Ortofotofremstilling ved hjælp af en fjernstyret helikopter og PhotoModeler Scanner

Gruppe 1
Aalborg Universitet
Institut for Samfundsudvikling og planlægning
Landinspektøruddannelsens 10. semester
Measurement Science
7. juni 2012

Titel: Ortofotofremstilling ved hjælp af en fjernstyret helikopter og PhotoModeler Scanner

Projektperiode: 1. februar 2012 til 7. juni 2012

Projektgruppe: land10ms_aal01

Synopsis:

Dette speciale omhandler ortofotofremstilling på baggrund af luftfotos taget fra en fjernstyret helikopter. Selve fremstillingen foretages i programmet PhotoModeler Scanner. I foranalysen redegøres der for de lovmæssige begrænsninger, forskellen på dansk og svensk lovgivning, samt hvordan et ortofoto fremstilles på traditionel vis. I hovedanalysen undersøges de tre kameraparametre; blænde, ISO og lukkertid og det konkluderes, at de skal tilpasses vejrforholdene. Omtrent halvvejs i projektforløbet stoppes samarbejdet med Green Stick Studio, idet det ikke er muligt at finde en dag, hvor der kan flyves. I stedet bliver ortofotofremstillingen lavet på baggrund af billeder fra en gruppe i Ballerup. Resultatet bliver først vurderet visuelt, hvor det konkluderes, at der ikke er de store visuelle forskelle. Dernæst sammenlignes punktskyen fra PhotoModeler Scanner med indmålte targets. Denne sammenligning viser, at spredningen i højden er 11,7 cm og den forventede var 6,3 cm. Herefter sammenlignes ortofotoets plankoordinater med targets plankoordinater. Her bliver spredningen 7,1 cm og den forventede var 2,3 cm. Til sidst beregnes nøjagtigheden på det endelige ortofoto til 14,1 cm. Endeligt konkluderes det, at det er muligt at fremstille et ortofoto i PhotoModeler Scanner, hvor billederne er taget fra en helikopter, med en fornuftig nøjagtighed.

Abstract:

This thesis deals with orthophoto production based on aerial photographs taken from a radio controlled helicopter. The production is done in the software PhotoModeler Scanner. The preliminary analysis outlines the legal restrictions, the difference between Danish and Swedish law, and how an orthophoto is produced the traditional way. In the main analysis the three camera parameters; aperture, ISO and shutter speed are examined. It is concluded that they must be adapted to the weather conditions. Approximately halfway through the project, the cooperation with Green Stick Studio is stopped, since it was not possible to find a suitable day for flying. Instead the orthophoto production is made on the basis of a series of images from a group in Ballerup. The result is first assessed visually, which concluded that there are no major visual differences. Then the point cloud from PhotoModeler Scanner is compared with measured targets. This comparison shows that the height deviation is 11.7 cm with an expected of 6.3 cm. Subsequently the plane coordinates of the orthophoto are compared with the coordinates of the targets. Here the deviation is 7.1 cm with an expected of 2.3 cm. Finally the accuracy of the final orthophoto is computed to 14.1 cm. Finally it is concluded that it is possible to produce an orthophoto in PhotoModeler Scanner with images taken from a helicopter with a reasonable accuracy.

Gruppemedlemmer:

Majbrit Juel Mortensen

Jakob Krogh Ørtved

Oplagstal: 5

Sideantal: 92

Vejledere: Jens Juhl og Karsten Jensen

Bilagsantal og -art: 5 appendiks, 15 bilag alle på vedlagt Cd (5 printet) og 2 ordbøger

Afsluttet: 7. juni 2012

Forsidebillede: ortofoto fremstillet af projektgruppen

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

Forord

Projektet er et speciale udarbejdet af landinspektørstuderende på Aalborg Universitet. Projektet retter sig især mod landinspektørbranchen, men også andre, der har interesse i at få en dybere forståelse for fotogrammetri. Projektet er en forlængelse af de projekter, projektgruppen tidligere har arbejdet med omhandlende fotogrammetri. På 7. semester arbejdede projektgruppen med softwaren PhotoModeler Scanner, der er i stand til at skabe punktskyer og efterfølgende 3D modeller ud fra billeder taget med almindelige kamera, såfremt de opfylder visse krav. PhotoModeler Scanner udvikles af Eos Systems Inc. fra Canada.
Nærværende speciale bygger videre på erfaringerne fra projektet på 7. semester, der er vedlagt på bilags Cd'en, der er at finde til denne rapport. Der vil gennem dette projekt refereres til 7. semester projektet som (Mortensen, et al., 2011).

