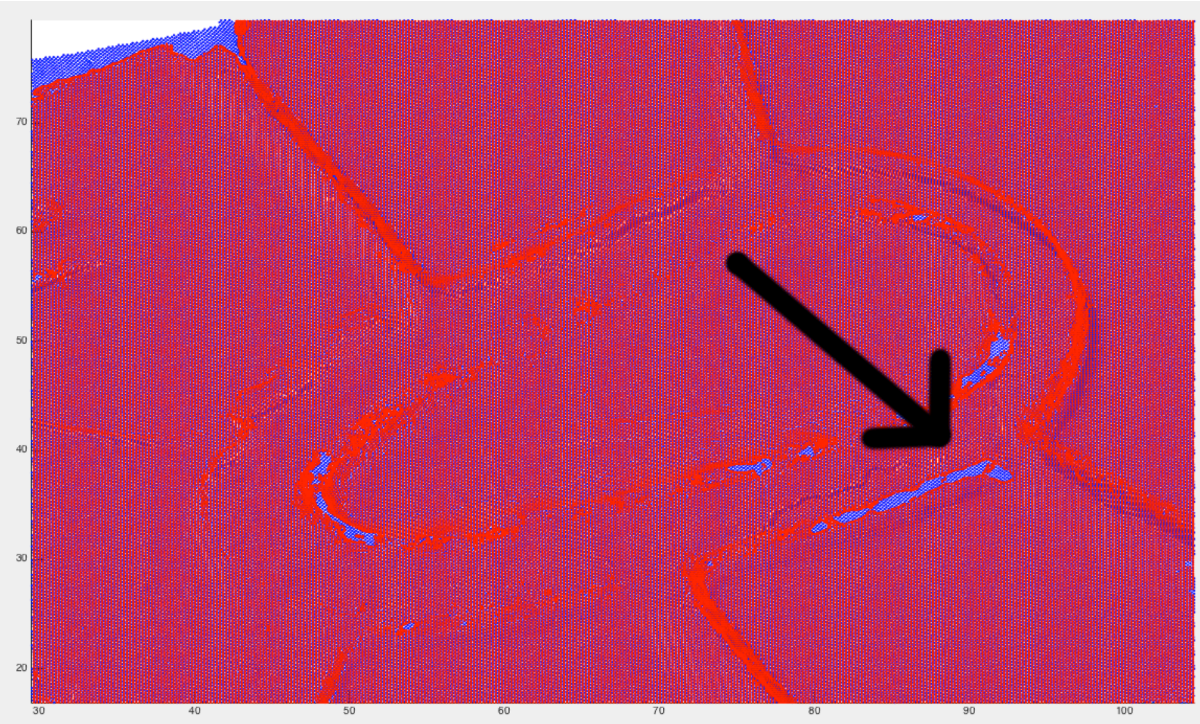
Figur 30 viser et screenshot af et Matlab plot, hvor projektets ICP-algoritme har orienteret to modeller. Den sorte pil viser den retning, som den blå punktsky er forskudt ift. den røde. Redigeret i PixelMator.

Af Figur 30 kan det ses at den blå punktsky er forskudt ift. den røde i den sorte pils retning.



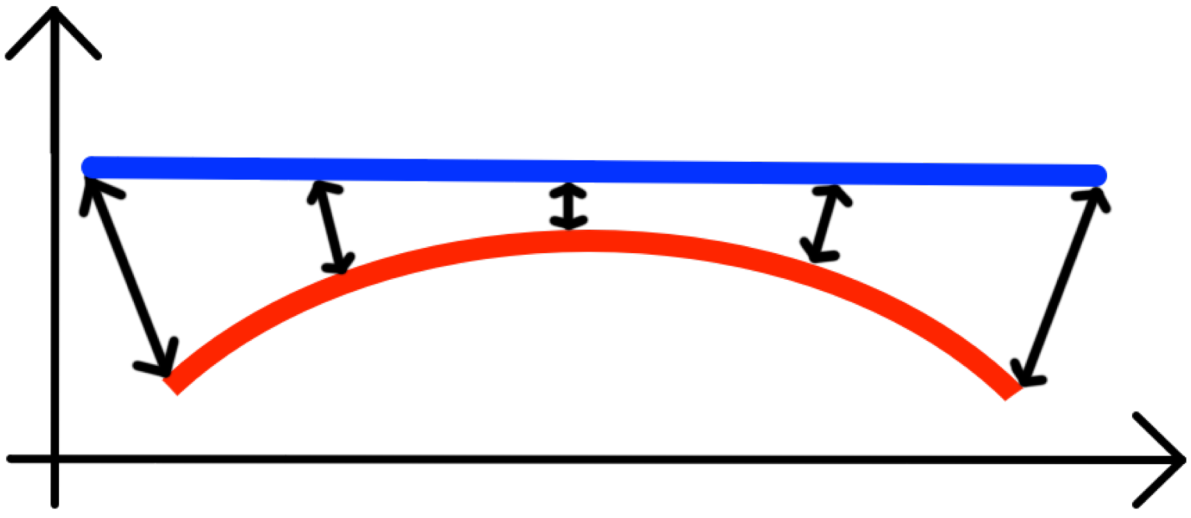
Figur 31 viser et screenshot af et Matlab plot, hvor projektets ICP-algoritme har orienteret to modeller.

På Figur 31 ses der et screenshot af område 2. Det ses at område 2 er forholdsvist sammenfaldende, den røde og blå sky imellem, hvilket betyder at det ikke er hele modellen som er forskudt, som område 1 antydede.



Figur 32 viser et screenshot af et Matlab plot, hvor projektets ICP-algoritme har orienteret to modeller. Den sorte pil, viser den retning, som den blå punktsky er forskudt ift. den røde. Redigeret i PixelMator.

På Figur 32 ses det, at modellerne igen er forskudt ift. hinanden, men i modsætning til område 1 er de nu forskudt i den modsatte retning. Grunden til at begge pile peger nedad, kan forklares ved, at modellen ligger skråt til grundplanet og ikke horisontalt plant.



Figur 33 skitserer et koordinatsystem hvor der er to overflader (den røde og blå streg) med samme længde. De sorte pile skitserer korrelerende steder, den røde og blå overflade imellem. Redigeret i PixelMator.

På Figur 33 er der illustreret hvorfor de to planer ikke vil kunne passe sammen, hvis de ikke har samme overfladegeometri. Det skal forestille at være et tværsnit langs med de to planer. Det ses at det røde plan i virkeligheden buer, hvor det blå er plant. Det betyder at det røde plan set oppefra, vil forekomme skrumpet ift. det blå. Ligeledes hvis z-dimensionen tages ud af billedet, vil pilene pege væk fra midten, som det er tilfældet ved område 1 og 3 fra Figur 30 og Figur 33.

Derfor vil projektets ICP-algoritme ikke kunne orientere de to plan, med mindre at de skannes med den samme overfladegeometri. Der vil ikke i projektet ledes efter en løsning på dette, eftersom dette er anses værende en krævende affære, og projektets tidshorisont er begrænset. Det skal dog ligges vægt på, at det vil være relevant at undersøge, hvordan at de to fladers geometri kan aflæses og på den måde tage højde for krumningerne. Hvis der findes en metode til at tage højde for krumningerne, vil det være muligt at udbygge projektets ICP-algoritme, så orienteringen kan ske af hele skoen og ikke et delområde. Det er dog vigtigt, når at geometrien aflæses, er der den krumning som påføres skoen, når gerningsmanden har den på og ikke selve skosålens mønsters geometri. Hvis denne problemstilling løses, vil det ligeledes kunne udbygges til en database, som søger i tusindvis af skoaftryk og sko.

9 Dataindsamling ved forskellige materialer

Forrige afsnit klarlagde hvordan ICP-algoritmen kan anvendes til at matche interesseområder. Dette blev gjort for aftrykket i gips. Det skyldtes at det aftryk som var afgivet i gips, havde den bedste detaljeringsgrad ift. skosålen. I samarbejde med NKC blev der testet skanning af aftryk i forskellige materialer. I følgende afsnit vil der blive givet en visuel vurdering af de skanninger, som er foretaget af følgende materialer:

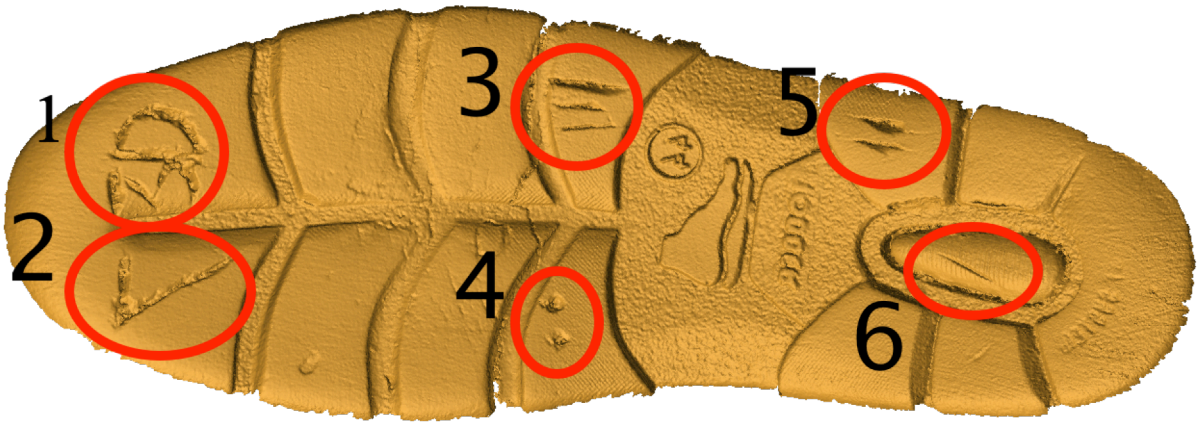
- Sne
- Jord
- Sand
- Gips

Først vil der blive vist et screenshot af skosålens skanning, visualiseret i MeshLab. Der vil blive udpeget en række interesseområder, hvor der vil forsøges at se de gengivne interesseområder for aftrykkene af den samme sko, i de fire opstillede materialer.

9.1 Skanning af skosålen

Figur 34 visualiserer et screenshot af en skannet skosål, vist i MeshLab.

På Figur 34 ses den skannede skosål. Skosålen er i MeshLab modelleret til en .STL fil, uden udtynding. .STL filen findes under Bilag I/Skoaftrykket under filen Sko.STL, filen er dannet på baggrund af SKO.txt.



Figur 35 visualiserer et screenshot af en skannet skosål, vist i MeshLab. Der er i PixelMator redigeret seks røde ringe, som udpeger seks interesseområder.

Der er på Figur 35 udpeget seks interesseområder, som er markeret med røde ringe. Der vil først forsøges at undersøge, om de seks samme interesseområder er gengivet ved aftrykket i de forskellige materialer.

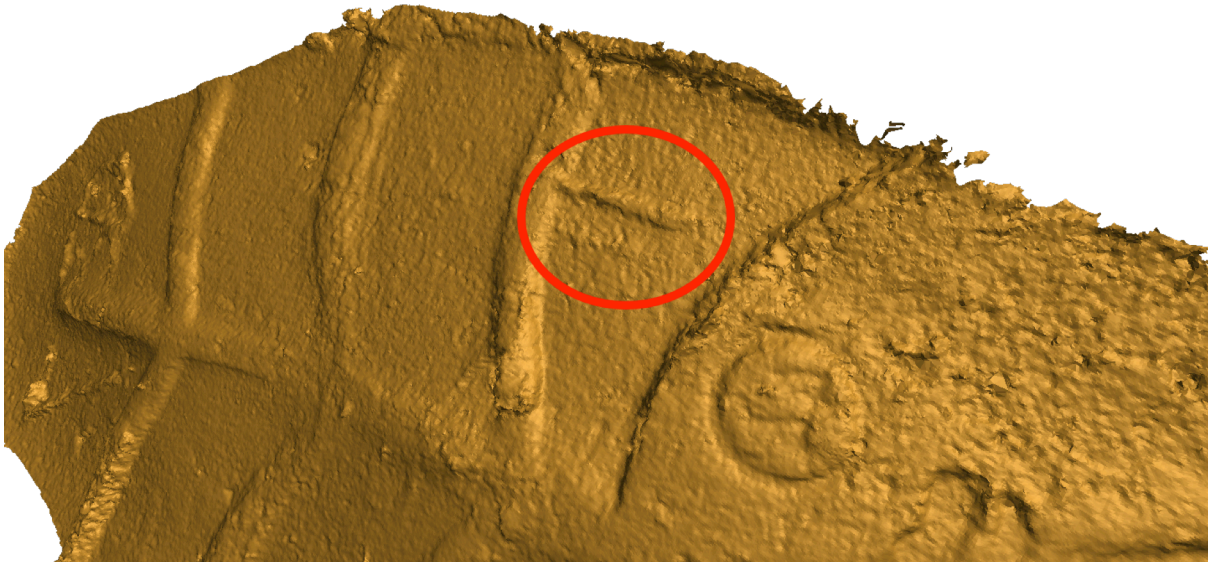
9.2 Aftryk i sne

Før skriver foretog skanningen af et aftryk i sne, var det skrivers opfattelse at skanneren vil få indsamlet et aftryk af høj nøjagtighed.

Figur 36 visualiserer et screenshot af et skannet skoaftryk, vist i MeshLab.

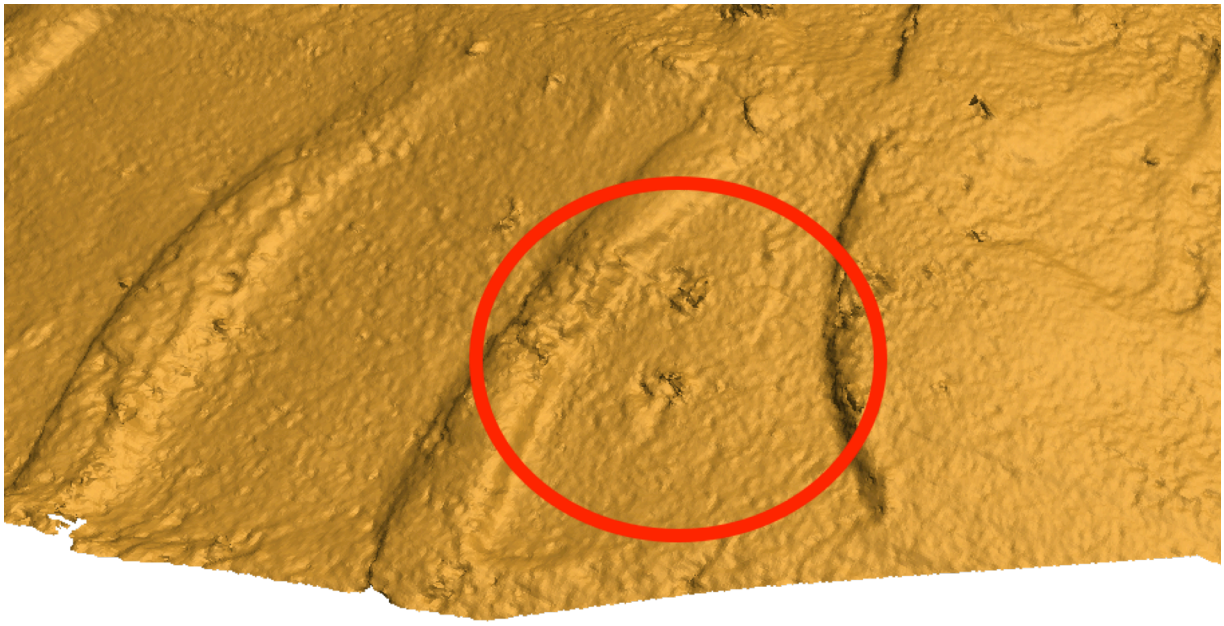
På Figur 36 ses der en skanning af et aftryk, som er lavet i sne. Aftrykket er visualiseret i MeshLab og lavet af skanningen som findes under Bilag I/Aftryk i sne, under filen SNE.txt. Ligesom skanningen af skosålen, er der ikke udført udtynding i skanningen. I hele afsnit 9, er alle .STL filerne lavet jf. opskrevne metode. NKC har udviklet et produkt, kaldet Snowpowder. Snowpowder anvendes til at skabe kontrast i sneen, uden at deformere aftrykket. Dette blev ligeledes anvendt i det aftryk, som skanningen er foretaget over, for at skanneren kunne opfange aftrykket. Det, at skanneren ikke kan opfange aftrykket uden brugen af Snowpowder

skyldes sandsynligvis, at sne er vand i fast form, hvor skannerens laser går igennem og ikke bliver tilbagekastet til skanneren i tilstrækkelig grad.
Det ses at område 1,2 og 5 er tydeligt gengivet i aftrykket i sne.



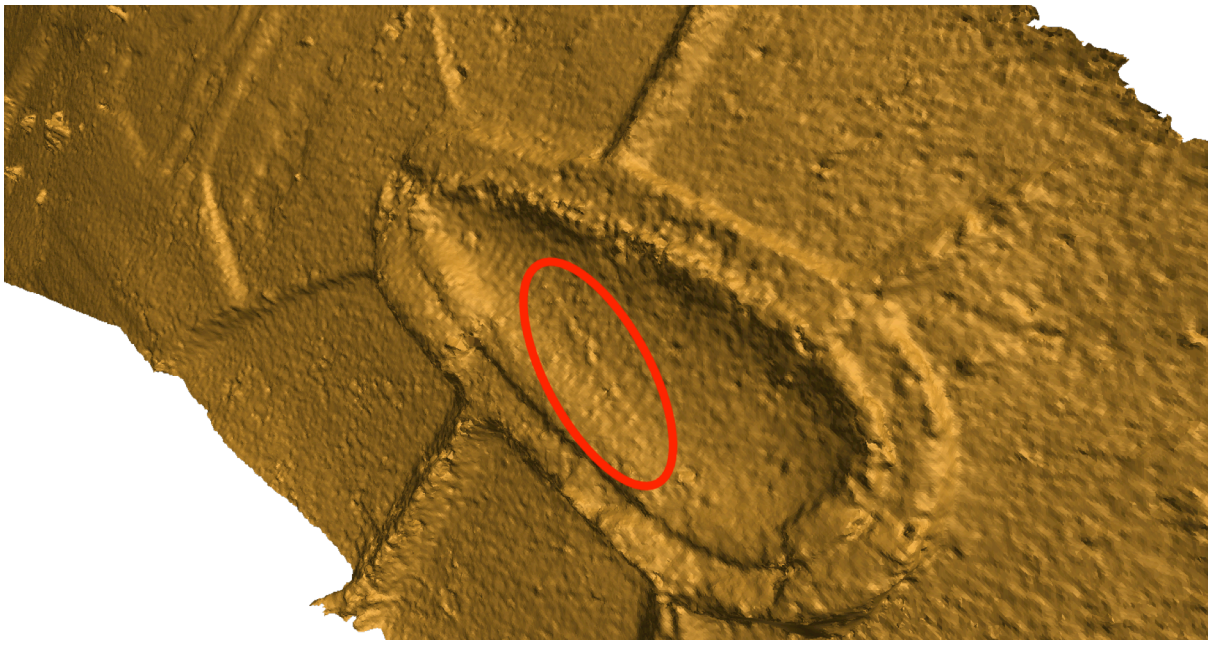
Figur 37 visualiserer et screenshot af et skannet skoaftryk, vist i MeshLab. Der er med en rød ring, markeret område 3 fra Figur 35. Redigeret i PixelMator.

På Figur 37 ses det, at interesseområde 3 er gengivet i aftrykket. Det er dog kun de største to af de tre fordybninger, som ses. Det kan muligvis skyldes at den tredje er smeltet væk, idet skoen rørte sneen. Dermed vides det ikke, om detaljen reelt set var gengivet i aftrykket.



Figur 38 visualiserer et screenshot af et skannet skoaftryk, vist i MeshLab. Der er med en rød ring, markeret område 4 fra Figur 35. Redigeret i PixelMator.

Af Figur 38 ses det tydeligere, at interesseområde 4 er gengivet i aftrykket. Det ses at begge fordybninger fremtræder. De er udviskede ift. skanningen af sålen. Det skyldes muligvis, at sneen smelter, som det ligeledes blev vurderet ved detaljen fra Figur 37.



Figur 39 visualiserer et screenshot af et skannet skoaftryk, vist i MeshLab. Der er med en rød ring, markeret område 6 fra Figur 35. Redigeret i PixelMator.

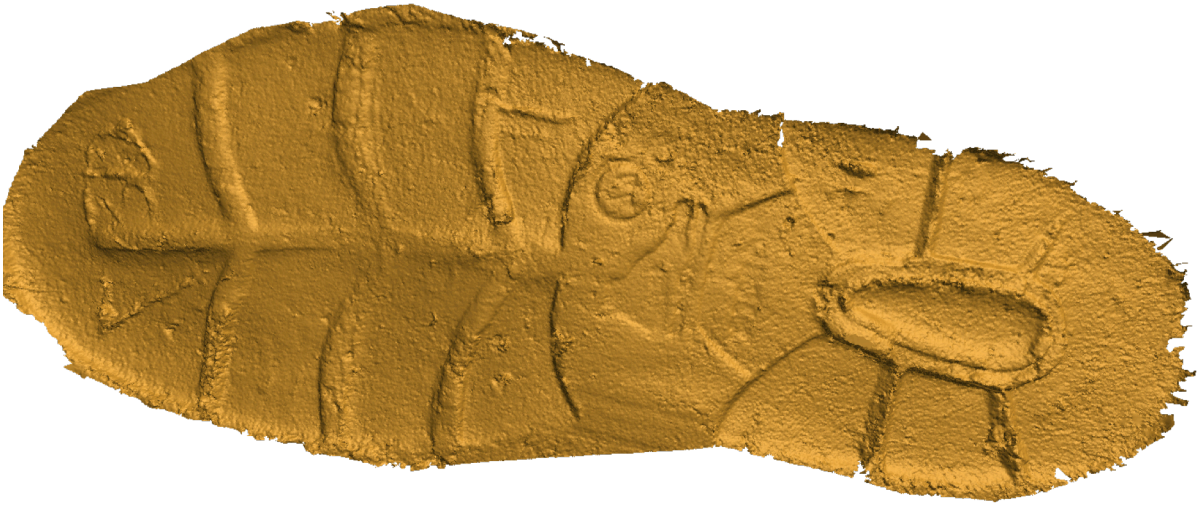
På Figur 39 ses det, at område 6 ligeledes er gengivet, hvilket betyder at der har kunnet findes fællespunkter i alle 6 interesseområder.
Det, at alle seks interesseområder er gengivet, er ikke ensbetydende med, at projektets ICP-algoritme kan orientere dem. Som tidligere nævnt skal projektets ICP-algoritme ses som en beta version. For at den kan være i stand til at sammenligne områder som disse med de tilsvarende områder fra skosålen, skal der arbejdes videre med vægtningen og frasorteringen. Det skyldes, at områderne ikke er gengivet 1:1, så udtyndingen skal være i stand til at kunne frasortere støj og genkende interesseområderne, selvom områderne ikke er helt ens. Projektets frasortering og vægtning er på et stadie, hvor der frasorteres punkter i deformationen, hvis den har ændret sig tilstrækkelige fra skosålen til aftrykket.