Kildesystemet i rapporten er en af standardindstillingerne fra Word, ISO 690. Ved referering til bøger skrives forfatterens efternavn efterfulgt af årstal for udgivelse, f.eks. (Brande-Lavridsen, 1990). Ved hjemmesider skrives forfatteren og eventuelt et årstal, f.eks. (Aibotix) eller(Statens Luftfartsvæsen, 2004). Den samlede kildeliste vil være at finde bagerst i rapporten.
Når der henvises til PM help file, se da bilag 13. Idet det kun er muligt at se helpfile, hvis der er adgang til PhotoModeler Scanner, er der udarbejdet er bilag, hvori emnerne er klippet ind.
Igennem projektet er der blevet ført dagbog. Denne er på bilags CD samt på papirform i rapporten. Heri er for eksempel beskrevet, hvilke møder der er aftalt og mailkorrespondancer.

Til rapporten følger to ordbøger, der ligger løst bagerst. Den ene ordbog indeholder generelle fotogrammetriske betegnelser, og den anden indeholder PhotoModeler Scanner specifikke termer. Første gang begrebet optræder, vil der henvises til disse ordbøger med henholdsvis * for den generelle ordbog, og ** for PhotoModeler Scanner ordbogen. I ordbøgerne findes en uddybning af det markerede begreb. Beskrivelsen findes i ordbøgerne, da det vil virke forstyrrende at beskrive alle begreberne i rapporten. Ved at skrive begreberne i ordbøgerne, kan læseren vælge, hvilke begreber der ønskes uddybet, men det anbefales at læse definitionen, når */** optræder. Ordbøgerne gør det ligeledes nemmere at finde definitionen på et begreb, hvis det bliver nødvendigt på et senere tidspunkt.

Når der i rapporten henvises til et appendiks, skal dette læses på dette tidspunkt. Den viden, der tilegnes i appendiks, bliver anvendt videre i rapporten. Disse undersøgelser er udført i appendiks, fordi undersøgelserne er indledende med et andet kamera end det, der ønskes anvendt i projektet.

Vi vil gerne rette en tak til virksomhederne Sky-Watch A/S og Green Stick Studio for deres bidrag til projektet. Desuden rettes en tak til Nellemann & Bjørnkjær, der har været bindeled til virksomhederne og en tak for lån af licens til programmet PhotoModeler Scanner. Til sidst takkes Pia Rasmussen og Rasmus Klog, der har været venlige at stille billedmateriale til rådighed.

Indholdsfortegnelse

1 INDLEDNING 9
1.1 Anvendelsesmuligheder 9
1.1.1 Inspektion 9
1.1.2 Visualiseringer og 3D modellering 9
1.1.3 Kortlægning og ortofotos 10
1.2 Samarbejdspartnere 11
1.2.1 Green Stick Studio 11
1.2.2 Sky-Watch 12
1.3 Initierende problem 13
2 FORANALYSE 15
2.1 Lovgivning 15
2.1.1 Billeder i det offentlige rum 15
2.1.2 Luftfart med ubemandet luftfartøj 16
2.1.3 Svensk lovgivning 17
2.2 Traditionel fremstilling af ortofotos 17
2.2.1 Flyvefotografering og orientering* 18
2.2.2 Digital HøjdeModel (DHM) 19
2.2.3 Generering af ortofotos 20
2.2.4 Mosaik og farvejustering 22
2.2.5 Ortofotoets nøjagtighed 23
2.3 Kravspecifikation 25
2.4 Problemformulering 26
2.4.1 Uddybning af problemformulering 27
3 METODE 29
4 INDLEDENDE UNDERSØGELSER 31
4.1 Green Stick Studio 31
4.1.1 Helikopter – Aibot X6 31
4.1.2 Kamera- og linsespecifikationer 32
4.2 Kameraparametre 34
4.3 Vejrforhold 35
4.3.1 Temperatur 35

4.3.2 Vind og nedbør ... 35
4.4 Undersøgelse af billedkvalitet ... 36
4.4.1 Planlægning og udførelse ... 36
4.4.2 Resultat og vurdering ... 38
4.5 Opsummering ... 40
5 KAMERAKALIBRERING* ... 43
5.1 Kalibrering i PhotoModeler Scanner ... 43
5.1.1 Sheet kalibrering ... 44
5.1.2 Field kalibrering ... 44
5.1.3 Testkalibrering ... 45
5.2 Forberedelse ... 45
5.3 Udførelse og resultat ... 47
5.4 Vurdering ... 47
6 LUFTFOTOS ... 49
6.1 Gruppen og projektidéen i Ballerup ... 49
6.1.1 Materiale fra Ballerup ... 50
6.2 Ændring af projektidé ... 54
7 ORTOFOTOFREMSTILLING ... 55
7.1 Arbejdsgangen i PhotoModeler Scanner ... 55
7.1.1 Relativ orientering ... 55
7.1.2 Absolut orientering ... 56
7.1.3 Trim** ... 58
7.1.4 Dense Surface Model, DSM** ... 58
7.1.5 Punktskysmodificering** ... 60
7.1.6 Generering af ortofoto ... 66
7.2 Det endelige ortofoto ... 73
7.2.1 Relativ orientering ... 73
7.2.2 Absolut orientering ... 74
7.2.3 DSM ... 75
7.2.4 Punktskysmodificering ... 76
7.2.5 Generering af det endelige ortofoto ... 76
7.3 Vurdering af det endelige ortofoto ... 78
7.3.1 Visuel ... 78

7.3.2 Kotesammenligning 79
7.3.3 Plansammenligning 80
7.3.4 Beregnet nøjagtighed på det endelige ortofoto 83
8 KONKLUSION 85
9 PERSPEKTIVERING 89
Litteraturliste
Appendiks
Bilag
Ordbøger

1 Indledning

Inden for de seneste år er den såkaldte UAV-teknologi blevet mere udbredt. UAV står for Unmanned Aerial Vehicles, hvilket betyder ubemandede luftfartøjer. I visse sammenhænge betegnes de droner, men konceptet med ubemandede luftfartøjer er det samme. Ligesom mange andre teknologier har denne sit udspring i militæret. Her anvendes systemerne eksempelvis til video- og billedovervågning, samt angreb hvor UAV'en eksempelvis bliver monteret med våben og fjernstyres fra en base. Gennem rapporten vil denne teknologi betegnes helikoptere.
På det civile marked har der i mange år eksisteret små legetøjsfly og – helikoptere, der styres med fjernbetjening. Smartphone-teknologien har medført, at legetøjet er blevet mere avanceret, og i dag er det muligt at købe større og dyrere helikoptere, der betjenes simpelt via en smartphone. Disse billige helikoptere er inden for de seneste år blevet udstyret med billige, digitale videokameraer. Den nyeste udvikling på det civile marked er produktionen af større fjernstyrede helikoptere med mulighed for at tage billeder med bedre kameraer.
Da projektet er udarbejdet på landinspektørstudiet, findes det relevant at undersøge, om disse helikoptere kan anvendes i landinspektørbranchen. Projektgruppen har gennem projektet haft kontakt med landinspektørfirmaet Nellemann & Bjørnkjær, der i projektet anvendes som repræsentanter for den samlede profession. Nellemann & Bjørnkjær er interesseret i at undersøge, hvilke anvendelsesmuligheder udstyret har inden en eventuel investering deri.

1.1 Anvendelsesmuligheder

For at undersøge om landinspektørbranchen kan anvende disse helikoptere til at lette og effektivisere arbejde, vil der i det efterfølgende blive beskrevet forskellige landinspektørfaglige anvendelsesmuligheder for helikoptere med kamera. Anvendelsesmulighederne kan deles op i grupperne: Inspektion, visualiseringer og 3D modellering samt kortlægning og ortofotos.