Før skriver foretog skanningen i sne, var han af den overbevisning, at der ikke ville opstå komplikationer. Det viste sig dog hurtigt at skanneren ikke opfangede andet end støj i skanningen, grundet materialet. Skriver og Per Krat forsøgte at hælde Snowpowder i aftrykket hvorefter skanneren ikke havde problemer, ved at indsamle data.

9.3 Aftryk i jord

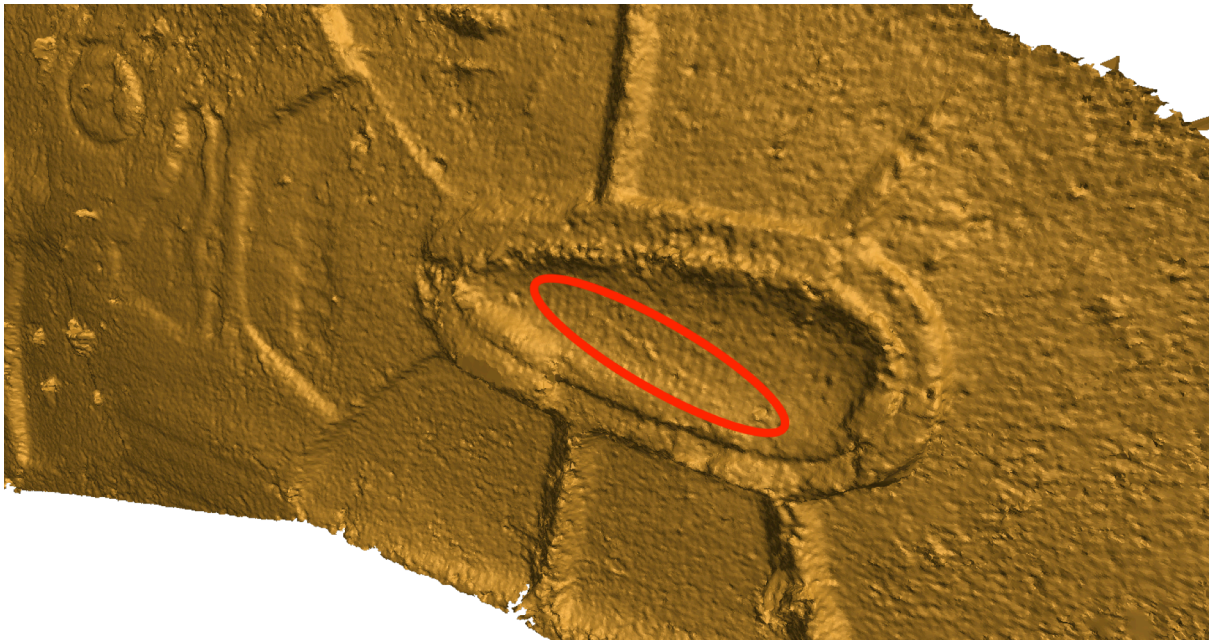
Filen til aftrykket i jorden findes under Bilag I/Aftryk i jord. I afsnittet vil .STL filen blive anvendt, men .txt filen med punktskyen findes under samme bilag.
Inden skriver påbegyndte dataindsamlingen, var han af den overbevisning, at skanneren ikke

ville opleve komplikationer, i forbindelse med at foretage en skanning i jord. Det var ikke skrivers overbevisning, at aftrykket ville være befængt med støj.



Figur 40 visualiserer et screenshot af et skannet skoaftryk, vist i MeshLab.

Skanningen af aftrykket i jord ses gengivet på Figur 40. Det ses tydeligt, at område 1, 2, 3, 4 og 5 er gengivet.

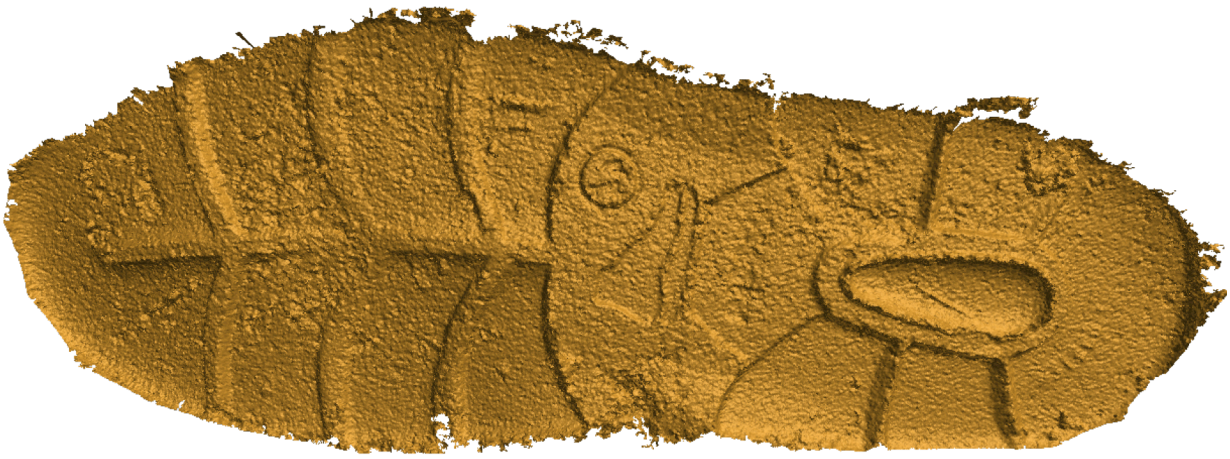


Figur 41 visualiserer et screenshot af et skannet skoaftryk vist i MeshLab. Der er med en rød ring, markeret interesseområde 6. Redigeret i PixelMator.

Af Figur 41 ses det tydeligt, at interesseområde 6 er gengivet. Dette betyder at alle seks interesseområder er gengivet for aftrykket i jord. Derfor vurderes det ligeledes, at skrivers hypotese holder stik, i forbindelse med at skanneren ikke ville opleve komplikationer, ved en skanning af jord.

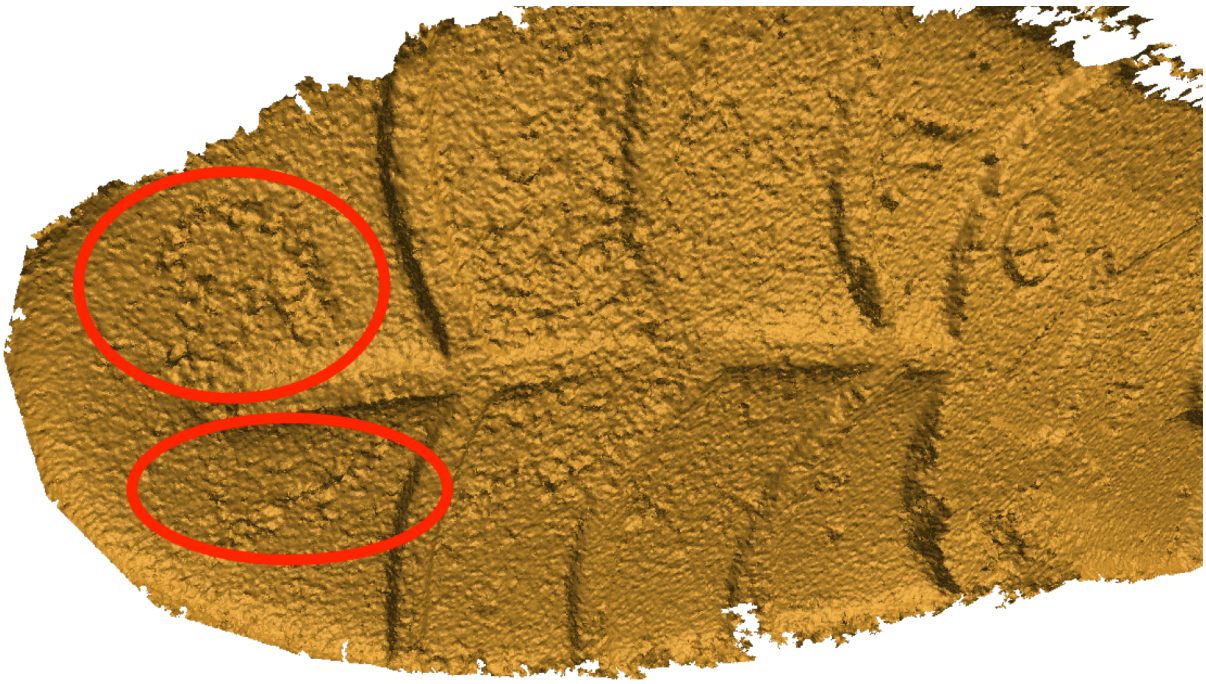
9.4 Aftryk i sand

Filen til aftrykket i sandet findes under Bilag I/Aftryk i sand. I afsnittet vil .STL filen blive anvendt, men .txt filen med punktskyen findes under samme bilag. Skriver er af den overbevisning at sand, har nemt ved at reflektere laseren, grundet sands farve og blanke overflade og at skanneren derfor ikke vil opleve komplikationer i forbindelse med dataindsamlingen.



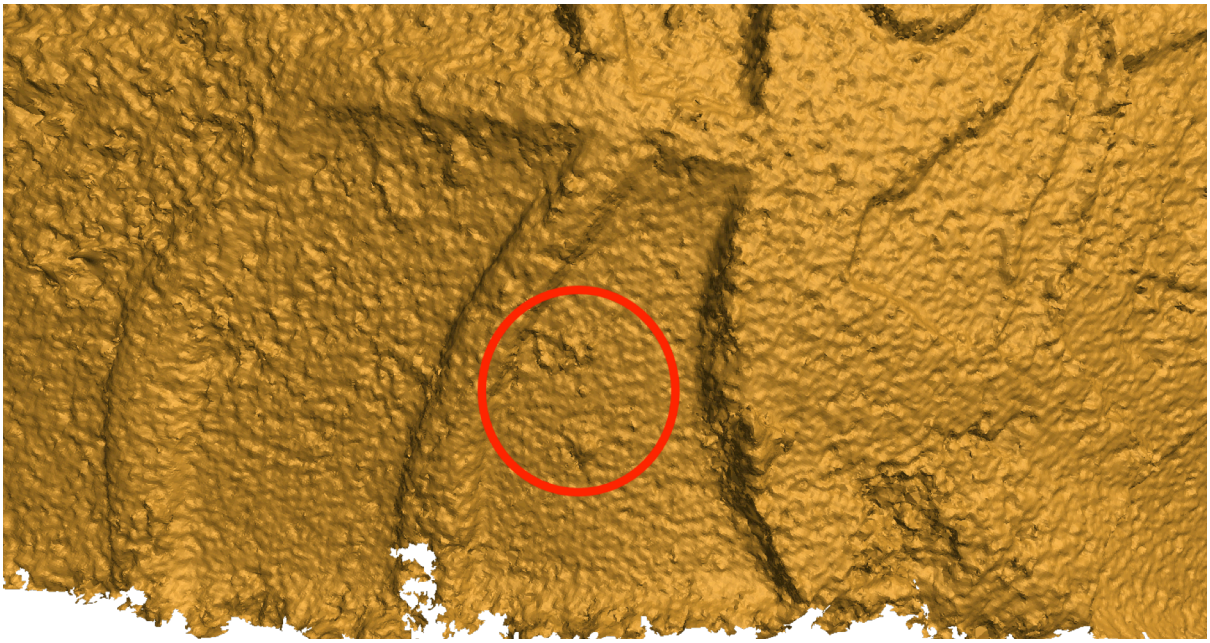
Figur 42 visualiserer et screenshot af et skannet skoaftryk, vist i MeshLab.

Af Figur 42 ses det tydeligt at interesseområde 3 og 6 er gengivet.



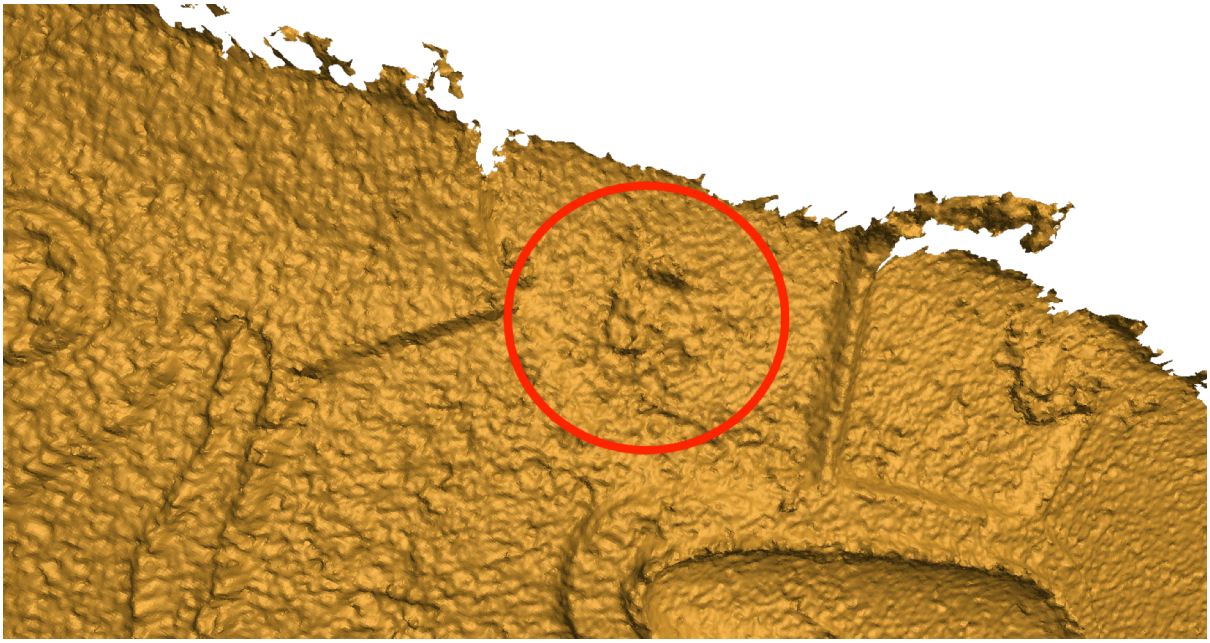
Figur 43 visualiserer et screenshot af et skannet skoaftryk, vist i MeshLab. Der er med en rød ring, markeret interesseområde 1 og 2. Redigeret i PixelMator.

Af Figur 43 ses det at interesseområde 1 og 2 begge anes gengivet, men i megen ringe detaljeringsgrad. Disse to kan muligvis matches ved brug af en ICP-algoritme, men det stiller store krav til vægtningen og frasorteringen, at deformationen, ikke bliver genkendt som støj.



Figur 44 visualiserer et screenshot af et skannet skoaftryk vist i MeshLab. Der er med en rød ring, markeret interesseområde 4. Redigeret i PixelMator.

På Figur 44 ses det at område 4 er gengivet, men i ringe grad.

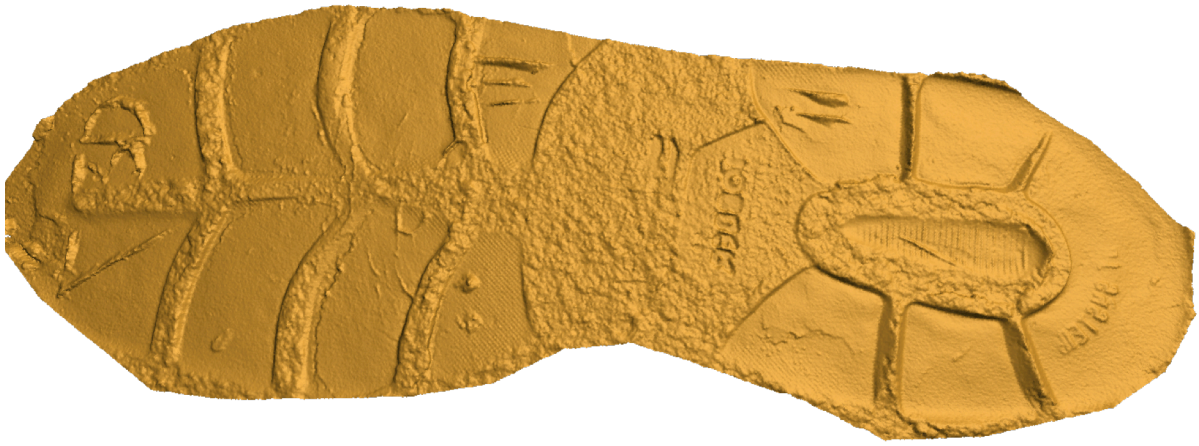


Figur 45 visualiserer et screenshot af et skannet skoaftryk, vist i MeshLab. Der er med en rød ring markeret interesseområde 5. Redigeret i PixelMator.

Det ses på Figur 45, at der er en afmærkning efter interesseområde 5, men det er ikke muligt at tyde interesseområdets omrids eller oprindelige geometri, grundet den ringe detaljeringsgrad. Det er dog skrivers overbevisning, at det ikke er skanningen af materialet, som er problemet, men materialets evne til at gengive sålens detaljer, hvorfor det må konkluderes, at skanneren ikke har problemer med at skanne på materialet. Derfor vurderes det ligeledes, at skrivers hypotese holder stik, i forbindelse med at skanneren ikke ville opleve komplikationer, ved en skanning af sand.

9.5 Aftryk i gipsstøv

Filen til aftrykket i gipsstøvet findes under Bilag I/Aftryk i gips. I afsnittet vil .STL filen blive anvendt, men .txt filen med punktskyen findes under samme bilag.
Skriver er af den overbevisning, at gipsstøv er et materiale, hvor skanneren har nemt ved at dataindsamle. Det skyldes at det hvide materiale har nemt ved at reflektere lys, sammen med at materialet har en sådan finhed, at interesseområderne vil blive gengivet af høj nøjagtighed.

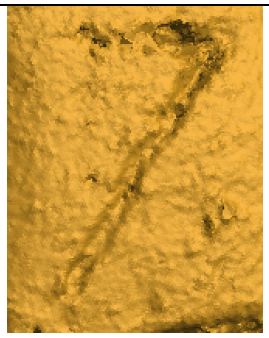
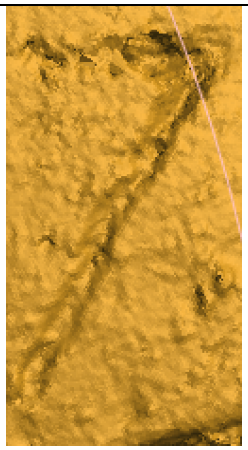
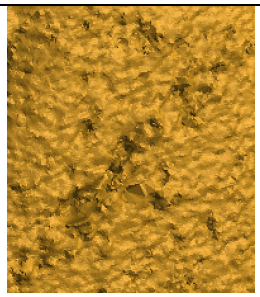
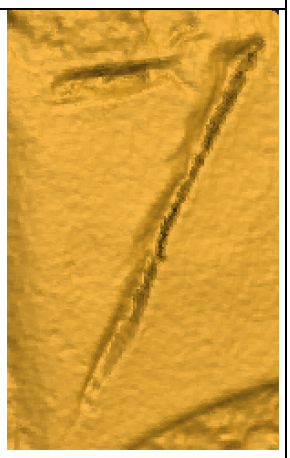
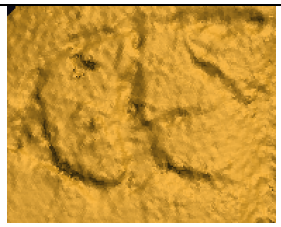
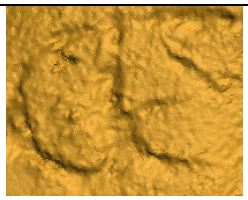
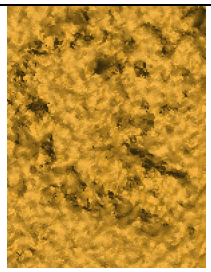
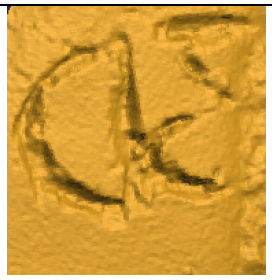
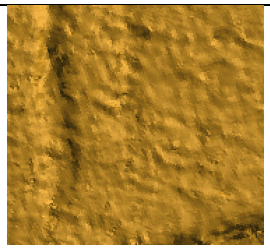
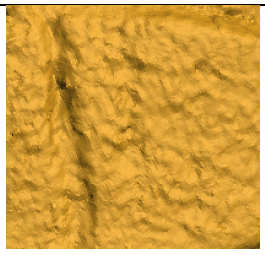
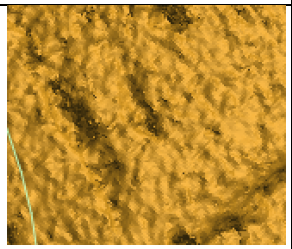
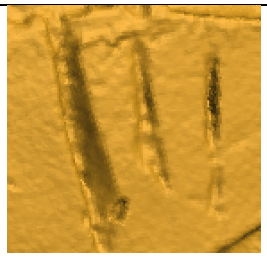
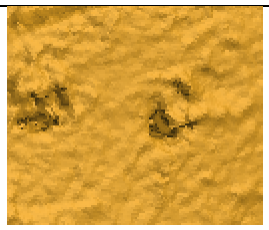
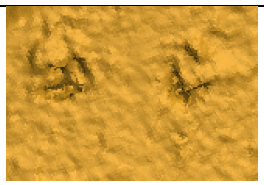
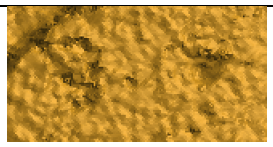
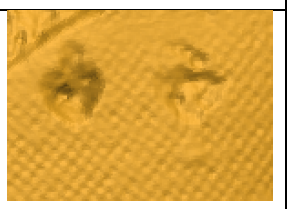
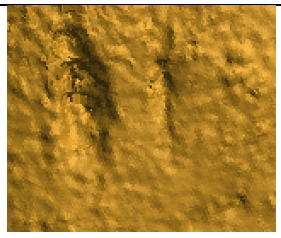
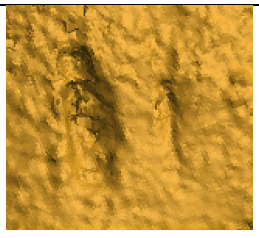
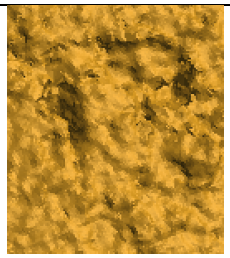
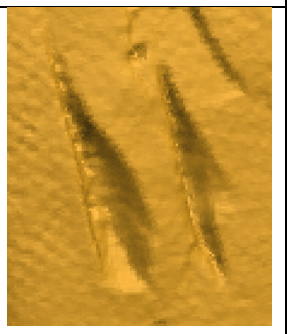


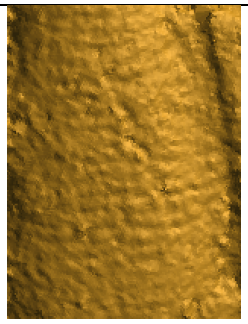
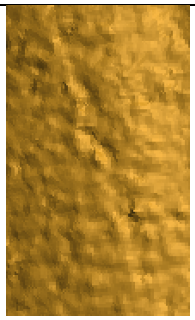
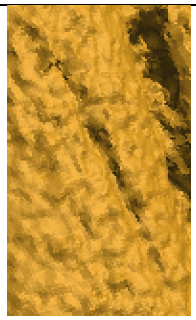
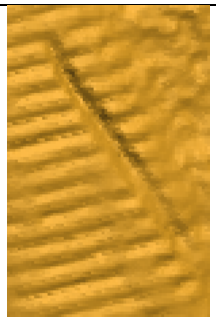
Figur 46 visualiserer et screenshot af et skannet skoaftryk, vist i MeshLab.

På Figur 46 ses skanningen af aftrykket i gipsstøv. Det ses, at alle seks interesseområder er gengivet med høj detaljeringsgrad, hvilket betyder, at skanneren ikke har problemer med at skanne i gipsstøv. Det er skrivers overbevisning, at dette ligeledes gælder lignende materialer, som mel, murerstøv etc.
Det vurderes at skrivers hypotese holder stik, i forbindelse med at skanneren ikke vil opleve komplikationer ved skanningen af gips.

9.6 Opsummering af de skannede områder

Igennem afsnit 9 er der blevet gennemgået alle de skanninger, som er foretaget i en bred vifte af forskellige områder. I følgende afsnit vel der blive opsummeret på de forskellige områder.

	Sne	Jord	Sand	Gips
Område 1				
Område 2				
Område 3				
Område 4				
Område 5				

Område 6				

Tabel 4 viser alle de forskellige interesseområder som er dataindsamlet for aftrykkene i alle de forskellige materialer.

Skriver affotograferede samtlige aftryk, men grundet ringe belysning er det ikke muligt at se aftrykkenes interesseområder. Derfor kan fotografierne ikke bruges til at afgøre, hvorvidt det skyldes skanneren eller materialet, at visse af interesseområderne ikke blev gengivet i skannene. Dog vurderer skriver, at der ikke har været problemer med at skanne nogle af områderne som ses i Tabel 4, grundet at der ikke er nogen af skanningerne som er befængt med støj. Hvis skanneren har svært ved at skanne et materiale, vil det komme til udtryk ved støj eller datahuller, dette ses dog ikke som tilfældet for nogen af materialerne, hvorfor det vurderes at disse interesseområder er skannet, som de har set ud i aftrykket. Det kan derfor vurderes at det er muligt at dataindsamle til en digital rummelig model, hvor skoens unikke detaljer opfanges, uden skannene bliver befængt med støj. Skriver vurderer at alle aftrykkene er indsamlet i en nøjagtighed, hvor NKC med fordel kan benytte en laserskanning, i stedet for deres nuværende metode, med at indsamle gipsaftryk. D

10 Konklusion

I problemformuleringen under afsnit 4 blev nedenstående problemformulering opstillet:

> Hvorledes er det muligt automatisk at orientere to punktskyer til det samme koordinatsystem uden brug af targets?

Skriver konkludere at det er muligt at orientere to punktskyer til det samme koordinatsystem uden brug af targets, ved at **anvende en ICP-algoritme**.
Til at besvare problemformuleringen, blev det besluttet, at dette skulle forsøges gjort ved at udarbejde en ICP-algoritme. Eftersom ICP-algoritmer ikke har været et læringsmål på studiet, var skriver først nød til at finde en række afhandlinger og skrifter om emnet, for at kunne klarlægge teorien. Skriver anvendte den fundne teori, til at dechifrere en generel ICP-algoritmes hierarkiske arbejdsgang, fra to modeller indlæses, til at de er samlet. Efter den hierarkiske arbejdsgang var opstillet, var det muligt for skriver, at anvende teori og opstille hypoteser, som til dels havde grundlag i opnået viden fra tidligere forelæsninger på studiet og til dels fra andre afhandlinger og skrifter fundet i bøger og nettet. Der blev opstillet to projektmetoder; En for hvordan der opnås viden, og en for hvordan der systemudvikles.
De to projektmetoder, viste sig at være meget anvendelige. Eftersom der blev arbejdet med et nyt emne, var det ikke muligt for skriver, at vide om alle opstillede teorier og hypoteser, ville blive en succes. Derfor blev metoden til videnopbyggelsen, anvendt når en teori skulle opstilles, og metoden til systemudvikling blev herefter anvendt, ved at den dikterer at et delelement i ICP-algoritmen, skal testes før der kan arbejdes videre til det næste. Som det ses af Bilag F, var der mange af skrivers første antagelser, som enten ikke holdte stik, eller skulle justeres, for at ICP-algoritmen blev en succes.

Under problemformuleringen, blev følgende underspørgsmål opstillet:

- *Hvordan sammenlignes et interesseområde, skoen og aftrykket imellem?*

Det blev klargjort, at skoens og sålens -overfladegeometri var forskellig, hvorfor de to områder ikke ville passe sammen. Det blev oplyst af Per Krat, at de ikke sammenlignede hele skoen med hele sålaftrykket, men blot de små **unikke detaljer**, kaldet interesseområder. Skriver valgte derfor at selektere interesseområder og orientere dem, for at simplificere arbejdet. Det var nødvendigt for skriver at simplificere arbejdet, da det ellers var blevet for kompleks en affære, grundet den begrænsede til, til at udarbejde projektet. Ligeledes skal det holdes i mente, at dette er et emne, som relativt få har arbejdet med, hvorfor det er vigtigt at starte med at opbygge empirisk viden, igennem de mere simple processer, som senere kan overbygges til et mere kompliceret og gennemarbejdet produkt, som i sidste ende, kan finde vej til det kommercielle marked.
Skriver forsøgte efter ICP-algoritmens opbyggelse, at processere forskellig data, under afsnit 8.

Det blev under afsnit 8 klart, at ICP-algoritmen ikke havde problemer med at orientere de interesseområder, hvor der i høj grad var struktur, men de steder hvor geometrien i mindre grad var varierende, kunne den have problemer, med at se hvordan de to modeller passer sammen. Dette vil især komme til udtryk, hvor der er afsat et aftryk i et materiale, som ikke gengiver alle skoens interesseområder, med en høj nøjagtighed. I de tilfælde hvor interesseområdet ikke er ens, skoen og aftrykket imellem, vil projektets ICP-algoritmes rate for succes, være meget lille. Det skal dog holden in mente, at en ICP-algoritme er lavet til at orientere to datamængder, som passer 1:1, hvorfor skriver i projektet forsøgte sig med en udvægtning og frasortering. ICP-algoritmen vil sandsynligvis kunne orientere alle interesseområderne til skosålen, hvis denne udvægtning og frasortering viderebygges.
Det kan derfor konkluderes at projektets ICP-algoritme er i stand til automatisk at orientere to punktskyer til det samme koordinatsystem uden brug af targets, dog er raten for succes afhængig af, i hvor høj grad modellerne passer 1:1.

Under problemformuleringen blev følgende underspørgsmål ligeledes opstillet:

- *Er der nogle typer af materialer, hvor skanneren ikke kan opsamle data, eller hvor målingerne bliver behæftet med nævneværdig meget støj?*

Til at besvare ovenstående underspørgsmål, blev der under afsnit 9 opstillet en række testscenarier, hvor et skoaftryk blev afsat i en række forskellige materialer. Det var Per Krat som havde opstillet testscenarierne, som blev gjort med henblik på, at de skulle afdække alle de typer materialer, hvor NKC kunne blive udsat for at skulle tage et skoaftryk i. Af afsnittet blev det illustreret at det ikke var alle interesseområderne fra skoen, som kunne ses i skannet af de tilhørende aftryk. Det blev dog konkluderet at det ikke var skanneren som havde haft komplikationer, ved at skanne materialet, men materialets evne til at gengive skoens interesseområder. Den konklusion byggede bl.a. på at de steder hvor der var tale om et løst materiale som tørt sand, var der ikke støj på skanningen, men mange af interesseområderne så ud til at være faldet sammen. Der opstod dog komplikationer, ved at skanne i sneen. Dette blev dog løst ved at skabe kunstig kontrast, ved at anvende NKC's eget produkt, Snowpowder.
Når der er afgivet et aftryk, er skannerens opgave at dataindsamle aftrykket, som det ser ud i marken og dermed ikke dataindsamle det, som det ser ud på skoen. Derfor **konkluderes det at skanneren ikke har haft problemer ved at skanne nogle typer af materialer.**

Det er skrivers vurdering, at **beskrevne Handyscan3D med fordel kan erstatte gipsaftryk af skoaftryk**. Det konkluderes af at skanneren er i stand til at dataindsamle ved alle de scenarier NKC bliver udsat for. Skanneren giver mulighed for at foretage en ny skanning af skoaftrykket, såfremt der opstod en fejl under dataindsamlingen første gang, hvor gipsaftryk kun giver en chance. Skanneren giver et output som lagres digitalt og deles digitalt, hvor gipsaftrykket optager fysisk plads og ikke umiddelbart giver mulighed for at dele det til flere andre politikredse. Skanneren er ligeledes automatisk, hvilket eliminere menneskelige fejl og giver en direkte mulighed for direkte at automatisk processere dataene igennem en mulig database.

På baggrund af opstillede konklusion, er det skrivers overbevisning, at tiden er kommet til for NKC at inddrage et nyt element i deres sporsikring.

10.1 Perspektivering

I konklusionen blev det klarlagt, at projektets ICP-algoritme er i stand til at orientere to datamængder automatisk. Det blev endvidere konkluderet at skanneren er i stand til at dataindsamle over alle de materialer, hvor i NKC kan finde skoaftryk. En perspektivering hertil ville være om de selv samme metoder kan anvendes til anden sporsikring, som foretages af NKC. Skriver er af den opfattende at metoden ligeledes kan anvendes til værktøjsgenkendelse, hvor et koben eller lignende, har brudt et vindue op. Her ville det være interessant at undersøge om selv samme metode, ville være i stand at skanne mærkerne fra kobenet i vinduet og matche det med et skan af kobenet. Som det blev forklaret i projektet, skal der arbejdes videre med frasortering og vægtning, af de korrelerende punkter, som findes gennem ICP-algoritmen. Skriver er af den overbevisning, at når frasorteringen og vægtningen er færdigudviklet til et kommercielt produkt, vil det være yderst muligt, at videre bygge systemet til denne type af værktøjsgenkendelse.
Det blev ligeledes fortalt, at nærliggende projekt, kan aflede et spin-off projekt, hvor den opstillede og eksemplificerede teori, kan bygges videre på til udarbejdelsen af en database til sko- og aftryksgenkendelse. Det blev fortalt at der er problematik ved at orientere en skanning af et aftryk med en sko, eftersom at aftrykket ikke nødvendigvis gengiver de unikke slitager 1:1. Dette ville kunne løses ved at hele skanningen af skoen, orienteres til hele skanningen af aftrykket. Der ville dog opstå komplikationer ved dette, i og med at skoen og aftrykket ofte har en forskellig geometri. Skriver ved at der anvendes automatiske regneprocesser, til at modellere en terrestrisk overflade ved Lidar-skanning. Det ville være interessant at undersøge om der kan anvendes en automatisk metode, til at få skoens- og aftrykkets geometri beskrevet ved hjælp af polynomier. Det ville herefter muligvis være muligt at aflæse geometrien af polynomiet, hvor det er af en grad, hvor det ikke beskriver selve mønsterets geometri, men blot hvordan skoen er trådt, i det aftrykket blev sat. Når denne geometri er beskrevet, ville det være muligt omsætte denne geometri, til den samme som der er for skoen og dermed få to datamængder, hvor overfladen har samme geometri. Når de to skans har samme geometri, er det muligt at anvende ICP-algoritmen på hele de to skanninger og derigennem foretage en automatisk vurdering, som udskriver hvor mange procent chance der er for match og på denne måde ikke finde et decideret match, men begrænse dem hvor der med sikkerhed ikke er match. Det er skrivers tanke, at der på denne måde eksempelvis kan være en database med 5000 skoaftryk, hvor databasen automatisk er i stand til at sortere det ned til 5 mulige.
I projektet skulle der ske en indledende transformation, over tre udpegede punkter. Denne manuelle tilgang, vil ligeledes ikke være muligt at gøre over hele databasen. Det blev under afsnit 7.3 forklaret, at en ICP-algoritme er i stand til at orientere to datamængder, som ligger 30^{o} indenfor hinanden. Dette dikterer at den relative orientering, kan foretages forholdsvist upræcist. Skrivers ide er at der i databasen skulle manuelt indsættes to retninger for alle aftryk,

en som går fra tyngdemidtpunktet til snuden og en som peger mod, hvad der er indersiden af skoen eller aftrykket. Det vil sige at retningen på indersiden af aftrykket peget op ad, hvor at retningen mod indersiden af skoen, går fra sålen mod toppen. På denne måde er samtlige andre kombinationer, at hvordan de to flader kunne passe sammen elimineres (her menes at der ikke forsøges at orientere bund mod bund, top mod top etc.). Efter der er givet et udgangspunkt for retningen, kunne der projekteres en grid af punkter med en afstand på 1 x 1 cm, ned på skanningen af aftrykket og skoen. Disse punkter kunne så anses som værende korrelerende og orienteres jævnfør samme teori, som anvendt under Appendiks II. Herefter er det skrivers antagelse, at der er udført en relativ orientering, som er beliggende indenfor 30^{o}. Efter den relative orientering er gennemført, skal de to geometrier aflæses ved beregning af polynomier (som tidligere opstillet i nærliggende afsnit) og herefter vil ICP-algoritmen være i stand til at orientere og udskrive hvor mange procent match, der er fundet til de forskellige andre aftryk i Databasen.
Dette ville naturligvis være en tung proces, at gøre for tusindvis af sko, hvorfor der med fordel kunne tillægges metadate, med hvilket varemærke[30] et aftryk eller en sko er af og på baggrund af dette frasortere en stor den af skoene. Random-sampling kunne ligeledes anvendes.

[30] Med varemærke menes der om skoen er af typen Nike, Puma, addidas etc.

11 Bibliografi:

Aunsborg, C. (1997). *Projektarbejdets teori og metode.* Aalborg: Aalborg Universitet.

Brande-Lavridsen, O. (1993). Aalborg: Lab. for Fotogrammetri og Landmåling.

creaform3d. (5. 5 2015). *creaform3d*. Hentede 5. 5 2015 fra www.creaform3d.com: http://www.creaform3d.com/sites/default/files/assets/brochures/files/metrascan/2014/metrascan3d_brochure_en_hq_25062014.pdf

Faro. (5. 5 2015). *Faro*. Hentede 5. 5 2015 fra www.faro.com: http://www.faro.com/products/3d-documentation/handheld-3d-freestyle-3d/features#main

geodetic. (20. 4 2015). *geodetic*. Hentede 20. 4 2015 fra www.geodetic.com: http://www.geodetic.com/v-stars/what-is-photogrammetry.aspx

Heinz Rüther, J. S. (2012). *University of Cape Town.* Geomatics Division, School of Architecture, Planning and Geomatics. Cape Town: University of Cape Town.

K.Fekete, P. (2008). Budapest University of Technology and Economics, Department of Photogrammetry and Geoinformatics. Budapest,: Budapest University of Technology and Economics.

Krat, P. (11. 2 2015). Sporsikringsekspert NKC. (M. Holm-Christiansen, Interviewer)

Pricerunner. (21. 5 2015). *Pricerunner*. Hentede 21. 5 2015 fra www.pricerunner.dk: http://www.pricerunner.dk/pl/29-3007743/Digitalkameraer/Canon-EOS-7D-Mark-II-Sammenlign-Priser

Rie Jepsen, A. N. (2003). *IT udvikling .* Frederikshavn: Dafolo .

Sturm, D. J. (6. 12 2013). *www.youtube.com*. Hentede 4. 9 2015 fra youtube: https://www.youtube.com/watch?v=5E5n7fhLHEM

Thomas Luhman, S. R. (2011). *Close Range Photogrammetry; Principles, Methods and Application .* Dunbeath: Whittles Publishing .

BILAGS- OG APPENDIKSOVERSIGT:

Bilagsnummer	**Titel**	**Type**
A	Møde NKC og Rambøll	DVD
B	Telefonisk kontakt med Per Krat	Papir
C	EXAscan Brochure	DVD
D del 1	Skanneren	Papir
D del 2	Test af targets	Papir
E	ICP-algoritmens hierakiske opbygning	Papir
F	Erfaringer af ICP-algoritmens programmering	Papir
G	Udpegning af tre punkter	Papir
H	RMS-værdi	Papir
I	MeshLab guide	DVD
Appendiksnummer	**Titel**	**Type**
I	ICP-algoritmen del 1	DVD
II	ICP-algoritmen del 2	DVD
III	ICP-algoritmen del 3	DVD
IV	SKO_renset	DVD
V	Gips_renset	DVD
VI	RMS	DVD

Bilag

INDHOLDSFORTEGNELSE:

Bilag B - Telefonisk kontakt med Per Krat V

Bilag D del 1 - Skanneren VI

1.1 Teori om skanneren VI

Bilag D del 2 - Test af targets XII

1.1.2 Analyse XV

1.1.3 Design XV

1.1.4 Prototype XVIII

1.1.5 Test af prototypen XIX

1.1.6 Endeligt produkt XX

1.2 Skanning af fodspor i jord XXII

Bilag E - ICP-algoritmens hierakiske opbygning XXV

1.3 De fem steps XXV

Bilag F - Erfaringer af ICP-algoritmens programmering XXXI

1.4 Frasortering af udeliggende punkter XXXI

1.5 Rotationen XXXV

1.6 Random sampling XXXVI

1.7 Beregning af Rotationsmatrixen XXXVIII

Bilag G - Udpegning af tre punkter XLII

Bilag H - RMS-værdi XLV

Bilag B - Telefonisk kontakt med Per Krat

Igennem projektet har der været utallige kortere telefoniske korrespondancer med Per Krat[1], derfor vælger skriver at skrive et kort referat nedenstående, af ting som Per Krat har udtalt. Det fremføres i punktform og godkendes af Per Krat.

Vigtigste oplysninger:

- Når NKC matcher en sko til et aftryk, ved at sammenligne små unikke slitager[2], som et mærke efter en sten.
- Hvor små unikke slitager, der kan ses i fodaftrykket, er afhængigt af det materiale som aftrykket er placeret i. Der afgives ikke et finere spor end materialet er til. (Skriver: Her menes at materialet kan betragtes som et fraktal, hvor fraktalens geometri, skal være finere end slitagens.)
- For at der med sikkerhed kan siges at en sko matcher et aftryk, skal der kunne matches fire interesseområder.
- Ved spor som er afsat i sne eller lignende, er det et stort problem, at vores gips etc. som lægges ned i sporet, ikke altid er samme temperatur som sneen og derfor kan deformere aftrykket. Det er yderst essentielt, at personen som tager aftrykket, husker at få kølet alle vores materialer ned forinden.
- Hvis det materiale som et aftryk er sat i, er meget fint (som mel eller murerstøv), skal aftrykket hærdes, før vi kan tage gipsaftryk af det. Dette medbringer en risiko for at aftrykket bliver muligvis ødelagt.

[1] Per Krat er sporsikringsekspert hos NKC.
[2] Unikke slitager på skoen, kaldes interesseområder.

Bilag D del 1 - Skanneren

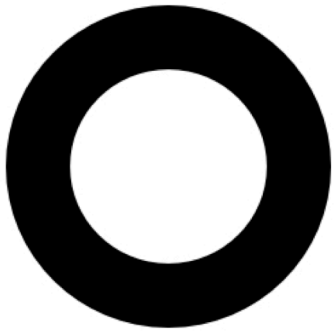
I følgende bilag vil skanneren blive gennemgået. Der vil blive omtalt, hvilken type skanner her er tale om, samt hvordan den indsamler data.

1.1 Teori om skanneren

Den Skanner som er stillet til rådighed er en Handyscan3D, fra Creaform. Det har været svært at finde skanneren på Creaforms egen hjemmeside, men efter skriver lavede et post på Laserscanningforum.com. På forummet antydede flere af brugerne at denne type skanner først startede som et mindre firma, hvor den blev kaldt REV scanner, hvorefter de blev opkøbt af Creaform.

Figur 47 viser et fotografi af Handyscan3D fra Creaform.

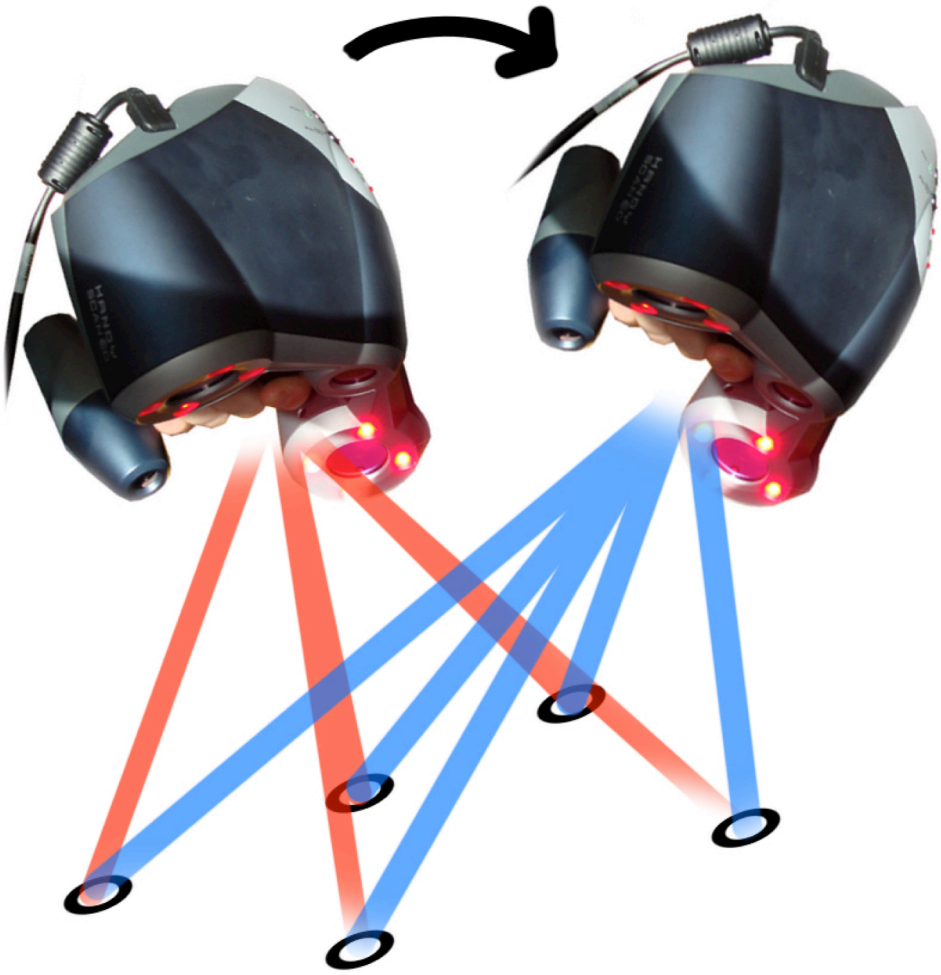
Creaform ændrede herefter navnet på skanneren til Handyscan3D. Det er omtalte type skanner, som Rambøll ejer, hvilken ses på Figur 47.
Det har ikke været muligt at finde nogen form for information, om denne type skanner på Creaform's hjemmeside, hvilket sandsynligvis er grundet at den er fået ny form, men efter signende indeholder den nye model, samme hardware, som den model Rambøll besidder.