1.1.1 Inspektion

En mulig anvendelse kunne være as-built inspektioner på svært tilgængelige områder, hvor det vil være muligt at se, om projektet er blevet realiseret, som tegningerne foreskriver.
Billeder fra en fjernstyret helikopter kan ligeledes benyttes til at undersøge tilstanden på bygningsværker og anlæg. Her vil det være muligt visuelt at vurdere, om tingene er, som de skal være. Eksempelvis om der er opstået revner, eller eksisterende revner er blevet større.

1.1.2 Visualiseringer og 3D modellering

Helikopteren vil være god til denne type opgaver, da den vil være i stand til at tage billeder, hvor det tidligere har været umuligt. Billederne vil ikke i sig selv kunne udgøre en 3D model, hvorfor det vil være nødvendigt at benytte software, der udnytter informationerne i billedet til at danne en 3D model. På 7. semester undersøgte projektgruppen et sådant stykke software. PhotoModeler Scanner er et program, der kan fremstille punktskyer** og modeller ud fra billeder taget med et almindeligt kamera. I forbindelse med visualisering og 3D modellering ses fire emner: Planlægning, offshore, bygninger og broer samt volumenberegninger. Disse vil blive beskrevet i det følgende.

Planlægning

Helikopteren kan for eksempel anvendes til visualisering af, hvorfra vindmøller er synlige. Her kan der flyves op i den ønskede højde og demonstrere, hvorfra møllen vil kunne ses. Dette kan anvendes ved planlægning af nye møller og nabohøringerne i forbindelse hermed. Helikopteren kan også anvendes til at visualisere andre former for planlægning. Eksempelvis kan billederne bruges, når nye lokalplaner skal udarbejdes.

Offshore

Et område, som Nellemann & Bjørnkjær har beskæftiget sig med i en årrække. Firmaet forsøger hele tiden at udvikle og optimere løsningerne inden for dette område, så der fortsat kan løses offshore opgaver.

Hvis det ønskes at modellere en fuldstændig boreplatform, efter den er sat op, er det nødvendigt at komme væk fra platformen for at kunne lave udvendige målinger. Denne opgave kan muliggøres ved at anvende de små helikoptere. De vil være i stand til at flyve rundt om boreplatformen og tage billeder, der kan anvendes til modellering at platformen.

Bygninger og broer

Modellering af objekter, hvor det er nødvendigt at bevæge sig hele vejen rundt om og evt. over objektet for at få en fuldendt model, er ligeledes muligt ved hjælp af helikoptere. Det kan eksempelvis være en bygning. Ved at benytte billeder, der er taget fra en helikopter, er det muligt at fremstille en komplet 3D model, hvori det er muligt at måle dimensioner. Dette vil betyde, at det ikke længere er nødvendigt at måle alle dimensionerne i marken eksempelvis med et målebånd. Det vil være muligt hurtigt at få de dimensioner, der er brug for, selv på steder der ellers er svært tilgængelige. Udover dette kan modellen også anvendes som visualiseringsgrundlag.

Volumenberegninger

Ved kystsikring, anlægsarbejde, nybyggeri, råstofindvinding m.m., er der ofte brug for at foretage en volumenberegning. Det kan være en meget tidskrævende eller dyr affære, da det indebærer en stor del manuel registrering for eksempel med GPS. Til dette formål vil det være optimalt at anvende en fjernstyret helikopter og efterfølgende modelleringssoftware, da store områder hurtigt kan dækkes med større punkttæthed end manuelle GPS målinger.

1.1.3 Kortlægning og ortofotos

Et andet område, landinspektørbranchen beskæftiger sig med, er kortlægning generelt, og ortofotos er blevet et meget anvendt redskab i forbindelse hermed. Ortofotos har i mange år været brugt af private såvel som professionelle til oversigt, visualisering m.m., hvorfor det findes interessant at undersøge om denne nye helikopterteknologi åbner muligheden for selv at generere ortofotos hurtigere og til færre penge. Det billedmateriale, der anvendes til at fremstille ortofotos i dag, bliver taget fra fly. Overflyvningen sker oftest med er par års interval, hvilket bevirker, at billedmaterialet hurtigt bliver forældet. Med mindre det vælges at rekvirere en ortofotoproducent til et specifikt projekt, er projektet afhængig af den valgte virksomheds beslutning om opdateringsfrekvens. Rekvireringen er dog en dyr løsning, idet der skal lejes fly, pilot, kamera m.m. Ved brug af en fjernstyret helikopter kan billederne fra luften blive billigere og hurtigere at erhverve.

Nybyggeri

Nellemann & Bjørnkjær oplyser, at i forbindelse med nybyggede områder efterspørges kortmateriale, der viser den nuværende situation, se bilag 1: Mødereferat Sky-Watch. Det kunne eksempelvis være kortmateriale, der viser hvor mange af de nye grunde i en udstykning, der er blevet bebygget. Som det er i dag, findes der ofte ikke sådanne informationer, idet det er COWIs ortofoto, der normalt anvendes her, og opdateringsfrekvensen sker på årsbasis. Ved at benytte helikoptere vil det formentlig være muligt, eksempelvis for et landinspektørfirma, hurtigt at fremstille et billigt ortofoto, når efterspørgslen melder sig.

Byggepladser

Ved større anlægsarbejder vil hyppigt opdaterede ortofotos også være brugbare. Det kan eksempelvis være, når de nye super sygehuse skal bygges. Her kan det være anvendeligt at få et nyt ortofoto eksempelvis en gang om måneden, således det vil være muligt at følge med i, hvorledes byggeriet skrider frem. Alt efter hvad der er brug for, er det ikke sikkert, det er nødvendigt at fremstille et ortofoto, i nogle tilfælde vil det være tilstrækkeligt med et luftfoto.

Situationsplaner

Ved at fremstille et ortofoto og digitalisere herudfra vil arbejdet i marken kunne mindskes. Denne type registrering findes anvendelig ved indmåling af vandløb eller andre steder, hvor et større område skal måles uden høje nøjagtighedskrav.

1.2 Samarbejdspartnere

Som beskrevet i sidste afsnit findes der mange relevante anvendelsesmuligheder for landinspektørbranchen. Gennem Nellemann & Bjørnkjær er der etableret kontakt til to virksomheder, der mener at kunne levere billedmateriale ved at stille deres udstyr til rådighed. Nedenfor vil de to virksomheder blive beskrevet. Deres udstyr beskrives ud fra de tekniske specifikationer tilgængelige på de respektive producenters hjemmesider. Under projektets opstartsfase blev der holdt møder med hver af de to virksomheder.

1.2.1 Green Stick Studio

Er et dansk firma, beliggende i Aalborg, der beskæftiger sig med marketing og interaktiv videoproduktion. Firmaet arbejder sammen med det tyske firma Aibotix fra 2010, der har udviklet to fjernstyrede helikoptere. Den model, dette projekt ønsker at teste, er udviklet, således det er muligt at fastspænde et spejlreflekskamera. Derudover er der monteret et lille videokamera, så det er muligt at se, hvilket område der overflyves. I Tabel 1 ses helikopterspecifikationer, der er opgivet på producentens hjemmeside.

Model	Aibot X6
Antal propeller	6
Vægt	2,5 kg
Bæreevne	2 kg
Kamera	Lille videokamera Ophæng til montering af spejlreflekskamera
GPS	Indbygget
Flyvehøjde*	Op til 2 km over jorden.
Flyvetid	40 min
Max vindhastighed	Ikke opgivet
Temperatur	0-40 °C
Fugttolerance	Ikke opgivet

Tabel 1 - Helikopterspecifikationer (Aibotix)

Anvendelsesmuligheder er ifølge producenten mange, eksempelvis:

- Kortlægning
- Friluftsevent
- Katastrofe/risiko vurdering
- Sikkerhedsforanstaltninger
- Gødskningsberegninger
- Inspektioner

Billede 1 – Helikopteren Aibot X6, Fotomateriale: Nellemann & Bjørnkjær

Under mødet med virksomheden blev der gjort opmærksom på den gældende lovgivning, der er inden for området, samt hvilke begrænsninger den medfører. Der var primært fokus på afstandskravet til bebyggelse og veje. Se bilag 2: Møderefe-rat Green Stick Studio.