Figur 48 viser en skitsering af det target, som anvendes til Handyscan3D. udarbejdet i PixelMator.

Skanneren indsamler data i et relativt koordinatsystem, hvor den altid skal kunne se fem targets[3]. Omtalte type target er et klistermærke, med en reflekterende overflade og en diameter på 1 cm. Det objekt som skal skannes, skal have klistret disse klistermærker rundt om sig, så skanneren altid kan se fem og har en "god geometri[4]" til objektet. Der kan ligeledes sættes targets på objektet, men det skal holdes in mente, at de steder hvor targetet dækker, kan der ikke tages en måling på objektet. Eftersom der ønskes at sammenligne små uregelmæssigheder i sålen og skoaftrykket imellem, er det ikke hensigtsmæssigt at dække noget af objektet.
Det har ikke været muligt at finde nogen egentlig information omkring, hvordan skanneren virker, så derfor er følgende afsnit udelukkende baseret på skrivers test og empiri omkring laserskannere.

[3] Der ses et eksempel på et target på Figur 48.
[4] Med god geometri, menes der at en målingens konfidensellipse bliver mest cirkulær, ved at der er målt i en 90^{o} vinkel til targetet.



Figur 49 skitserer, hvordan skanneren registrer targets. Der skal illustrer den samme skanner som flyttes imens den måler. Udarbejdet i Pixelmater, med fotografi af skanneren, taget af skriver.

På Figur 49 ses princippet af hvordan skannerens position registreres. Det er illustreret ved to positioner, hvor skanneren i position to (blå laser), kender targetpositionen ift. position et (rød laser). Det formodes at de to runde cylindere, som ligger på hver sin side af skanneren, er kameraer. Det skyldes at skanneren kan registrere samtlige targets på en gang, hvilket ikke er muligt ved laser, som kun måler et punkt ad gangen. Tidligere blev det fortalt at den omtalte håndskanner, har haft flere navne. En af de skannere som formodes at være selv samme skanner i en tidligere udgave er EXA Scan, hvor det er beskrevet at instrumentet er udstyret med kameraer (3DScanCo, 2015).
Dermed antages det at et targets position er bestemt ud fra stråleligningerne:

$$x' = \frac{-c \cdot (a_{11}(X - X_0) + a_{21}(Y - Y_0) + a_{31}(Z - Z_0))}{a_{13}(X - X_0) + a_{23}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)}$$

$$y' = \frac{-c \cdot (a_{12}(X - X_0) + a_{22}(Y - Y_0) + a_{32}(Z - Z_0))}{a_{13}(X - X_0) + a_{23}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)}$$

(Brande-Lavridsen, 1993, s. s. 56)

X_0,Y_0,Z_0 – repræsenterer koordinaten til optagecenteret

X,Y,Z – repræsenterer koordinaten til targetet på jorden

x',y' – repræsenterer koordinaten i billedet

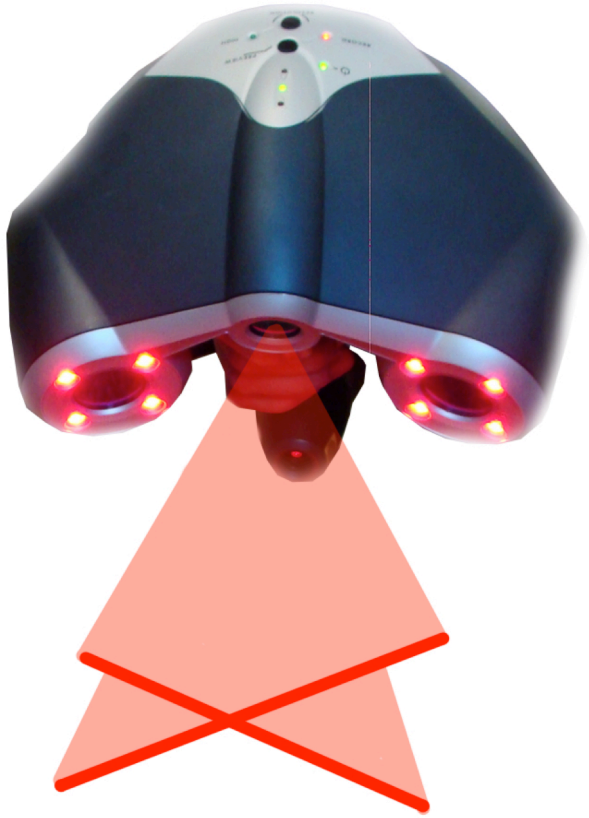
c – repræsenterer kamerakonstanten

a_{ij} – repræsenterer elementerne i 3x3 rotationsmatrixen

Skanneren bruger strålerligningerne til at udføre en realtime beregning af strålebundtsudjævningen, hvor dens indledende værdier til udjævningen kommer fra afstanden i den laser som skanner objekter[5] og en indbygget IMU. Normalt når strålebundtsudjævning skal foretages i fotogrammetrisk sammenhæng, kan det tage et utal af beregningstimer for computeren. Grunden til at skannerens computer kan udføre dette i realtime, er at når strålebundtsudjævning foretages for fotogrammetriske opgaver, kan der være millionvis af strålebundts ligninger, hvor der for skanneren som oftest højest er 5-20 ad gangen.
Dette blev ligeledes testet, hvor det viste sig, at hvis der blev lagt for mange synlige targets ud, kunne computerens RAM ikke følge med. Der blev anvendt en HP Workbook med en i7 2.4 quardcore processor, med 8 GB RAM. Sandsynligvis er det rammene som bukkede under, hvortil det vil være en god investering at opdatere dem til 16 GB.
Når der blev for meget beregning, ville skanneren enten stoppe med at måle, ellers kommer der støj på skanningen.

[5] Dette bliver beskrevet senere i afsnittet.

Dermed kan det give komplikationer, at teoretisk, giver flere targets, flere observationer til strålebundtudjævningen og dermed et bedre resultat, da fejl[6] fil få mindre indflydelse, men lavpraktisk kan computeren ikke følge med beregningsmæssigt, hvis der er for mange targets.

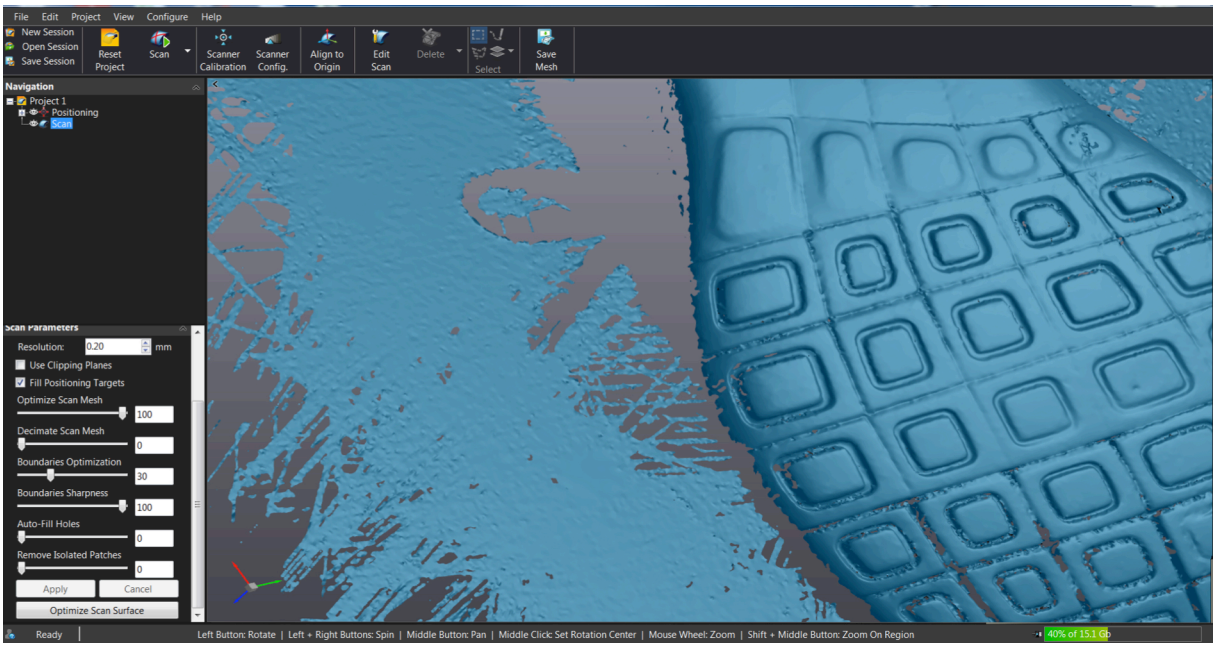


Figur 50 viser et fotografi af håndskanneren, hvor der er skitseret det laserkryds, hvor skannerens målinger opfanges. fotografi taget af skriver, redigeret i PixelMator.

Når skanneren kender sin position, måler den et objekt ved et laserkryds, som ses illustreret på Figur 50. Laserkrydset består af to linjer, som krydser hinanden. Linjerne består af en række laserpunkter, som ligger med en indbyrdes afstand, på ned til 0.2 mm, alt afhængigt af hvad opmåler indstiller skanneren til. Det er optimalt at skanneren har en afstand til objektet, på omkring 30 cm[7]. Hvis afstanden bliver for lang eller kort, vil skanneren fortælle hvad retning den skan bevæges i og kan ikke måle før den er indenfor en acceptabel afstand. Det indikeres ved de tre dioder, som ses på toppen af skanneren. Når dioden i midten lyser grøn, er afstanden

[6] I denne forbindelse, forstås en fejl enten som en fejl i registreringen eller at et target har flyttet sig under målingen.
[7] Skriver målte afstanden, fra laser til objektet, hvor skanneren kunne måle.

passende, lyser den røde diode længst mod laseren, er skannerens afstand for kort til objektet og lyser den tredje diode, er afstanden for lang.
Dermed stryges skanneren om objektet, imens den registrerer målinger, såfremt afstanden er den korrekte afstand og der kan opfanges mindst fem targets. Skanneren kan dermed betragtes som en malingspraydåse, som "sprayer" et objekt. Når objektet er fuldstændigt "malet" er skanningen komplet.
Skanneren skal som tidligere nævnt, altid være koblet til en computer, hvor det kan ses at objektet bygges op i "real-time"[8].



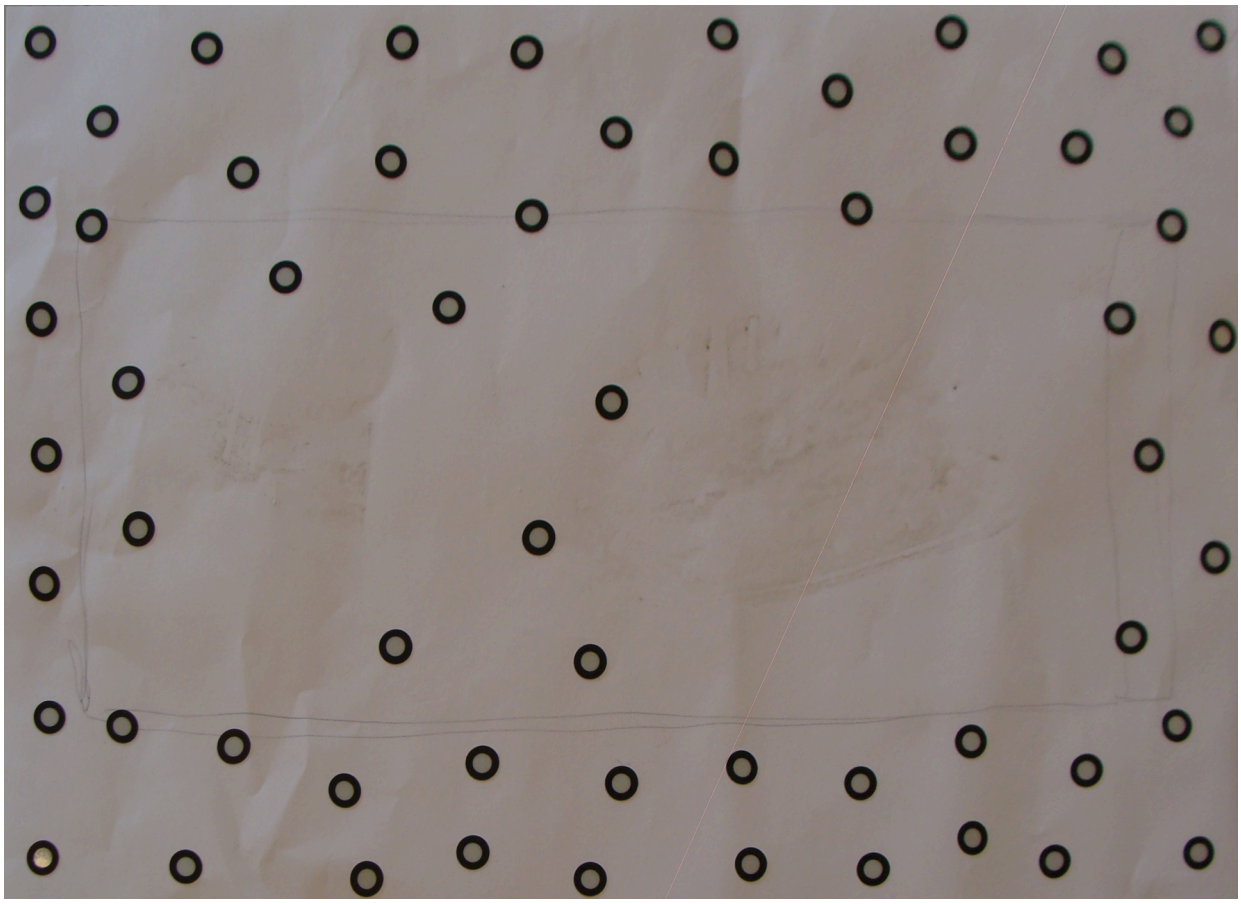
Figur 51 viser et screenshot fra VXelements, hvor en skosål skannes og bygges op under vejs.

Som tidligere nævnt, skal skanneren være tilkoblet en computer, hvor det er computeren som sender informationer til skanneren, om punktgrid og laserstyrke. På Figur 51 ses et screenshot af det omtalte program, kaldet VXelements, hvor en skosål er ved at blive skannet i real-time. Under skrivers tests af skanneren, blev der altid målt i det tættest mulige grid, hvilket skyldes at NKC ønsker så nøjagtig en model som muligt. Det viste sig, at laserstyrken skal justeres, efter hvilket objekt som skannes på. Lyse objekter tilbagekaster relativt meget lys, hvorfor laserstyrken bør indstilles relativt lavt. Hvorimod mørke og matte objekter, tilbagekaster relativt lidt lys, hvorfor laserstyrken skal indstilles relativt høj.

[8] Med real-time, menes der at objektet bygges op, imens det skannes og at det ikke først kan ses som følge af en efterberegning.

Bilag D del 2 - Test af targets

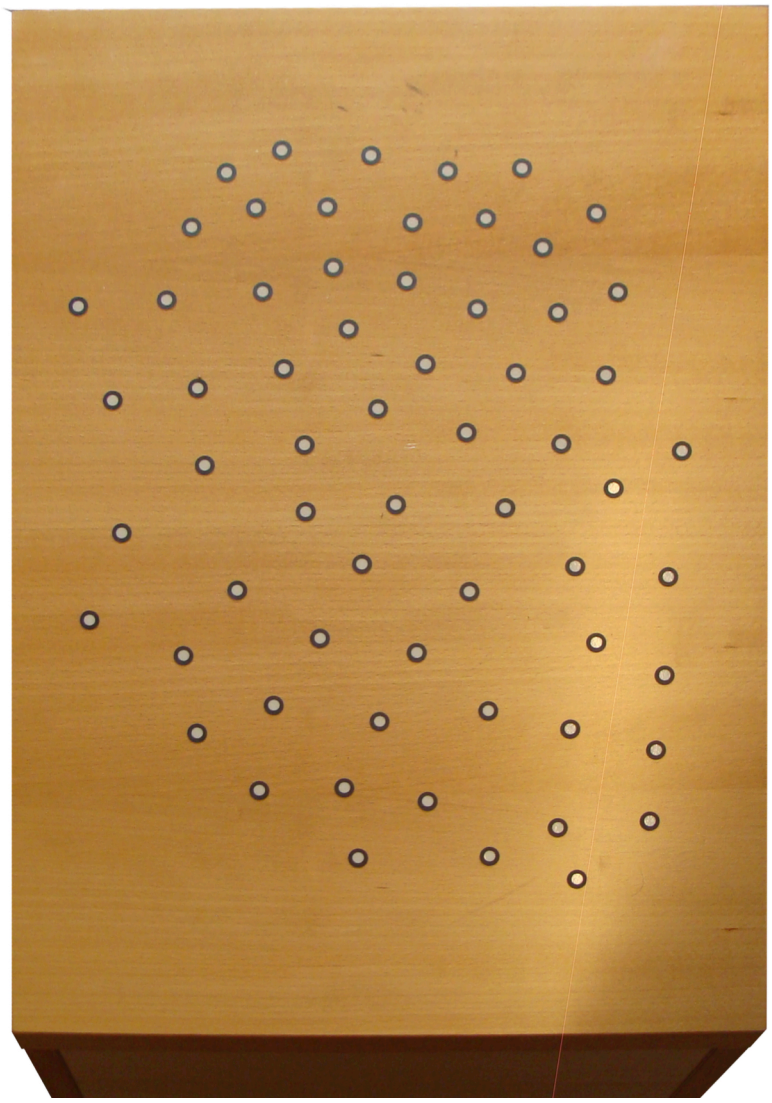
Som nævnt i tidligere afsnit, orienterer skanneren sig ved targets, hvorfor deres placering er essentiel, for at opnå en succesfuld skanning. I følgende afsnit, vil der blive testet på hvordan disse targets placeres mest optimalt i projektets case.



Figur 52 viser et A3 papirark, som har fået tildelt targets.

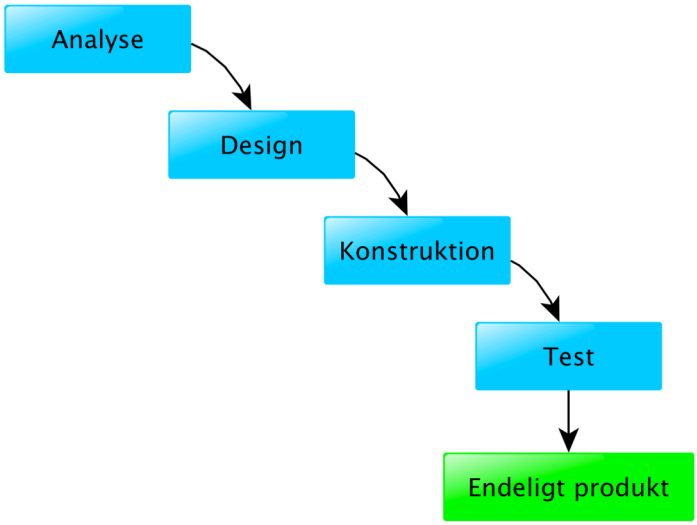
Der blev forsøgt at sprede en række targets på et A3 papirark, som ses illustreret på Figur 52. Der blev lagt en sko i center af papiret omringet af targets, hvor sålen lå opad. Herefter blev der foretaget en skanning, men der opstod hurtigt problemer i form af, at skanneren ikke kunne opfange tilstrækkeligt med targets, fra de forskellige vinkler[9]. Derfor skal det testes, at der bliver lagt flere targets ud.

[9] Dette er forklaret under Bilag D del 1.



Figur 53 viser et fotografi af et bord, som har fået påklistret targets. Taget af skriver.

Der blev forsøgt med at sprede targets ud på et bord, som vist på Figur 53 Fordelen ved denne overflade, er at den er fast og ikke kan krølle, som det før benyttede A3 ark. Samtidigt har bordet en større overflade, hvilket betyder at der kan fordeles flere targets over et større areal. Til denne test, blev skoen igen lagt med sålen opad.
Det viste sig at resultatet blev forbedret markant og at skanneren havde udsigt til targets over det meste af skanningen. Dog viste det sig, at den havde problemer oppe ved skoens hæl, grundet at skoen ligger tilnærmelsesvist som en geometrisk trekant, hvor hælen ligger længst væk fra overfladen. Dermed var problemet, at hælen havde for stor afstand til targets.
Endvidere havde skanneren problemer med at måle i en vinkel til sålen, grundet dårlig geometri til targets. Dermed ønsker Rambøll at få konstrueret en unik anordning med targets, hvor skoen kan skannes.



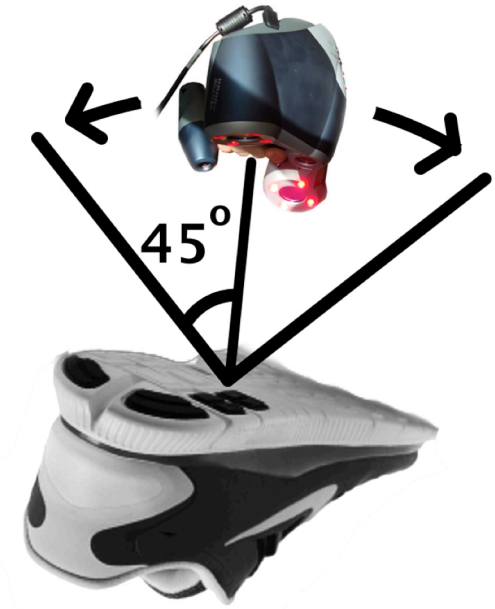
Figur 54 viser den generelle projektmodel, omskrevet af skriver. Udarbejdet i yED. (Rie Jepsen, 2003)

Til at udvikle anordningen, anvendes den generelle projektmodel, af Rie Jepsen, omskrevet og videre udviklet af skriver (Rie Jepsen, 2003). Normalvis forløber den generelle projektmodel, med et itererende forløb, som leder til bage til det skridt før, hvor skriver har valgt et vandfaldsforløb, som gennemløber hele modellen og leder tilbage til det første "step", som ses på Figur 54.