1.2.2 Sky-Watch

Er ligeledes et dansk firma fra 2009, der har til huse i Støvring, Nordjylland. Firmaet har specialiseret sig i at lave mindre helikoptere, der kan foldes sammen, således de er lette at have med overalt. Virksomhedens mål er, at alle skal kunne flyve helikopteren på alle steder til alle tider. Det kamera der anvendes er et lille videokamera. Firmaet står for alt lige fra design, systemudvikling, programmering til produktion. I Tabel 2 ses helikopterspecifikationer, der er opgivet på virksomhedens hjemmeside.

Model	Huginn X1
Antal propeller	4
Vægt	1 kg

Bæreevne	100 g
Kamera	Mini videokamera 5 MP digital still kamera
GPS	Indbygget
Flyvehøjde	Op til 3 km over jorden
Flyvetid	30 min
Max vindhastighed	10 m/s
Temperatur	Ikke opgivet
Fugttolerance	Ikke opgivet

Tabel 2 – Helikopterspecifikationer (Sky-Watch)

Virksomheden nævner selv følgende anvendelsesmuligheder til systemet:

- Minerydning
- Visuel inspektion
- Miljøundersøgelser
- Kortlægning m.fl.

Billede 2 – Helikopteren Huginn X1 (Sky-Watch)

Den viden, der blev tilegnet omkring lovgivning fra mødet med Green Stick Studio, blev fremlagt ved mødet med Sky-Watch. Sky-Watch bekræftede dette og tilføjede, at den svenske lovgivning er anderledes og derfor ligeledes interessant at undersøge nærmere. På mødet blev det klarlagt, at det i øjeblikket ikke er muligt at påmontere et kamera på deres helikopter, der er i stand til at tage stillbilleder, hvorfor det vil være nødvendigt at tage frames ud af et videoklip til videre behandling. Se bilag 1: Mødereferat Sky-Watch.

1.3 Initierende problem

Som det fremgår af ovenstående indledning, er anvendelsesmulighederne mange for helikopterteknologien. For at afgrænse projektets omfang, vælges det at arbejde med fremstilling af et ortofoto. Ortofotos er det emne, der havde størst interesse hos projektgruppen og ligeledes er det et af de områder, Nellemann & Bjørnkjær gav udtryk for, er interessant i professionens optik. Det fremgår ligeledes af indledningen, at der på møderne blev gjort opmærksom på lovgivningen, og denne findes relevant at undersøge yderligere.
Dette leder frem til den følgende initierende problemstilling:

Hvilke begrænsninger i lovgivningen er der ved fremstilling af ortofotos,
hvordan fremstilles de traditionelt, og
hvilke ønsker har Nellemann & Bjørnkjær til et eget fremstillet ortofoto?

2 Foranalyse

I dette kapitel vil der blive foretaget en række undersøgelser, der skal bidrage til at besvare den initierende problemstilling fremsat i kapitel 1. Først vil der blive set nærmere på lovgivningen inden for området. Herefter vil den traditionelle måde hvorpå ortofotos fremstilles blive beskrevet. Umiddelbart efter dette vil der blive opstillet en kravspecifikation, og til sidst opstilles en endelig problemformulering for projektet.

2.1 Lovgivning

I dette afsnit vil der blive set nærmere på de gældende juridiske forhold inden for fotografering i det offentlige rum og flyvning med fjernstyret helikopter. Det findes relevant, da lovgivning kan begrænse hvilke områder, der kan arbejdes i. Først undersøges det, hvordan billeder må tages i det offentlige rum, samt hvordan disse må anvendes. Herefter undersøges det, hvordan flyvning med en fjernstyret helikopter skal forløbe jf. lovgivningen, og hvilke restriktioner der er i forhold til dette. Til sidst ses der nærmere på udenlandsk lovgivning for at belyse, om der findes andre restriktioner for flyvning med fjernstyret helikopter.

2.1.1 Billeder i det offentlige rum

I pjecen omkring privatlivets fred (Dansk Journalistforbund, 1999) beskrives det, hvilke billeder der er lovlige at tage og offentliggøre. Pjecen henvender sig til journalister, men lovgivningen omkring privatlivets fred er ligeledes gældende for andre. Forskellen er, at journalister tager billeder med nyheds- og informationsværdi, der kan findes vigtig for offentligheden at få kendskab til, hvorfor der nogle gange kan dispenseres fra lovgivningen.