I flowdiagrammet foretages der først en analyse af problemet. Det vides at konstruktionen skal indeholde targets, som medvirker til, at et objekt kan skannes med en spids vinkel til objektet, hvor der stadig er god geometri til targets.
Efterfølgende bruges analysen til at finde et design. Dette step indebærer at finde nogle forskellige konstruktioner, som vil løse problemet, for så at analysere sig frem til det design med størst succesrate.
Dette leder frem til den egentlige konstruktion af en prototype. Efterfølgende testes der på prototypen, hvilket enten leder frem til at prototypen laves som et endeligt produkt, eller leder tilbage til at analysere på prototypens problemer, og at iterere diagrammet, indtil alle problemer er løst for prototypen.

1.1.2 Analyse

Det vides at anordningen skal kunne have en sko, hvor der fra skanneren altid skal være god geometri til targets, når sålen skannes. Når sålen skannes bevæges skanneren 45^{o} rundt, ift. skannerens ortogonale position til sålen, som det er illustreret på Figur 55.



Figur 55 illustrerer hvordan skosålen skannes, hvor skanneren bevæges i en 45 graders vinkel, ift. Skannerens ortogonale position til sålen. Fotografier taget af skriver, redigeret i PixelMator.

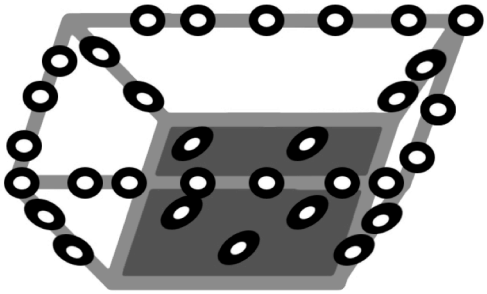
Når skanneren har en skrå vinkel til sålen, får den ligeledes dårlig geometri til de targets som var spredt på bordpladen. Det kan betyde at skanneren ikke kan registrere targets. Derfor skal der konstrueres en opsætning, hvor der kan være targets i en ortogonal vinkel til skanneren, når der er en 45^{o} vinkel til sålen.

1.1.3 Design

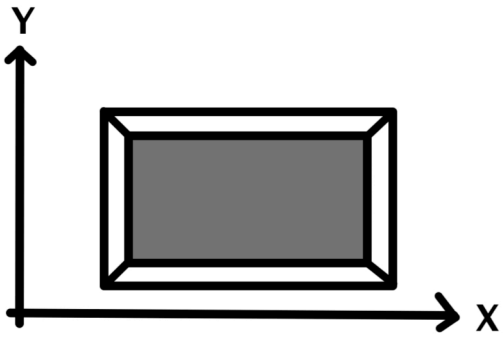
Som tidligere nævnt, skal der konstrueres en anordning, hvor skoen kan isættes og have god geometri til targets, når skanneren befinder sig ortogonalt til sålen, ned til en 45^{o} vinkel. Samtidigt må de sider i designet, hvor targets påsættes, ikke skærme for skannerens udsigt til sålen.

Design 1

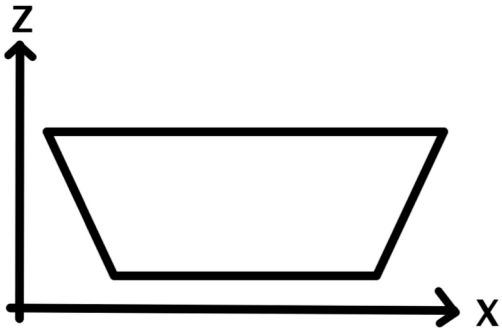
Til design af anordningen, kunne der konstrueres et stativ, som består af en bundplade, med targets og et metalskellet op langs de fire kanter, hvor skelettet har påklistret targets, som det ses illustreret på **Figur 56**.



Figur 56 skitserer det første design, som blev tegnet, til en target anordning. Redigeret i PixelMator.



Figur 57 viser en skitsering af skanningsanordningen, set fra oven. Redigeret i PixelMator.

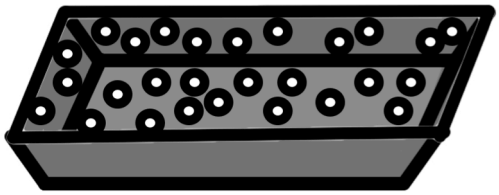


Figur 58 viser en skitsering af skanningsanordningen, set fra siden. Redigeret i PixelMator.

Der ses tegninger af anordninger, fra oven på Figur 57 og fra siden på Figur 58.
Det ses på Figur 57 at der er en plade i bunden, hvor skoen kan lægge med sålen opad. Der skal placeres targets i bunden og op ad metalskelettets sider, som fremstår mere tydelige på Figur 58. Efter som det er et skellet, og ikke plader, er det muligt at skanne igennem siderne og dermed skanne sålen fra alle vinkler. På Figur 56 fremgår targets overdimensionerede og fortegnede. Ved en egentlig konstruktion, skal skellettet bare være mere end 1cm x 1cm tykke, for at targets ikke stikker ud over skellettet.

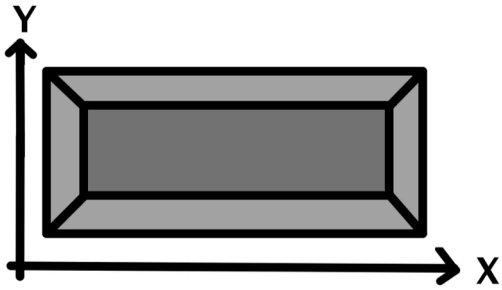
Design 2

Til designanordning to, er ideen at der skal udformes en kasse med samme geometri som i design 1, men med kortere lukkede sider, så siderne ikke bliver højere end sålen, når skoen ligger i kassen. Dette ses skitseret på Figur 59.



Figur 59 skitserer det andet design, som blev tegnet, til en target anordning. Redigeret i PixelMator.

Det ses at anordningen har lukkede sider, med targets klistret på siderne og i den lukkede bund. Ideen er at siderne ikke skærmer for skanneren, grundet deres lave højde, hvor sålen tilnærmelsesvist flugter med overkanten.



Figur 60 viser en skitsering af anden skanningsanordning, set fra oven. Redigeret i PixelMator.

Figur 61 viser en skitsering af anden skanningsanordning, set fra siden. Redigeret i PixelMator.

På Figur 60 og Figur 61 ses anordningen hhv. fra siden og oven.

Valg af design til prototype

Fordelen ved design 1, er at der er mulighed for at skanne igennem siderne, dette er dog formentligt ikke et problem i anordning 2, eftersom det ikke er nødvendigt, at lave siderne så høje, at de kommer til at skærme for sålen. Det er en fordel, at der er en større overflade at fordele targets over i anordning 2, eftersom de kan fordeles over siderne. Det kan blive et problem i anordning 1, at der ikke kan påklistres nok targets. Hvorfor der kan forekomme støj eller at skanneren ikke kan orientere sig selv omkring midten, grundet manglende targets. Dette blev diskuteret på et møde hos Rambøll, hvor skriver og afdelingschef Lau Jensen, blev enige om at konstruere en prototype efter model 2.

1.1.4 Prototype

Før det endelige produkt kan konstrueres, skal der designes en prototype, med grundlag i teorien fra afsnittet om design. Det er vigtigt at kreere en prototype, som testes, for at sikre at det endelige produkt virker efter hensigten. Prototypen kan anses som teorien, der bringes ud i den virkelige verden. Herefter vil det testes om teorien holder stik.

Det ønskes at den endelige anordning skal konstrueres i aluminium, da dette har relativt svært ved at deformere. Det er ligeledes ikke følsomt overfor kulde eller vand.
Til konstruering af prototypen, blev der benyttet pap. Dette skyldes at pap er nemt at arbejde i og at det er brugbart til at teste designet, trods det ikke vil være et brugbart materiale at medbringe i marken, eftersom det er et følsomt materiale.

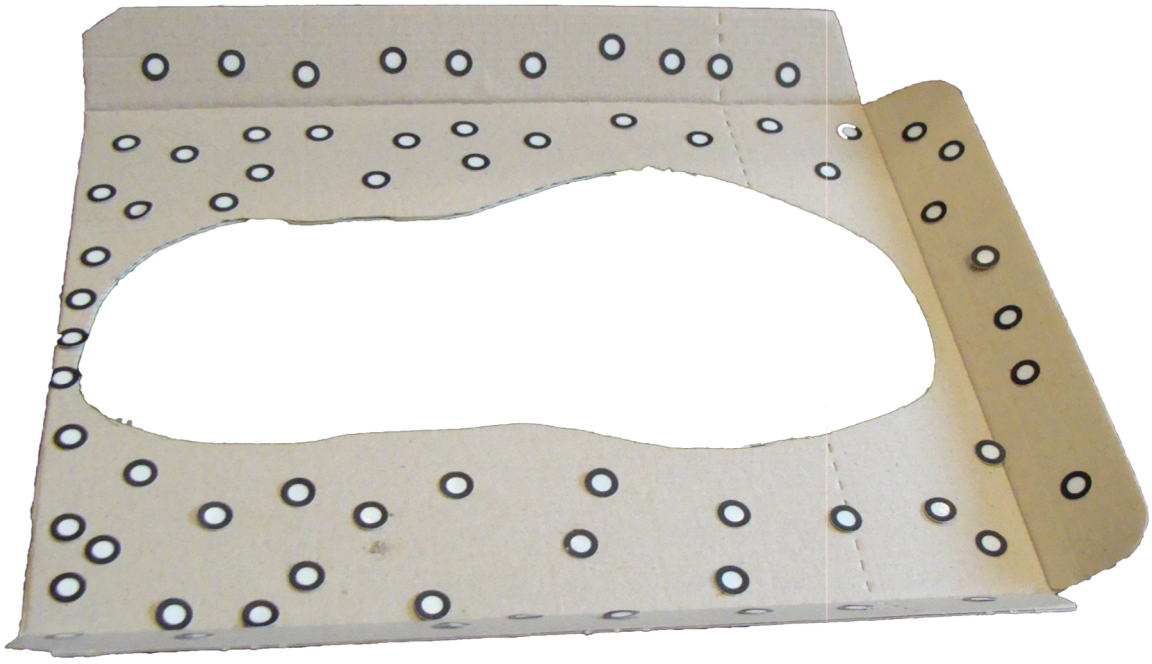
Figur 62 viser et fotografi af prototypen, taget af skriver. Redigeret i PixelMator.

Prototypen er vist på Figur 62, som blev fabrikeret af skriver og afdelingschef Lau Jensen. Selve prototypen er meget ustabil og følsom overfor vindstød, hvorfor den skal testes indenfor, under følsomme omstændigheder. Dette ses ikke som et problem, at teste en prototype, som har følsomme faktorer, grundet at dette ikke er et problem ved den endelige model i aluminium, men at prototypens geometriske konstruktion og konstellation af targets, stadig kan testes.

Prototypen er lavet ud af to papkasser sammensat med tape og til-klisteret i targets fra CreaWorks.

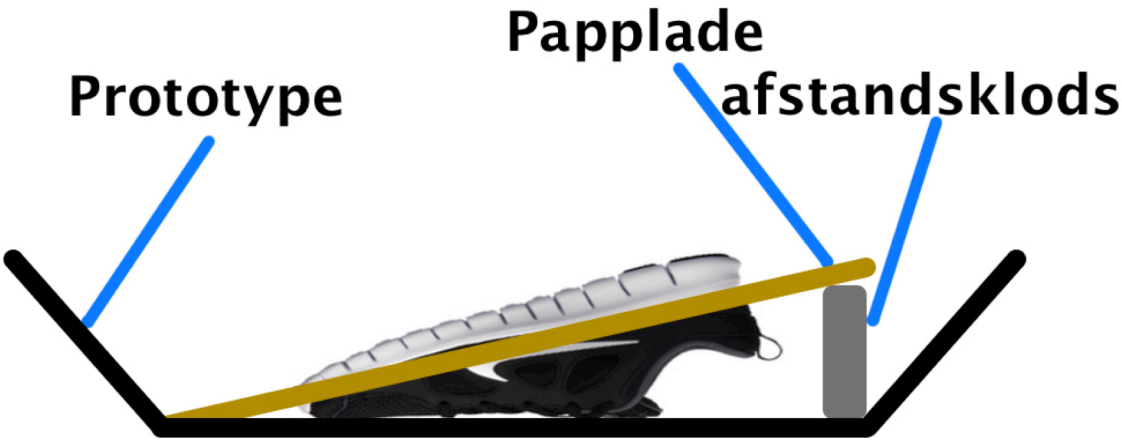
1.1.5 Test af prototypen

Til test af prototypen, blev skrivers sko lagt ned i prototypen. Der blev ikke klistret yderligere targets på skoen. Under skanningen viste det sig at skanneren ikke havde problemer med at finde sig selv, over det meste af objektet. Det viste sig yderligere, at der ikke var problemer, i at skanne med en skråvinkel til objektet, da skanneren nu kan orientere sig vha. de targets, som er beliggende på prototypens side.
Det viste sig dog, at der kan forekomme problemer ved at skanne skoen på hælen, eftersom hælen er hævet ift. resten af modellen. Dette medfører at der kommer for stor afstand til de targets i bunden af prototypen. Derfor fører test-fasen tilbage til analyse-fasen, som illustreret på Figur 63.
For at gøre læseligheden mere gennemsigtig, vælger skriver kort at opsummere, hvordan forbedringerne til prototyoen blev udført:



Figur 63 viser et fotografi af en papplade tilklistret i targets, med et fodformet hul.

For at targets kunne komme i højde med skoen, blev der konstrueret en plade med et skoformet hul i. Der ses et fotografi af pappladen på Figur 63 Denne papplade skal nedsættes i prototypen, med en afstandsklods i den ene ende af pladen, så den følger skoens geometri.



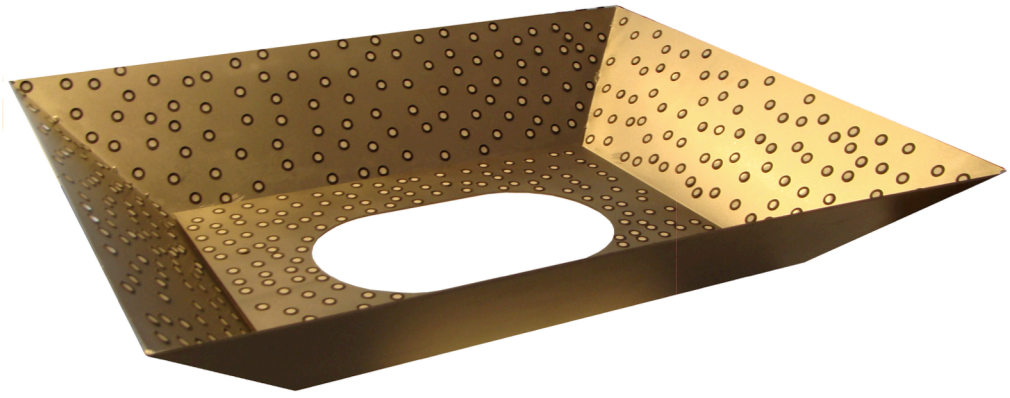
Figur 64 skitserer en sko som ligger i prototypen, hvor en papplade i ført i niveau med skoen, vha. en afstandsklods. Skitseringen er foretaget i PixelMator, med et foto fra (skodksales, 2015).

På Figur 64 ses princippet bag at pappladen lægges ned i prototypen, hvor afstandsklodsen så sikrer at pappladen kommer i plan med sålen. Pappladen bruges kun til prototypen og vil blive konstrueret i aluminium til den endelige model. Grundet at sko har forskellig form og størrelser skal pappladen til den endelige model, konstrueres i flere eksemplarer, hvor hullet er i forskellig størrelse. Ligeledes skal der bygges afstandsklodser i forskellig højde, for at pladen kan flugte med sålen, i alle forskellige typer af sko.

Det viste sig, at skanneren ikke havde problemer med at bestemme sin egen position, på nogen steder af objektet, efter pappladen blev isat.
Efter tre uafhængige skanninger, hvor skanneren ikke havde problemer med at orientere sig selv og skannede sålen med høj nøjagtighed uden støj, anses teorien om prototypens geometri, som værende sand. Derfor blev det bestemt af Lau Jensen, at prototypen skal produceres i aluminium som et endeligt design.

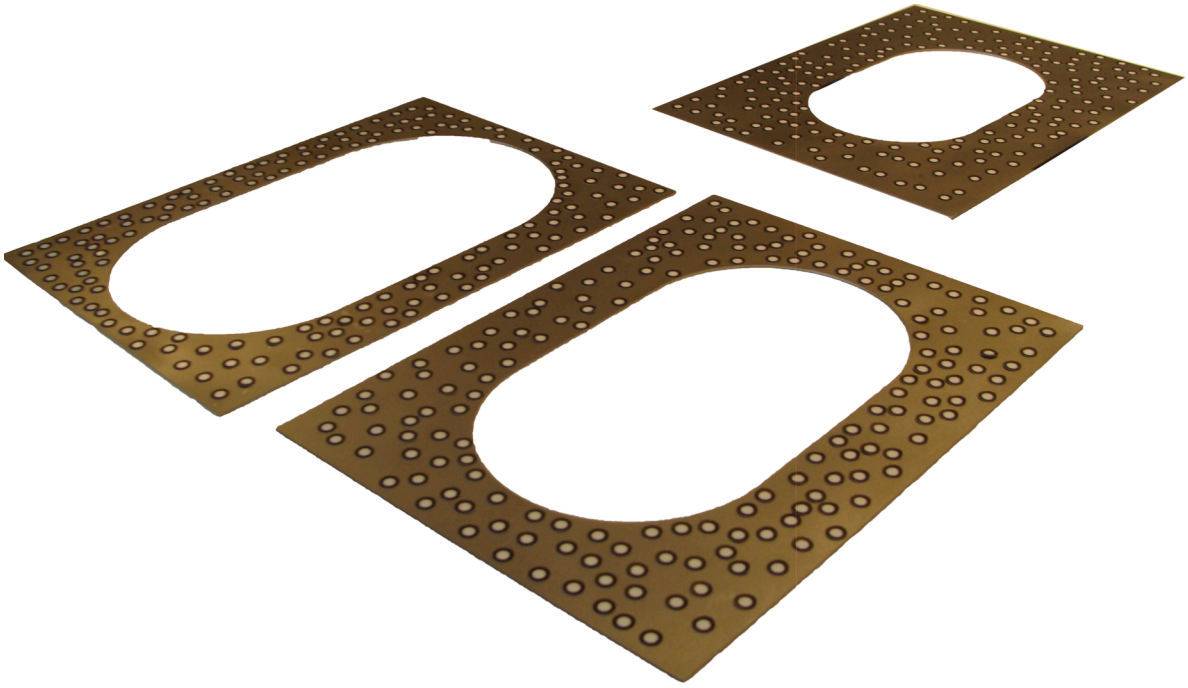
1.1.6 Endeligt produkt

Lau Jensen fik en smed til at udføre konstruktionen af det endelige produkt, jf. geometrien fra prototypen.



Figur 65 viser et fotografi af den endelige model, taget af skriver. Redigeret i PixelMator.

Det endelige produkt ses på Figur 65. Konstruktionen er relativt tung, men dette anses ikke som et problem, eftersom den skal være stationær.



Figur 66 viser et fotografi af de tre bundplader, til den endelige model. Fotografiet er taget af skriver. Redigeret i PixelMator.

Bundpladen kan skiftes ud med en af de to andre bundplader. Bundpladerne skiftes ud, alt efter hvor stor skoen er, som ønskes skannet. De tre bundplader ses illustreret på Figur 66.

Figur 67 viser et screenshot af en skannet sko, taget fra VXelements.

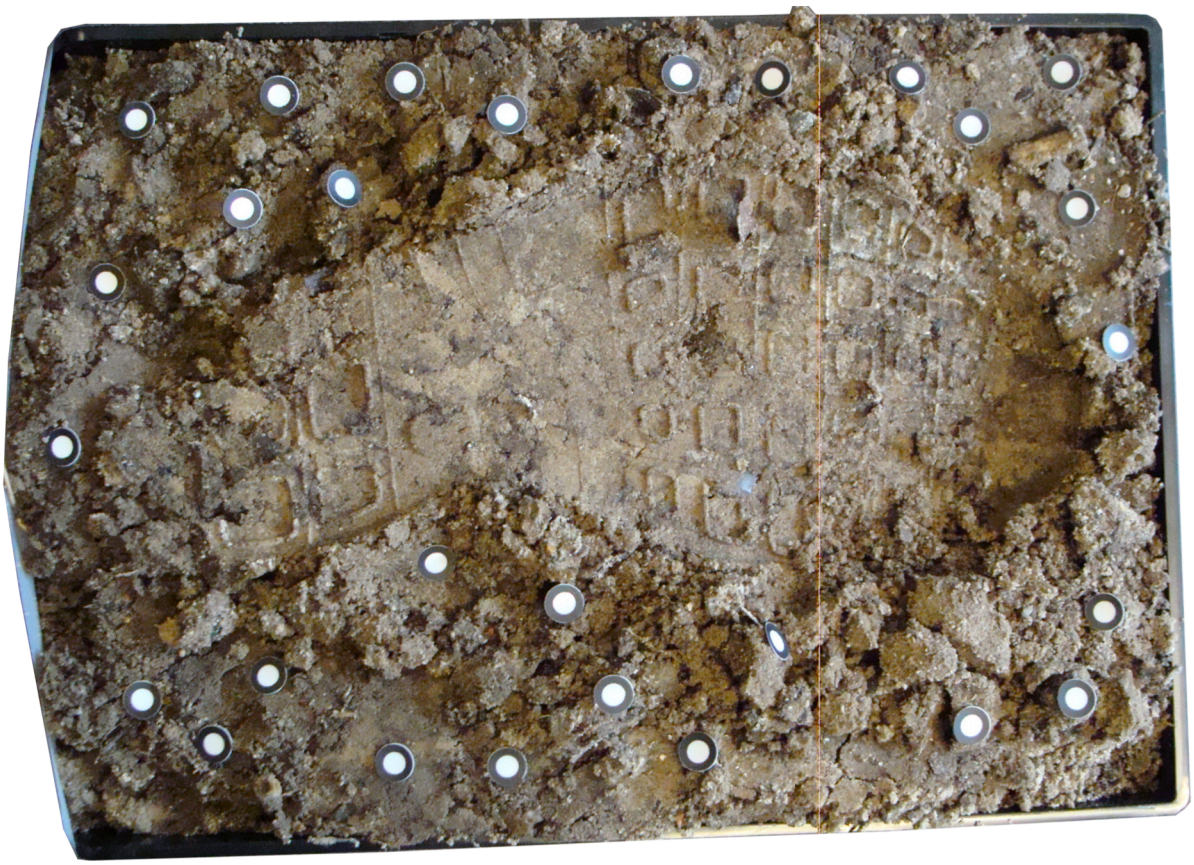
I Figur 67 ses rå-modellen, hvilket betyder at den ikke er blevet renset for støj. Før en sammenligning med et skoaftryk, vil alt andet end sålen blive klippet ud af modellen, men der vil ikke blive renset støj ved en automatisk metode, da dette medfører at modellen muligvis vil ændre sig geometrisk. Derfor er det vigtigt, at skanningen er sket af høj kvalitet, da støj vil påvirke sammenligningen på negativ vis. Visuelt næste skridt vil være, at udvikle en arbejdsgang til at skanne et skoaftryk.

1.2 Skanning af fodspor i jord

I følgende afsnit, vil der forsøges at finde en metode til at skanne et fodaftryk. Generelt kan et skoaftryk betragtes som et skoaftryk, uanset hvilket materiale det er afsat i. Der kan forekomme komplikationer, ved at skanne forskellige materialer, hvilket ikke vil blive taget i betragtning i følgende afsnit. Der vil udelukkende blive forsøgt med skanning af et fodspor i jord.

Figur 68 viser et fotografi af et fodaftryk i jord. Redigeret i PixelMator.

På Rambøll Oil & Gas's kontor i Esbjerg, blev der taget en brevbakke, som blev fyldt med jord. Skriver afsatte sit fodaftryk i jorden, som ses på Figur 68 i form af et fotografi.



Figur 69 viser et fotografi af et fodaftryk i jord, hvor der er spredt targets rundtom. Redigeret i PixelMator.

Som tidligere nævnt, orienteres skanneren ved brug af targets. Derfor skal der spredes targets rundt om skoaftrykket, hvilket ses gjort på Figur 69. Dette blev skannet, hvoraf det viste sig at skanneren ikke havde problemer med at orientere sig, eller skanne objektet, hvilket betyder at placeringen af targets er tilfredsstillende. Dog er det besværligt at sprede targets ud hver gang og de kan ikke klistre til jord, hvorfor der er fare for at de blæser væk. Derfor blev det forsøgt at lægge pladen fra skoskanningsanordningen ned over fodsporet.

Figur 70 viser et fotografi af et fodaftryk i jord, hvor der er lagt en papplade med targets nedover. Redigeret i PixelMator.

på Figur 70 ses fodaftrykket i jorden, hvor pappladen fra prototypen, er lagt nedover. Der blev forsøgt med tre uafhængige skanninger, hvor der ikke var komplikationer undervejs ved skanningerne. Derfor formodes dette at være en anvendelig arbejdsgang, til skanning af skoaftryk.

Bilag E - ICP-algoritmens hierakiske opbygning

Følgende bilag, vil forsøge at give et overblik vedr. hvad der forstås ved en ICP algoritme, hvordan den opbygges, samt hvilke ting som skriver fandt ud af undervejs angående opbygningen af projektets ICP-algoritme.

ICP er en forkortelse for *Iterative Closest Point* og anvendes i form af en algoritme. ICP-algoritmen bruges til at sammensætte to datamængder, så de bliver sammensat i deres overlap til et samlet tredimensionelt objekt. Basalt set er alle ICP-algoritmer programmeret til at danne en tredimensionel model, men den interne programmering anvender forskellige matematiske principper, hvor følgende bilag vil forsøge at klarlægge en hovedstruktur i disse principper, med henblik på at få struktureret gældende projekts programmering.

ICP-algoritmens transformation er udelukkende baseret på punktskyens indbyrdes geometri og i enkelte tilfælde punkternes farvekode (dette er dog ikke standarden). Dermed anvender beskrevne metode ikke targets. Metoden bruges som oftest på data fra laserskanner, hvor der ikke er anvendt targets, hvilket også er grunden til at skriver vælger at bruge gældende metode i projektet, for at transformere de to punktskyer sammen. (Szymon Rusinkiewicz)

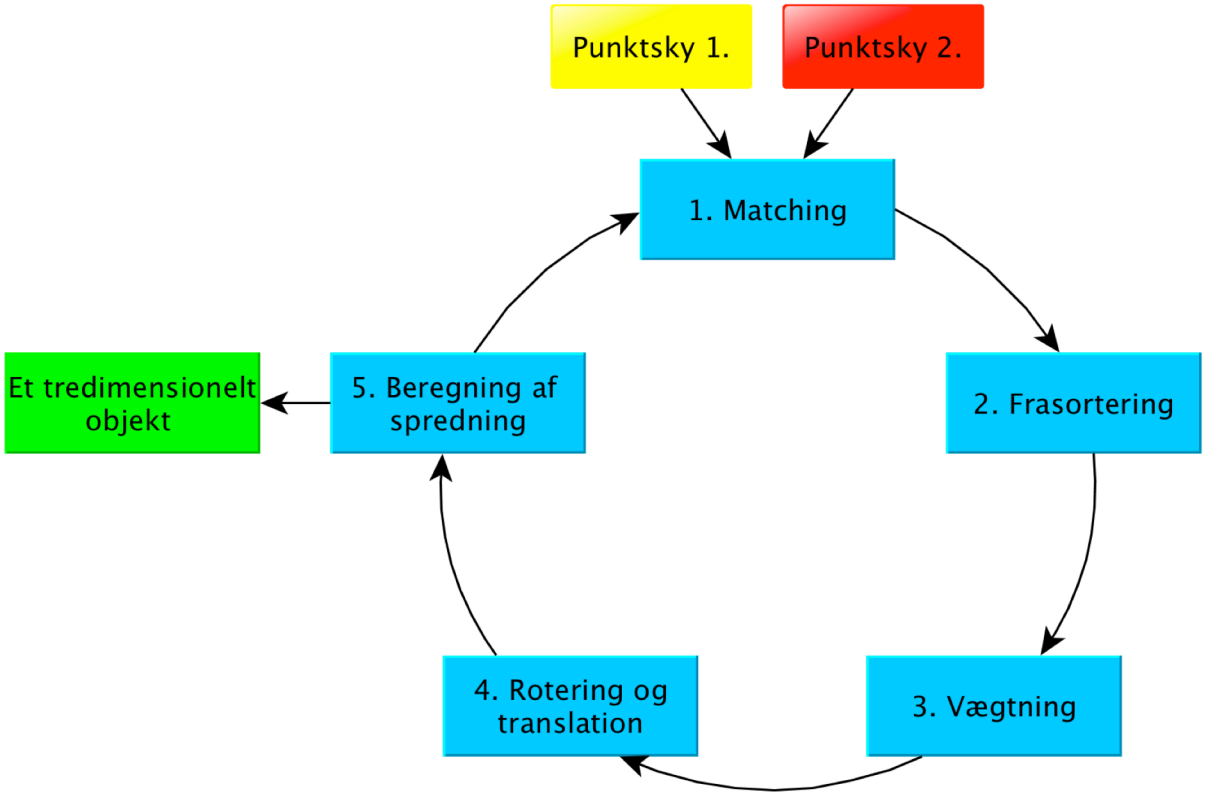
ICP-algoritmen starter ved at punktskyerne orienteres relativt ift. hinanden, for at hjælpe metoden til at have et godt udgangspunkt for transformationen. For at der kan gives en løsning til NKC, som passer bedst muligt til deres problemstilling, har skriver valgt at proggrammere sin egen ICP-algoritme, hvortil der findes en uddybning af, under Bilag D. I følgende bilag, vil skriver, uddybe de overordnede ICP-algoritmer, som skal give en forståelse for ICP-algoritmens hovedtræk og hjælpe til at strukturere skrivers egen programmering. Hovedtrækkene inkludere ikke den relative orientering, som skal hjælpe ICP-algoritmen med et ”godt” udgangspunkt.

1.3 De fem steps

Som nævnt i indledningen til gældende bilag, arbejder ICP-algoritmen efter en overordnet struktur, som er:

- Matching – korrelerende punkter findes
- Frasortering – Der frasorteres punkter, som ligger udenfor objektet
- Vægtning – punkterne vægtes, efter afstanden til deres korrelerende punkt
- Rotering og translation – den ene punktsky roteres og translateres over i den anden
- Beregning af spredning – der beregnes et udtryk for, hvor godt skyerne passer sammen

(Colas, 2011)

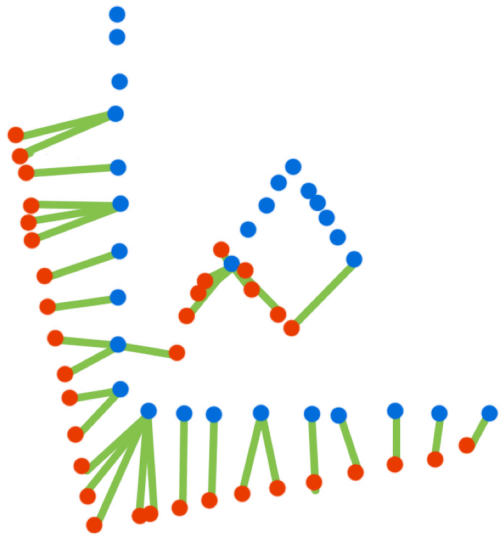


Figur 71 viser et flowdiagram for den generelle hierarkiske opbygning, for ICP-algoritmer. Udarbejdet i yED.

På Figur 71 ses et flowdiagram for de fem steps. Det ses at step 5, leder mod to steps. Her menes der, at hvis spredningen, de to modeller imellem, når en tilpas lille størrelse, afbrydes funktionen og anses som orienteret. Såfremt spredningen ikke har opnået en tilpas lille størrelse, loopes funktionen igen, fra step 5 til step 1. Disse fem steps, vil blive uddybet i følgende bilag. Der vil ikke blive gennemgået formler, for hvordan det udregnes, kun strukturen. Der vil blive gennemgået de formler, som er anvendt i projektets egen ICP-algoritme i Bilag F.

1. Matching

Første skridt er at finde ud af, hvordan punkterne ligger ift. hinanden. Dette gøres for at vide hvordan rotationsmatrixen skal opbygges og til at beregne, hvor meget den ene model skal roteres, for at få den mindste indbyrdes afstand til den anden model.



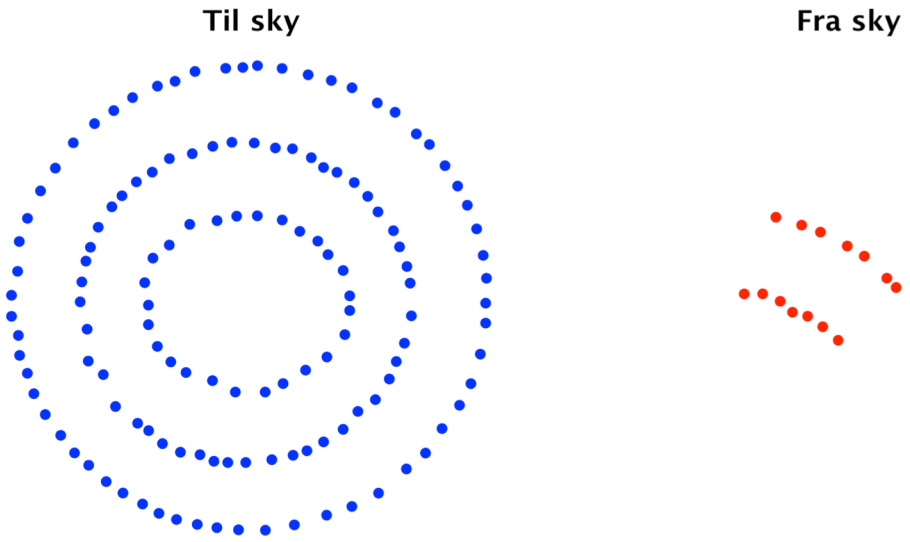
Figur 72 illustrerer to datasæt, hvor de grønne streger, repræsentere den direkte afstand, til nærmeste punkt i modstridende datasky. Redigeret i PixelMator.

På Figur 72 ses to dårligt orienterede datasæt med deres indbyrdes afstand fra det ene datasæt, til det andet. Det er ud af disse værdier at rotationsmatrixen beregnes. I Figurn er der vist at flere af punkterne i fra-skyen[10] kan være tilhørende det samme punkt i til-skyen[11]. I nogle tilfælde er ICP-algoritmer opbygget på en sådan måde, at et punkt i til-skyen-kun kan være korrelerende med et punkt i fra-skyen, men i projektets tilfælde passer punktskyerne ikke 1:1, hvorfor de korrelerende punkter ligeledes ikke passer 1:1.

[10] Fra-skyen er en betegnelse for den sky, som roteres over i den anden.
[11] Til-skyen er den sky, hvis position er låst fast, hvor andre skyer drejes over i.

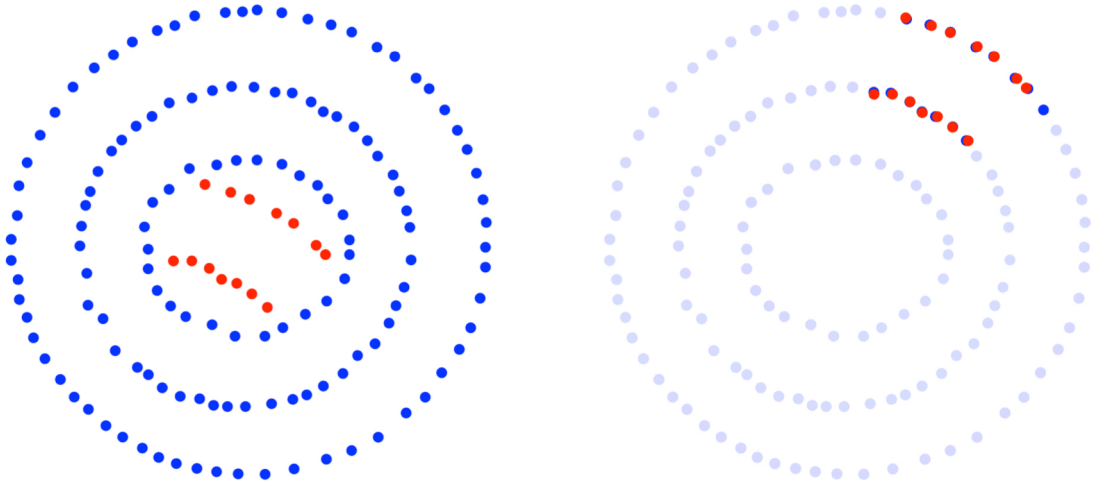
2. Frasortering

Når der er fundet korrelerende punkter, skal der frasorteres punkter. Som tidligere nævnt, passer datasætter ikke 1:1, ligeledes vil datasættene sandsynligvis heller ikke dække et lige stort område, da udeliggende data frasorteres manuelt i skannerens software VXelements[12].Dette illustreres mest visuelt ved følgende **eksempel**:



Figur 73 skitserer en til-sky (blå) og en fra-sky (rød). Redigeret i PixelMator.

Figur 73 viser to punktskyer, hvor den blå til-sky dækker hele området af et objekt, hvor den røde er fra-skyen og kun dækker et delområde af objektet. Det ses at fra-skyen passer med et område oppe i højre hjørne af til-skyen.



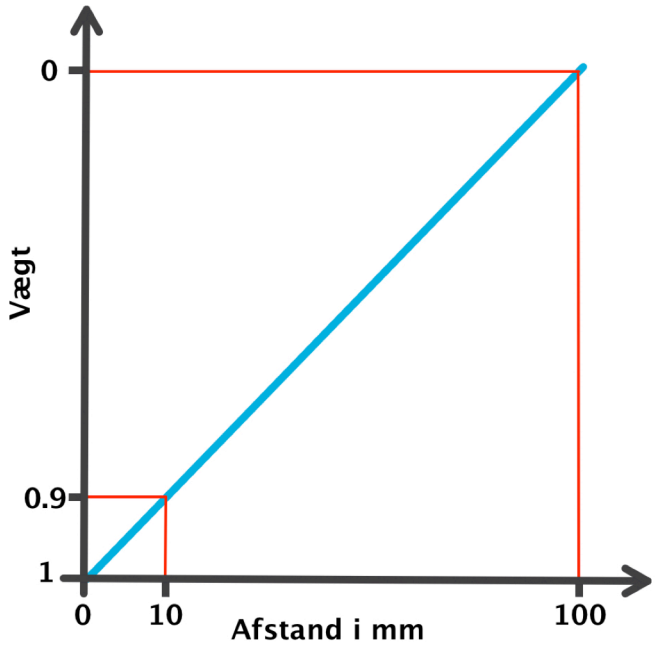
Figur 74 skitserer to eksempler på hvordan en fra-sky orienteres til en til-sky. I eksemplet til venstre, bruges alle punkterne i modellen, hvor der frasorteres punkter, i eksemplet til venstre. Redigeret i PixelMator.

[12] Sædvanligvis frasorterer operatøren udeliggende data, direkte i VXelements. Dog kan denne proces ligeledes foretages efterfølgende i et opensource softwareprogram, som MeshLab.

Når skyerne skal orienteres, er det vigtigt at frasortere udeliggende data. Orienteringen beregnes ved Mindste-kvadraters princip, hvorfor fra-skyen vil blive orienteret det sted i til-skyen, hvor kvadraterne er mindst. På Figur 74skitseres dette med to eksempler. I eksemplet til venstre, er der ikke frasorteret i punkterne, hvilket medfører at alle punkterne indgår i beregningen. Dette medfører at fra-skyen vil blive nogenlunde centreret i til-skyen, grundet at alle punkternes afstand indgår i beregningen. I eksemplet til højre, er der frasorteret punkter på baggrund af punktafstanden. Som sagt skal modellen først orienteres relativt, hvor den relative orienterings nøjagtighed så danner basis for tolerencen for frasortering af punkter. Dermed menes der, at hvis den relative orientering er foretaget, så operatøren er sikker på at punkterne passer indenfor 1 cm, skal dette ligeledes være værdien til afstanden, for frasortering af punkter. For hvert loop, skal denne afstand blive mindre, da det formodes at datasættet ligger kontinuert bedre for hver iteration. Det ses at der er et enkelt udeliggende punkt i til-skyen, dette vil dog blive udvægtet i næste step.

3. Vægtning

I forrige step, blev udefraliggende punkter frasorteret. Det blev illustreret, at der godt kan være enkelte punkter, som stadig ikke ligger indenfor datasættet. Da det ikke vides, hvilke punkter der hører sammen og at dette ikke er noget, som kan gøres manuelt over punktskyer, med flere tusinde punkter, foretages der en udvægtning. Udvægtningen medfører at de punkter som ligger udenfor datasættet, vil få mindre indflydelse på orienteringen. Derfor skal der opsættes et vægtningsprincip, hvor den maksimale afstand får en meget lille vægt, og den mindste får en meget stor vægt.



Figur 75 skitserer en graf for hvordan vægtningen skal beregnes. Redigeret i PixelMator.

Figur 75 skitserer en graf for vægtningsprincippet. I dette eksemplel er den maksimale afstand mellem korellerende punkter 100 mm. Punktet med den maksimale afstand, til et korrellerende punkt, skal have vægten 0. I dette princip kan man forestille sig, at de fleste punkter ligger indenfor en afstand af 10 mm, hvilket betyder at deres generelle vægt vil være mellem 1 og 0.9, hvor punkter som ligger udenfor datasættet, f.eks 70 mm, vil få en lille vægt, på 0.3.
Dette princip vil ligeledes forbedres for hvert loop, da punkterne vil blive bedre orienteret, efter hvert loop, hvorfor den generelle punktafstand, vil blive mindre og mindre, hvor enkelte udeliggende punkter, vil få mindre indflydelse for hvert loop, eftersom der frasorteres kontinuert flere udeliggende punkter i step 2.
Nu er der frasorteret og vægtet i punkterne og deres afstande, hvoraf afstandende nu skal bruges til beregning af orienteringen

4. Rotering og transformation

Til beregningen af rotationen anvendes rotationsmatrixen, for rotationerne omkring de tre respektive akser: ω, ϕ og κ.

Værdierne til rotationsmatrixen beregnes ud fra mindste-kvadraters princip, med vægtning fra forrige afsnit. Rotationen vil dermed blive beregnet på baggrund af den tilplacering, hvor kvadraterne vil få en minimal størrelse. Rotationen skal multipliceres på hele datasættet, inklusiv de frasorterede punkter.
Efter dette er sket, vil transformationen, ligeledes beregnes på baggrund af hvor fra-skyen skal flyttes til, for at den gennemsnitlige punktafstand til til-skyen, vil blive minimal.
Transformationen laves ligeledes over hele datasætter, inklusiv de frasorterede punkter.

Datasættet er nu drejet og transformeret.

5. Beregning af spredning

I gældende step, skal der beregnes en form for en spredning, der skal fortælle om hvor godt datasættene er orienteret ift. hinanden. Det er ligeledes dette step, som skal stoppe loopene, hvis den ønskede nøjagtighed af orienteringen er opnået. Hvis den ønskede nøjagtighed ikke er opnået, loopes alle steps'ene igen, hvor der matches punkter på ny, for at se om step 4, har medført at nye punkter er blevet korellerende, hvorfor at de frasorterede punkter tages med i de nye beregninger. Tolerrencen for hvornår punkter frasorteres, skal ligeledes blive mindre, da det antages at datasættet bliver bedre orienteret, kontinuert med at processerne bliver loopet.

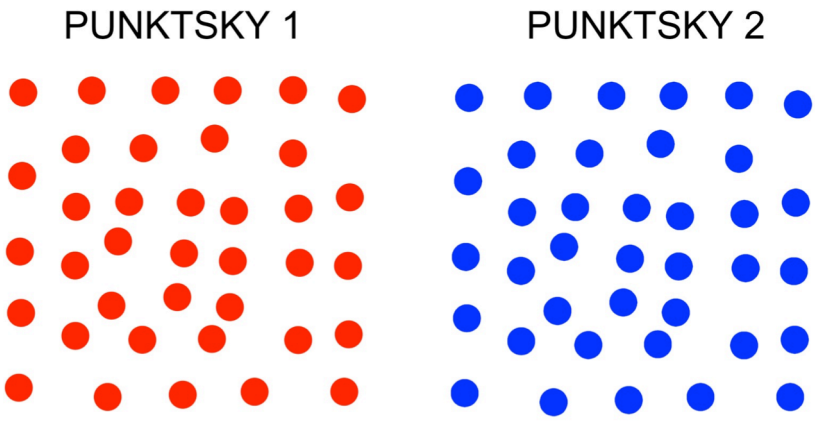
Bilag F - Erfaringer af ICP-algoritmens programmering

Når der programmeres, er det vigtigt at programmøren fra start, gør sig klart, hvordan et script, skal komme fra input til output. Dette sikrer kvaliteten af outputtet, samt at der arbejdes hierarkisk, for at programmeringen forløber mest effektivt. Når der arbejdes med et nyt emne, betyder dette at der opstilles teorier, som efterfølgende afprøves. Disse teorier viser sig nogle gange at være usande, hvilket resulterer i erfaringer om hvordan teorien reelt er.
I følgende bilag, vil der forsøges at give en forklaring på hvilke erfaringer, skriver gjorde sig under programmeringen. Erfaringerne vil blive opstillet i en række mindre afsnit, som ikke umilddelbart har læseligt sammenhæng.

1.4 Frasortering af udeliggende punkter

En af de ting, som skriver fandt ud af, var at det var nødvendigt at frasortere i punkterne. Problemet var, at hvis alle punkterne indgår, bliver mange punkter tolket som korrelerende, på trods af, at dette ikke er realiteten. Dette kommer specielt til udtryk, hvis der er et "datahul[13]" i en af modellerne.

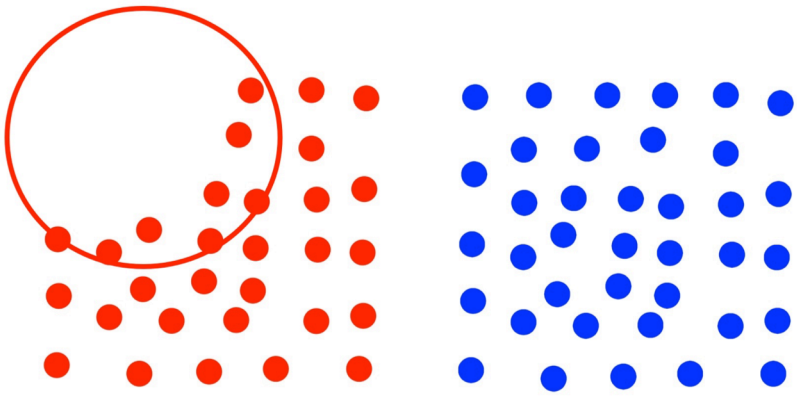
Dette kan illustreres med følgende eksempel:



Figur 76 skitserer to punktskyer. Redigeret i PixelMator.

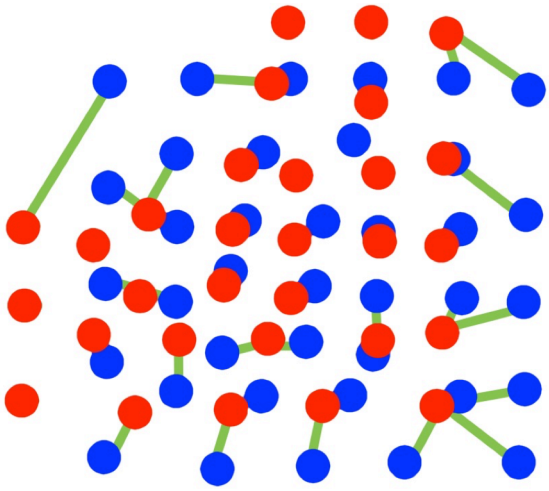
På Figur 76 ses der to punktskyer.

[13] Et datahul forstås, som et område i en model, hvor der ikke er samlet data.



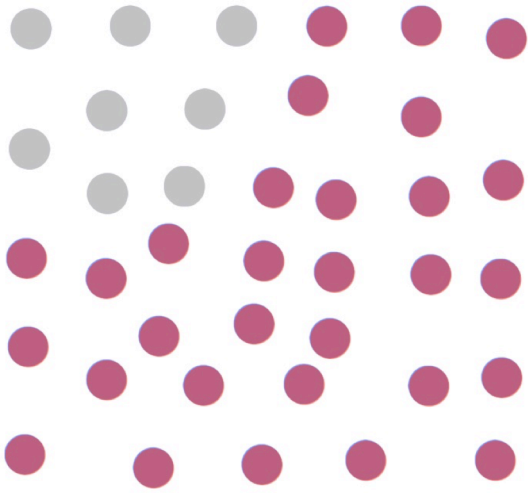
Figur 77 skitserer to punktskyer, hvor den røde har et datahul, som ses markeret med en rød ring. . Redigeret i PixelMator.

Den ene af de punktskyer har et datahul oppe i venstre hjørne, som ses illustreret på Figur 77, markeret med en rød ring.



Figur 78 skitserer to punktskyer, hvor den røde har et datahul. De grønne linjer illustrerer hvilket rødt punkt, de individuelle blå er korrelerende med. Redigeret i PixelMator.

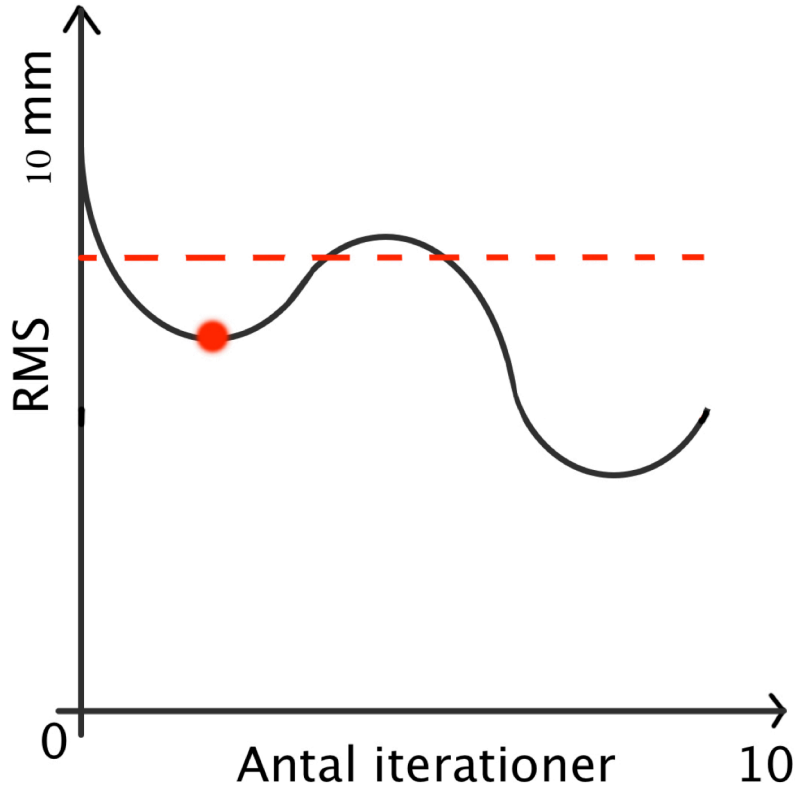
På Figur 78 ses det, at de to punktskyer er orienterede, hvor det ses, at de blå punkter, er forbundet med deres korrelerende røde punkter, som er indikeret ved de grønne linjer. Det ses hvordan de blå punkter, som ligger i datahullet, stadig får indflydelse på den sky, som skal orienteres, selvom de har lang afstand til deres korrelerende punkt. Det vides, at denne sky skal kunne passe 1:1.



Figur 79 skitserer to punktskyer som er helt overlappende. Der er et datahul i den ene af modellerne, hvor dette hul er markeret i den modsatte sky, ved at være farvet grå. Redigeret i PixelMator.

Figur 79 skitserer et eksempel, hvor der er sat en grænse for afstanden, for at punkter kan være korrelerende. Det ses at de punkter, hvor afstanden overskrider en fastsat størrelse (tolerance), vil blive sorteret fra. På denne måde orienteres datasættene 1:1. Det vides at skanneren kan indsamle data ved en densitet af 0.2 mm, dog er dette ikke tolerancen, da dette vil betyde, at datasættet i forvejen skal være orienteret 1:1. Tolerancen indstilles efter, hvor godt operatøren mener at have udført den indledende orientering. Iflg. almen teori om landmåling, er en måling bestemt indenfor tre standardafvigelser[14]. Der blev forsøgt at frasortere alle punkter, som lå mere end tre standardafvigelser fra deres korrelerende punkt. Denne metode viste sig dog, ikke at være anvendelig, eftersom metoden ikke medfører, at skyerne bliver orienteret konstant, mod at der opnås konvergens.

[14] Ved udtrykket: "Tre standardafvigelser", forstås det samme som ved $3 \cdot \sigma$.



Figur 80 skitserer eksemplet, hvordan projektets ICP-algoritme, orienterer to overlappende modeller, mod at der opnås konvergens. Figuren skal illustrere at hvis den røde bold, har en frasorterings tolerance som er illustreret ved den røde stiplede linje, vil den røde bold aldrig komme over toppen af grafens "hop". Redigeret i PixelMator.

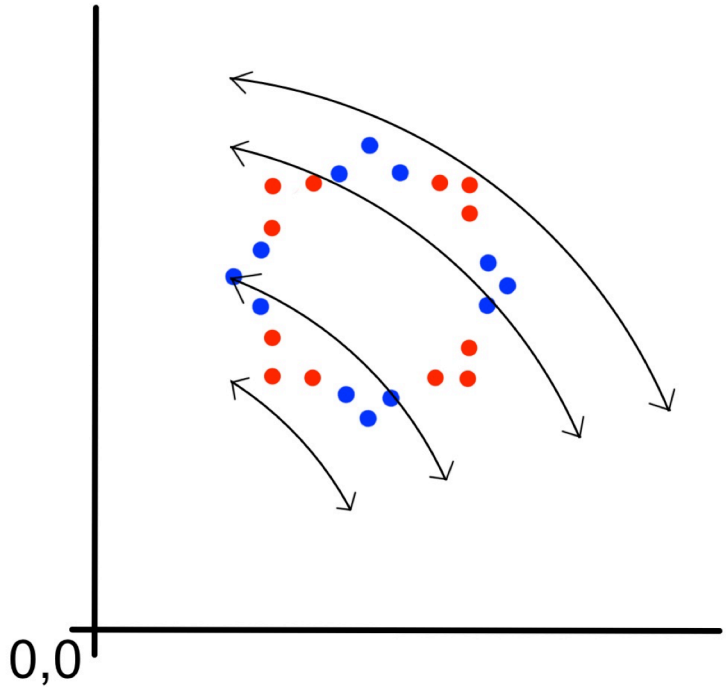
Det kan forklares med Figur 80, hvor der ses et fortegnet eksempel på kurven for, hvordan ICP-algoritmen orienteres, fra start til slut. Det ses at grafen konstant stiger og falder i RMS-værdien, det kan så forestilles, at hvis der frasorteres for mange punkter, vil funktionen aldrig kunne få fat i de sande korrelerende punkter, da de ligger for langt fra hinanden. Er tilfældet som beskrevet, vil funktionens stadie ved den røde bold, få frasorteret for mange punkter, når den prøver at komme forbi "funktionens hop", som ses ved at toppen er skærende med den stiplede røde linje og dermed vil skyerne aldrig kunne opnå konvergens[15], hvilket ligeledes ses illustreret i Bilag G. Derfor forsøgte skriver med at grænseværdien som værende en fast værdi, dersom blev mindre efter hvert loop. Det viste sig, at hvis denne værdi er tilpas lille, vil den give plads nok til at et dårligt loop kan rettes op, men stadig vel den frasortere udefra liggende punkter. De udefra liggende punkter, som ikke bliver frasorteret direkte, vil blive vægtet, så de

[15] I dette tilfælde forstås konvergens, som den tilstand, hvor punktskyerne, ses som orienterede.

får minimal betydning. Skrivers tests viste, at det tal som grænseværdien multipliceres med for hver iteration, med fordel kan være 0.99. Skriver udførte en række tests på forskellige datasæt og med forskellige værdier. Dette skal dog ses som en værdi i betafasen, hvilket skal undersøges nærmere, før scriptet kan blive solgt på det kommercielle marked. Denne værdi skal være sammenhængende med, den hvor meget bedre orienteringen bestemmes pr. loop. Hermed menes der, at værdien skal falde med så lidt, at hvis et loop bevæger orienteringen i en forkert retning, har det "plads" til at rette dette op til næste loop. Værdien skal samtidigt gøre tolerancen så tilpas lille, at alle udeliggende punkter, frasorteres inden der opnås konvergens.

1.5 Rotationen

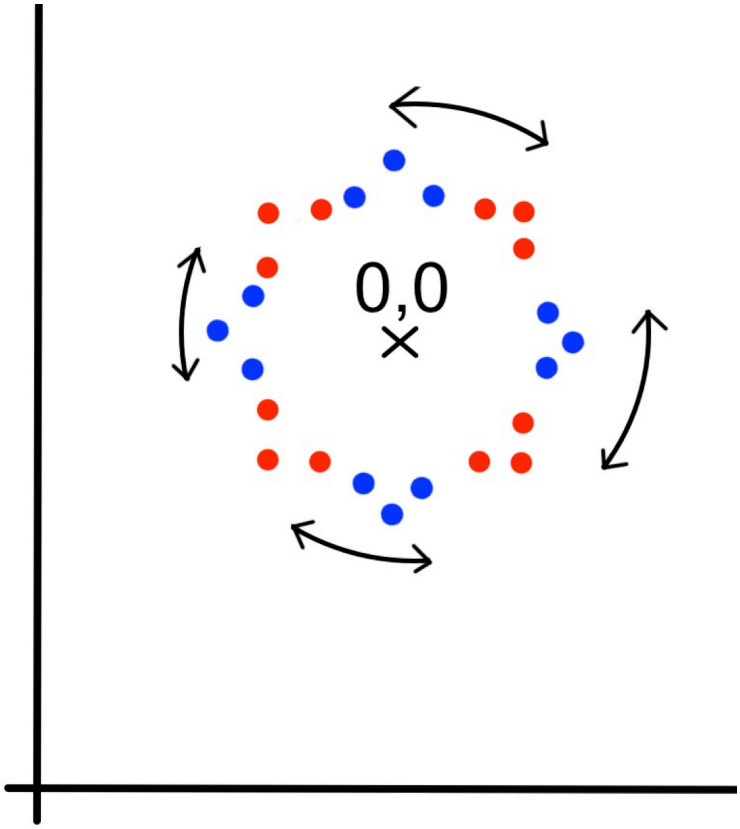
Når Rotationen beregnes, regnes den med center i koordinaten nul. Skriver opdagede, at det var matematisk tidskrævende at få roteret systemet "på plads", hvis koordinaten nul ikke er ensliggende med tyngdemidtpunktet, grundet i at det kræver flere iterationer.



Figur 81 skitserer en rød og en blå punktsky. Hvis rotationsmatrixen anvendes på sættet, vil rotationen ske omkring 0,0 hvor drejningen er markeret med sorte pile. Redigeret i PixelMator.

Figur 81 skitserer to punktskyer, som passer 1:1, men er roterede ift. hinanden omkring modellernes centerkoordinat. Det ses at nulpunktet ligger forskudt, ift. modellen. Rotationen opbygges med center i nul, hvor rotationskredsen er symboliseret ved de sorte pile. Når rotationen beregnes, gøres det ved at beregne, hvor meget modellen skal roteres, for at være optimalt overlappende. Dermed roteres der langs pilene, hvorefter der beregnes en

transformation. Processen ved først at rotere og bagefter translatere, gøres til en rutine. Det ses at denne rutine skal gentages mange gange, før at modellen vil passe 1:1.



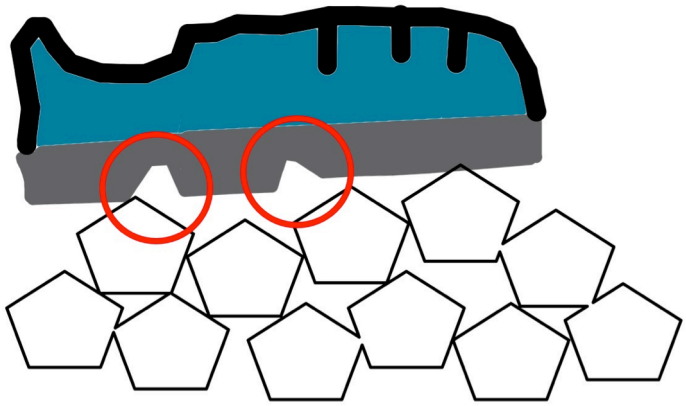
Figur 82 skitserer en rød og en blå punktsky. Hvis rotationsmatrixen anvendes på sættet, vil rotationen sko omkring 0,0 hvor drejningen er markeret med sorte pile. Redigeret i PixelMator.

I det eksempel som Figur 82 skitserer, er nulpunktet, sammenfaldende med modellens tyngdemidtpunkt. Det ses at pilene nu roterer modellen rundt om sig selv, hvor det kan forestilles, at rutinen her kun skal gengives en gang, for at rotere modellen 1:1.
Dette eksempel gjorde sig ligeledes gældende i projektet, hvor skriver fandt ud af, at denne metode var langt mindre beregningskrævende, eftersom den krævede færre steps. Det blev opdaget at begge modeller skal have regnet et tyngdemidtpunkt, udenfor ICP-algoritmens loop. Der beregnes to tyngdemidtpunkter, hvor fra-modellen flyttes, så dens tyngdemidtpunkt er sammenfaldende med til-modellen. Dette medfører at modellerne roteres om hinanden, så retningen er sammenfaldende og at rotationsrutinen benyttes optimalt.

1.6 Random sampling

I projektet blev mindste kvadrater anvendt på hele datasættet. Det viste sig dog at beregningen var forholdsvis tidskrævende. For at minimere beregningstiden, reduceres datamængden, ved at foretage en random sampling. Random samplingen, selekterer tilfældige punkter i de to

skyer. Ved at benytte et udpluk af punkterne, kan det styres hvor mange punkter, der skal benyttes til beregningen. Dette er en fast værdi, som der indstilles af operatøren. Der er operatørens empiri for datasættet, som bestemmer, hvor mange punkter, random samplingen skal foretages over. Er det er godt datasæt, hvor det passer 1:1, kan denne faktor være lav, hvorimod hvis aftrykket er afsat i et dårligt underlag[16], skal random samplingen nærme sig det maksimale, så unøjagtigheder får mindre indflydelse. Det er samtidigt random samplingen, hvor fraselektering og udvægtning bliver yderst vigtigt. Princippet kan forklares med følgende eksempel:



Figur 83 skitserer en sko, som træder på nogle småsten. Skoen har to interesseområder, som er markeret med røde ringe. Redigeret i PixelMator.

Til eksemplet er der lavet en figur, se Figur 83. Den illustrerer en sko som træder i nogle småsten. Det ses at skosålen har to interesseområder. Det fremgår at stenene er større end de to interesseområder, hvorfor interesseområderne ikke vil være at genkende i aftrykket.
For at punkter som ikke er korrelerende, bliver betragtet som det, skal de frasorteres og vægtes, på baggrund af afstanden mellem de korrelerende punkter. Dette sker jf. samme teori som beskrevet afsnit 1.4 .
Hvis random samplingen bliver indstillet for lavt, kan det resultere i, at samtlige punkter i skannet er fraselekteret, eller at meget få punkter bruges til at beregne hele orienteringen. Der anses at være et solidt statistisk grundlag, efter 20 observationer, jf. χ^2 binominalfordelingen[17]. Derfor er der et statistisk grundlag, for at beregne transformationen over 20 korrelerende punkter. Dette er dog ikke muligt i projektet, da det ikke vides hvilke punkter, som er korrelerende. For at det vides, hvilke punkter som er korrelerende, skal hele transformationen først udregnes, hvilket er tidskrævende beregningsmæssigt. For at dette bliver mindre tidskrævende laves der en random sampling, hvor der fraselekteres og udvægtes

[16] Med dårligt underlag, menes der at strukturen er grov og at alle skoens unikke slitager, ikke er at finde i aftrykket, som konsekvens af underlaget.
[17] Kommer teoretisk af, at χ^2 bliver symmetrisk omkring 20 frihedsgrader. (Lauritzen, s. 11)

punkter, på baggrund af deres interne afstand. Derfor skal der gerne altid være tyve punkter som er korrelerende, i hvert af ICP-algoritmens loop.

Skanningens densitet er ekspotentielt stigende med antallet af punkter fra random samplingen. Skriver har valgt, at der efter hvert loop, beregnes nye random samplede punkter, for at sikre, at hvis random samplingen har været dårlig, kan dette rettes op i et nyt loop.

1.7 Beregning af Rotationsmatrixen

Til at rotere datasættet anvendes rotationsmatrixen. Rotationsmatrixen er opbygget af drejningerne omkring det tredimensionelle koordinatsystems tre akser, som er følgende:

$$R_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & cos(\omega) & -\sin(\omega) \\ 0 & \sin(\omega) & \cos(\omega) \end{bmatrix}$$

$$R_y = \begin{bmatrix} \cos(\varphi) & 0 & \sin(\varphi) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\varphi) & 0 & \cos(\varphi) \end{bmatrix}$$

$$R_z = \begin{bmatrix} \cos(\kappa) & -\sin(\kappa) & 0 \\ \sin(\kappa) & \cos(\kappa) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Disse tre udtryk, kan samles til et udtryk:

$$R \leftrightarrow R_x \cdot R_y \cdot R_z$$
$$= \begin{bmatrix} \cos(\varphi) \cdot \cos(\kappa) & -\cos(\varphi) \cdot \sin(\kappa) & \sin(\varphi) \\ \cos(\omega) \cdot \sin(\kappa) + \sin(\omega) * \sin(\varphi) * \cos(\kappa) & \cos(\omega) \cdot \cos(\kappa) - \sin(\omega) \cdot \sin(\varphi) \cdot \sin(\kappa) & -\sin(\omega) \cdot \cos(\varphi) \\ \sin(\omega) \cdot \sin(\kappa) - \cos(\omega) \cdot \sin(\varphi) \cdot \cos(\kappa) & \sin(\omega) \cdot \cos(\kappa) + \cos(\omega) \cdot \sin(\varphi) \cdot \sin(\kappa) & \cos(\omega) \cdot \cos(\varphi) \end{bmatrix}$$

Til at beregne hvor meget rotationsmatrixen, skal rotere de tre akser, skal der beregnes en cosinus og sinus –værdi, omkring hver af de tre akser. Dette er ikke kendte værdier og skal derfor estimeres. Rotationen skal estimeres udfra de to punktskyer, eller med andre ord, afstanden mellem de korrelerende punkter. Da punktskyen ikke er 1:1, vil der være tilfældige fejl, som gør at værdien ikke kan regnes direkte, men i stedet skal udjævnes, for at finde en entydig løsning. Til at finde en entydig løsning på problemet, anvendes mindste kvadraters metode.

Der findes et utal af metoder, til at beregne mindste kvadraters metode, til et hvert tænkeligt tilfælde af situationer. I projektets situation, er der ligeledes forsøgt, at finde en passende metode. Der er søgt inspiration fra et projekt, omhandlende opbygning af ICP-algoritmer, udarbejdet på DTU[18] (Wilm, 2010).

[18] DTU står for dansk teknisk universitet.

Mindste kvadraters metode, første forsøg

I projektet fra DTU, var mindstekvadraters metode anvendt på følgende måde:

De to punktskyer er repræsenteret ved p og q.

Der beregnes et tyngdemidtpunkt til p og q:

$$\bar{p} = \frac{1}{m}\sum p_i \quad \text{og} \quad \bar{q} = \frac{1}{m}\sum q_i$$

n og n står for antal punkter, i deres respektive punktsky.

Tyngdemidtpunkterne fratrækkes deres tilhørende punktsky:

$$p'_i = p_i - \bar{p} \quad \text{og} \quad q'_i = q_i - \bar{q}$$

Fejlen imellem de to punktskyer, er det som fra-skyen skal roteres og translateres. Fejlen beskrives som:

$$E = \sum_{i=1}^{N} \|p'_i\|^2 - 2 \cdot tr\left(R \cdot \sum_{i=1}^{N} p'_i \, q'_i{}^T\right) + \sum_{i=1}^{n} \|q'_i\|^2$$

R står for rotationsmatrixen.

T står for translationen.

tr betyder at punktskyernes matrixer traces.

(Wilm, 2010)

Problemet ved at udtrykke fejlen, i projektet ved gældende metode, er at projektet ikke ved hvilke punkter som er korrelerende. Eftersom projektet ikke kender de korrelerende punkter, ønskes det at sortere punkterne, efter hvilket punkt som er tættest beliggende i den diametrale sky og herefter vægte dem på baggrund af deres interne afstand. Dette synes ikke muligt, ved at bruge beskrevne funktion, da den beregner de indbyrdes forhold i et trace, hvilket skriver ikke har været i stand til at vægte[19].

Mindste kvadraters metode, andet forsøg

Eftersom første forsøg, af en metode til at anvende mindste kvadrater, gav et negativt resultat, er der søgt videre i bogen *Landmåling i Teori og Praksis* af Karsten Jensen (Jensen, 2011), hvor der ligeledes anvendt mindste kvadrater, til at rotere og translatere en tredimensionel datamængde.

[19] Der findes muligvis en metode til at vægte tracet, men i så fald, har skriver ikke været i stand til at finde den.

Mindste kvadraters metode, er anvendt ved først, at rotere hierarkisk omkring de tre akser og herefter translatere fra-skyen. Rotationen udføres ved at multiplicere rotationsmatrixen på fraskyen. Cosinus og sinus værdierne til rotationsmatrixen beregnes ved følgende formler[20]:

$$a = \frac{\sum_{n=1}^{f}((Y_n \cdot y_n)+(Z_n \cdot z_n))}{\sum_{n=1}^{f}(y^2+{z_n}^2)} \quad (1.1)$$

$$b = \frac{\sum_{n=1}^{f}((Z_n \cdot y_n)-(Y_n \cdot z_n))}{\sum_{n=1}^{f}({y_n}^2+{z_n}^2)} \quad (1.2)$$

Disse værdier anvendes til at beregne cosinus og sinus til rotationsmatrixen, omkring ω:

$$Cos(\omega) = \frac{a}{\sqrt{a^2+b^2}}$$

$$Sin(\omega) = \frac{b}{\sqrt{a^2+b^2}}$$

Nu beregnes a og b til φ.

$$a = \frac{\sum_{n=1}^{f}\left((X_n \cdot x_n)+\left(Z_n \cdot (y_n \cdot Sin(\omega)+z_n \cdot Cos(\omega))\right)\right)}{\sum_{n=1}^{f}(({x_n}^2)+(y_n * Sin(\omega)+ z_n \cdot Cos(\omega))^2)} \quad (2.1)$$

$$b = \frac{\sum_{n=1}^{f}((X_n \cdot (y_n \cdot Sin(\omega)+z_n \cdot Cos(\omega)))-(Z_n \cdot x_n)}{\sum_{n=1}^{f}(({x_n}^2)+(y_n \cdot Sin(\omega)+z_n \cdot Cos(\omega)^2))} \quad (2.2)$$

Disse værdier anvendes til at beregne cosinus og sinus til rotationsmatrixen, omkring φ:

$$Cos(\varphi) = \frac{a}{\sqrt{a^2+b^2}}$$

$$Sin(\varphi) = \frac{b}{\sqrt{a^2+b^2}}$$

Nu beregnes a og b til κ.

$$a = \frac{\sum_{n=1}^{f}\left(\left(X_n \cdot \left(x_n \cdot Cos(\varphi) + (y_n * Sin(\omega) + z_n \cdot Cos(\omega)\right) \cdot Sin(\varphi)\right) + \left(Y_n \cdot (y_n * Cos(\omega) - z_n \cdot Sin(\omega))\right)\right)}{\sum_{n=1}^{f}((x_n \cdot Cos(\varphi) + (y_n \cdot Sin(\omega) + z_n \cdot Cos(\omega)) \cdot Sin(\varphi))^2 + \left(y_n \cdot Cos(\omega) - z_n \cdot Sin(\omega)\right)^2)} \quad (3.1)$$

$$b = \frac{\sum_{n=1}^{f}((Y_n \cdot \left(x_n \cdot Cos(\varphi) + \left(y_n \cdot Sin(\omega) + x_n \cdot Cos(\omega)\right) \cdot Sin(\varphi)\right)) - (X_n \cdot \left(x_n \cdot Cos(\omega) - z_n \cdot Sin(\omega)\right))}{\sum_{n=1}^{f}(\left(x_n \cdot Cos(\varphi) + \left(y_n \cdot Sin(\omega) + z_n \cdot Cos(\omega)\right) \cdot Sin(\varphi)\right)^2 + \left(y_n \cdot Cos(\omega) - z_n \cdot Sin(\omega)\right)^2)} \quad (3.2)$$

Disse værdier anvendes til at beregne cosinus og sinus til rotationsmatrixen, omkring κ:

[20] Karsten Jensen valgte oprindeligt at betegne de tre akser ved E, N og Z, hvor skriver har omskrevet dette til X, Y og Z. Ligeledes beskrev Karsten Jensen, rotationen omkring de tre akser som φ_1, φ_2 og φ_3, hvor skriver har valgt at bruge betegnelsen ω, φ og κ.

$$Cos(\kappa) = \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

$$Sin(\kappa) = \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

Herefter skal cosinus og sinus værdierne som tidligere nævnt, indsættes i rotaionsmatrixen og multipliceres fra-skyen. Problemet med denne formel ift. projektet, er at den forlanger at de korrelerende punkter, ligger på samme i'de plads, skyerne imellem, hvilket ikke er tilfældet i projektet. For at få punkterne til at finde deres korrelerende punkt, skal de sorteres på baggrund af hvilke punkter som ligger tættest på hinanden, som det blev forklaret i Bilag D. Men eftersom skriver ikke stoler på at alle punkterne finder deres korrelerende punkt, skal de vægtes efter afstanden ved funktionen C. C bliver et tal mellem 0 og 1, hvor 1 betyder at det er det korrelerende punkt og i takt med, at værdien går længere mod nul, stoles der mindre på punktet. Derfor skal C multipliceres kvadratet, som beregnes i mindste kvadraters metode. Det ses af formel (1.1) at elementet $\sum_{n=1}^{f}((Y_n \cdot y_n) + (Z_n \cdot z_n)$ danner to kvadrater. $Y_n \cdot y_n$ danner et kvadrat til og fra –skyen imellem i y-koordinaten til i'de plads. Ligeledes danner $Z_n \cdot z_n$ en kvadrat ift. Z-koordinaten til i'de plads. Disse to kvadtater skal hver miltupliceres med C. Forrige element divideres med ${y_n}^2 + {z_n}^2$, hvilket kan omskrives til $y_n \cdot y_n$ og $z_n \cdot z_n$, hvilket ligeledes danner to kvadrater som skal multipliceres med C.

Samme princip gør sig gældende for formel (1.2).

Dermed dannes formlerne:

$$a = \frac{\sum_{n=1}^{f}(C \cdot (Y_n \cdot y_n) + C \cdot (Z_n \cdot z_n))}{\sum_{n=1}^{f}(C \cdot {y_n}^2 + C \cdot {z_n}^2)}$$

$$b = \frac{\sum_{n=1}^{f}(C \cdot (Z_n \cdot y_n) - C \cdot (Y_n \cdot z_n))}{\sum_{n=1}^{f}(C \cdot {y_n}^2 + C \cdot {z_n}^2)}$$

Det es at formel (2.1) og (2.2) bygger på samme princip, blot at rotationen fra formel (1.1) og (1.2) er blevet inkluderet.

Formel (2.1) består af elementerne $X_n \cdot x_n$, som danner en kvadrat, som summeres med $y_n \cdot Sin(\omega) + z_n \cdot Cos(\omega)$, hvilket er en betegnelse for Z_n, efter rotationen omkring ω. Dette er samme princip med $y_n \cdot Sin(\omega) + z_n \cdot Cos(\omega)^2$, hvilket er ${Z_n}^2$, efter rotationen. Dermed kommer formel (2.1) til at blive multipliceret med C, på følgende måde:

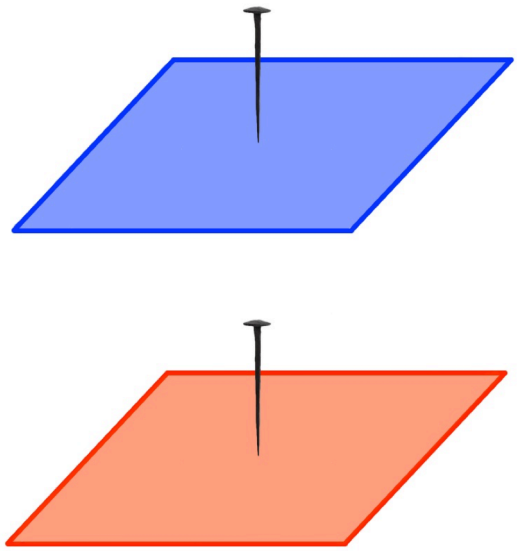
$$a = \frac{\sum_{n=1}^{f}\left(C \cdot (X_n \cdot x_n) + C \cdot \left(Z_n \cdot \left(y_n \cdot Sin(\omega) + z_n \cdot Cos(\omega)\right)\right)\right)}{\sum_{n=1}^{f}(C \cdot ({x_n}^2) + C \cdot (y_n * Sin(\omega) + z_n \cdot Cos(\omega))^2)}$$

Samme princip gør sig gældende i formel (2.2), (3.1) og (3.2).

Bilag G - Udpegning af tre punkter

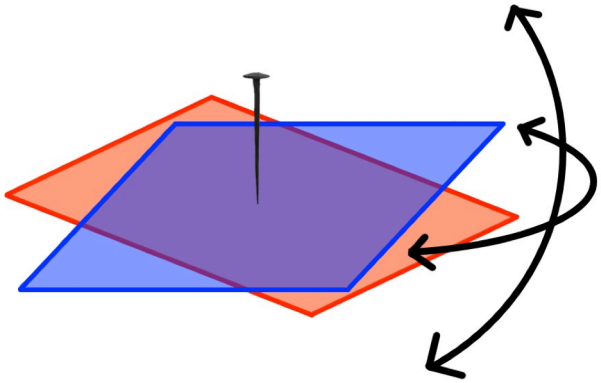
Ved den indledende transformation, bliver det fortalt at den skal ske over tre punkter. Følgende Bilag vil forsøge at give en forklaring på, hvorfor det er tre punkter.

De to modeller kan betragtes som to planer, der skal sømmes sammen med de tre punkter.



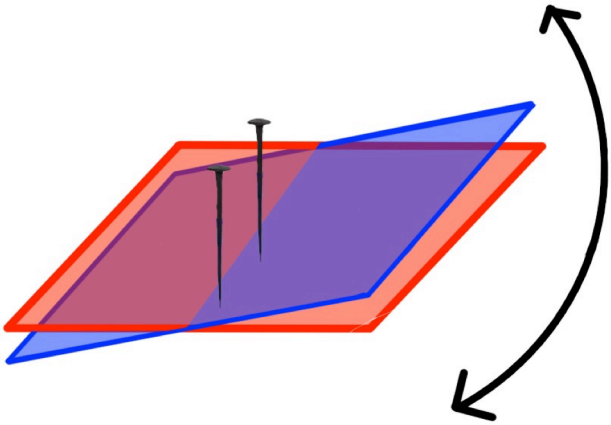
Figur 84 illustrer to plan som sømmes, det samme sted på fladen. Redigeret i PixelMator.

Figur 84 viser to plan, som skal illustrere de to modeller, som skal sættes sammen. De har fået sat et søm, det samme sted på planet.



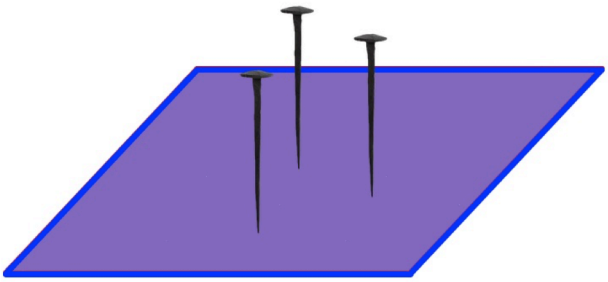
Figur 85 illustrerer hvordan to planer kan roteres 360^{o} rundt om sig selv i to retninger, uden at sømmets position ændres. Redigeret i PixelMator.

På Figur 85 ses det, at hvis de to planer sættes fast med et søm, tillades de at roterer 360^{o} i to retninger, rundt om sømmets position.



Figur 86 illustrer to planer som er sømmet to steder. De to planer kan i en retning, dreje 360^0 om sømmene, uden at sømmenes position ændres. Redigeret i PixelMator.

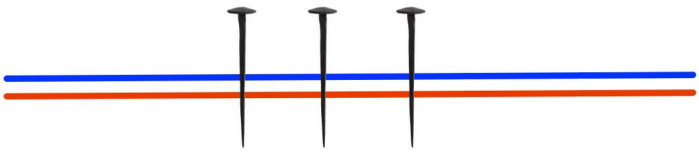
Figur 86 skitserer, hvordan de to planer er sømmet to steder, men stadig kan dreje 360^o, om sømmenes position i en retning.



Figur 87 illustrer to planer som er sømmet fast tre steder. Redigeret i PixelMator.

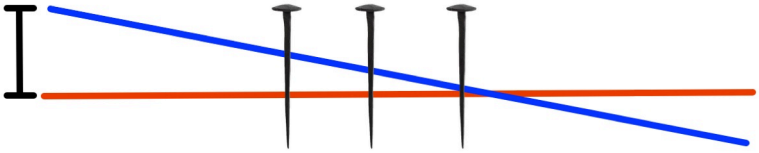
Figur 87 ses det at planene er sømmet tre steder og derfor ikke kan roteres, uden at sømmenes position ændres. Den samme teori gælder for, hvorfor der skal udvælges tre punkter til at beregne transformationen.

Men når punkterne udvælges de to modeller imellem, vil det næsten altid gøres fejlbehæftet.



Figur 88 viser et tværsnit af to planer, som er sømmet sammen. Redigeret i PixelMator.

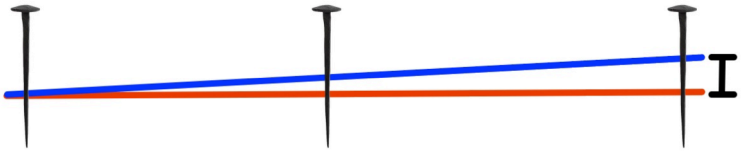
På Figur 88 ses de to planer i et tværsnit, efter de er sømmet tre steder. Der ses at der er et tomrum, pladerne imellem. Tomrummet kan betegnes som fejlen af punkternes (sømmenes)



Figur 89 viser et tværsnit, af to planer som er sømmet tre steder. Redigeret i PixelMator.

udpegning.

Det ses af Figur 89 at de to planer kan bevæge sig i tomrummet, uden at sømmenes position ændres. Bevægelsen er stor, fordi alle tre søm, er centreret omkring midten.



Figur 90 viser et tværsnit, af to planer som er sømmet tre steder. Redigeret i PixelMator.

På Figur 90 ses det at sømmene er spredt ud over området og at bevægeligheden er væsentlig mindre. Det samme gælder, når punkterne skal udpeges de to modeller imellem. I takt med at udpegningen bliver spredt ud over modellerne, bliver fejlen fra orienteringen mindre.

Bilag H - RMS-værdi

I projektet er det nævnt at RMS-værdien ikke bliver kontinuert bedre, i takt med at funktionen itereres. Følgende bilag vil forsøge at skabe klarhed over, hvordan RMS-værdien ændres, i takt med antallet af loops.

Som nævnt i projektet, står RMS for Root Mean Squared:

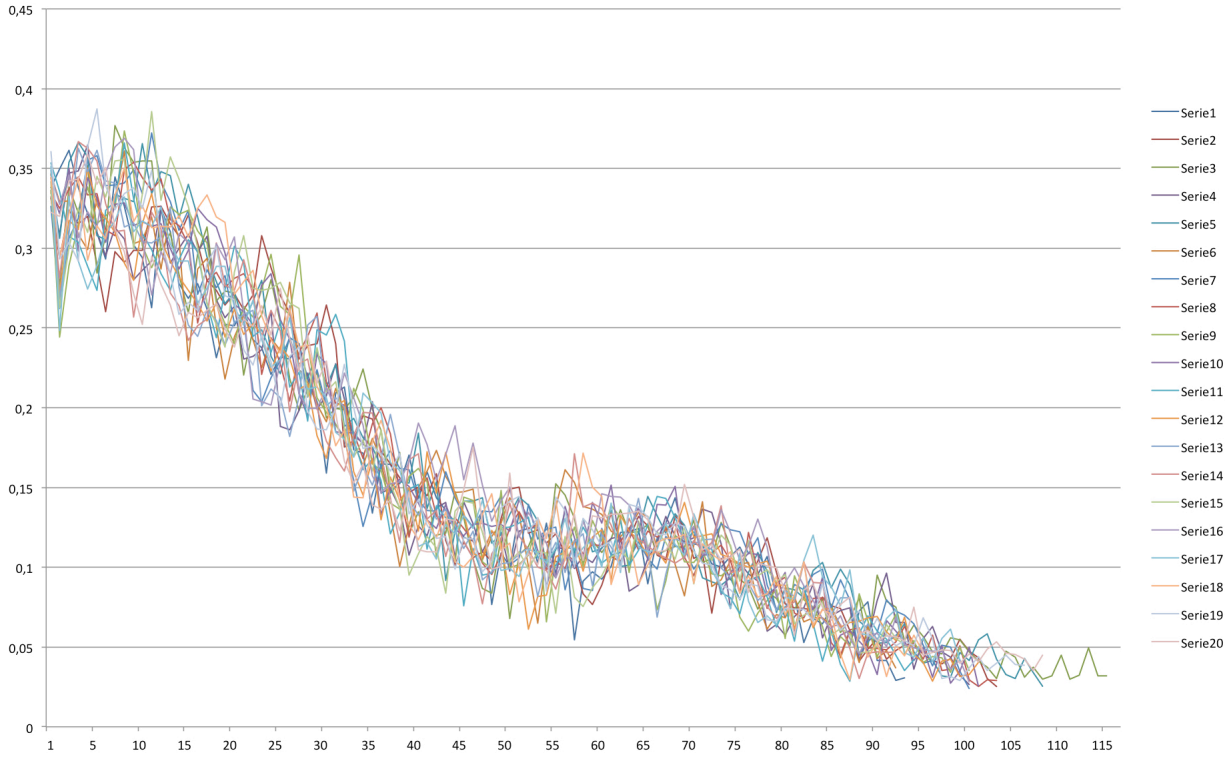
$$RMS = \sqrt{Mean \sum_{i=n} (P^r{}_x - P_x)^2 + Mean \sum_{i=n} (P^r{}_Y - P_Y)^2 + Mean \sum_{i=n} (P^r{}_Z - P_Z)^2}$$

hvor P^r er fra-skyen og P er til-skyen.

RMS-værdien udskrives i MatLab, under Appendiks III, som vil blive opstillet i undertegnede bilag. Alle settings i Appendiks er sat til default.

Figur 91 viser et screenshot fra MeshLab, som viser skanningen af skoen, hvor et interesseområde er markeret med en rød ring. Redigeret i PixelMator.

De data-modeller som bruges i følgende bilag, er punktskyen fra skoen[21] og punktskyen fra gipsaftrykket[22].
Der er selekteret et interesseområde fra gipsaftrykket, som orienteres til skoen.
Interesseområdet er illustreret på Figur 91.



Figur 92 viser et diagram for RMS-værdierne, for 20 forsøg med projektets ICP-algoritme. Diagrammet ses udarbejdet under Appendiks VI.

På Figur 92 ses der et diagram over de udskrevne RMS-værdier, som er gentaget med den samme data 20 gange. Det kan ses udfra diagrammet, at RMS-værdien ikke bliver lineart bedre, men giver udsving, mod det stadie hvor de to modeller, menes at have opnået konvergens. Det ses at graferne flader ud imellem 40 og 70 iterationer, det vides ikke præcist hvorfor. Det kan muligvis skyldes at alle forsøg er lavet over den samme model og at denne model har et stadie, hvor det er svært for ICP-algoritmen at beregne hvordan der opnås konvergens. Det skal dog bemærkes at alle graferne individuelt indikerer, at der ligeledes er et bredt spænd i stadierne fra 40 til 70 iterationer, for at RMS værdien forringes og forbedres, hvilket ligeledes kan indikere, at algoritmen, har haft svært ved at beregne mindste kvadraters princip, til hvordan der opnås konvergens. Dette er dog ikke noget der vil blive undersøgt yderligere i projektet.

Skriver udførte beregnerne på en MacBook Pro, som har en i7 quardcore 2.5 Ghz processor og med 16gb Ram. Det tog skrivers computer fra 2:30 – 3:20 min at udføre ICP-algoritmen på det gældende datasæt. Der er dog en række usikkerheder i dette, da der ikke var lukket for samtlige

[21] Findes under appendiks IV.
[22] Findes under appendiks V.

af computerens øvrige processor, hvorfor det anslås at beregningerne kan komme ned på 1 min, ved en specielbygget computer til formålet.

BIBLIOGRAFI:

3DScanCo. (3. 20 2015). *http://www.3dscanco.com*. Hentede 3. 20 2015 fra http://www.3dscanco.com: http://www.3dscanco.com/products/3d-scanners/3d-laser-scanners/handyscan-3d/exascan.cfm

Brande-Lavridsen. (1993). *Fotogrammetri.* ISBN: 87-89088-53-0: Ålborg Universitet.

Colas, D. F. (11. 11 2011). *http://www.asl.ethz.ch*. Hentede 5. 5 2015 fra http://www.asl.ethz.ch: http://www.asl.ethz.ch/education/master/info-process-rob/ICP.pdf

Jensen, K. (2011). *Laboratoriet for Geoinformatik.* Aalborg: Aalborg Universitet.

Rie Jepsen, A. N. (2003). *IT udvikling* . Frederikshavn: Dafolo .

skodksales. (2. 4 2015). *skodksales*. Hentede 2. 4 2015 fra www.skodksales.com: http://www.skodksales.com/sko-nike-free-3-0-maend-antracit-sort-hvid

Szymon Rusinkiewicz, M. L. *Efficient Variants of the ICP Algorithm* . Stanford : Stanford University .

Wilm, H. M. (2010). *Evaluation of surface registration algorithms for PET motion correction.* Kongens Lyngby: DTU.