I Tabel 3 er opstillet en oversigt, der viser hvilke områder, der er frit tilgængelige, samt hvilke områder, der ikke er tilgængelige uden forudgående aftale.

	Frit tilgængeligt	Ikke frit tilgængeligt
Offentlige gader, pladser, skove og parker	✓	
Private veje, stier i private skove og strandarealer	✓	
Huse, lejligheder		✓
Haver		✓
Biler	På åben gade	På privat område
Private virksomheder	Salgslokaler i åbningstiden, parkeringsplads ved f.eks. supermarked	Aflåste lokaler samt salgslokaler uden for åbningstiden
Offentlige kontorer	Servicelokalerne i åbningstiden f.eks. på et posthus eller på et rådhus	Borgmesterkontor og lign. hvor der f.eks. skal være en aftale om pressens adgang, samt servicelokalerne uden for åbningstiden

Hospitaler, fængsler, skoler og andre institutioner	✓
Jernbanevogne, fly	✓

Tabel 3 – Definition af frit tilgængelige områder (Dansk Journalistforbund, 1999 s. 5)

I henhold til projektet, kan det konkluderes, at så længe billederne tages på et frit tilgængeligt område i form at veje og stier, er der intet brud på privatlivets fred. Ved at få samtykke fra grundejere er det ligeledes lovligt at afbilde deres ejendomme. (Dansk Journalistforbund, 1999 s. 8) Det er ligeledes beskrevet, at billeder, der er taget fra et frit tilgængeligt sted, af personer på et ikke frit tilgængeligt sted, kan være lovlige, såfremt personerne ikke er motivet. *"Fx. vil det være lovligt at fotografere et gammelt, bevaringsværdigt hus, selv om der kommer en person med på billedet, fordi han/hun står i huset nær et af vinduerne."* Det er dog svært at definere denne grænse. (Dansk Journalistforbund, 1999 s. 6)

2.1.2 Luftfart med ubemandet luftfartøj

I Statens Luftfartsvæsens bestemmelser om Civil Luftfart BL 9.4 (Statens Luftfartsvæsen, 2004) er restriktionerne omkring flyvning med fjernstyret luftfartøj under 25 kg beskrevet. Afsnit 4 omhandlende de operationelle vilkår har særlig interesse i forhold til projektet. Punkterne i afsnit 4 fremgår i det efterfølgende:

a. *"Flyvningen skal udføres på en sådan måde, at andres liv og ejendom ikke udsættes for fare, og således at omgivelserne påføres så ringe ulempe som muligt*
b. *Afstanden til banen/banerne på en offentlig flyveplads som angivet på Kort & Matrikelstyrelsens kort (kort 25 eller 1:50.000) skal være mindst 5 km.*
c. *Afstanden til banen/banerne på en militærflyveplads som angivet på Kort & Matrikelstyrelsens kort (kort 25 eller 1:50.000) skal være mindst 8 km.*
d. *Afstanden til bymæssig bebyggelse og større offentlig vej skal være mindst **150** m.*
e. *Flyvehøjden må højst være 100 m over terræn.*
f. *Tæt bebyggede områder, herunder sommerhusområder og beboede campingpladser, samt områder, hvor et større antal mennesker er samlet i fri luft, må ikke overflyves.*
g. *De særligt følsomme naturområder, der er nævnt i BL 7-16, må ikke overflyves."*

Hvis der ønskes at flyve andre steder, end der er givet tilladelse til i bestemmelsen, må der søges en flyvetilladelse ved Center for Luftfart. Det er forsøgt at undersøge forholdene omkring en sådan flyvetilladelse, men som det fremgår af dagbogen, se bilag 3, er der ikke blevet svaret på henvendelse.

Der gælder dog en anden lovgivning for almindelig flyvning, hvilket skyldes, at flyet er bemandet. Her må flyvehøjden ikke være for lav, for ikke at genere nogen, og afstanden til bygninger og veje er ikke gældende. Flyvehøjden skal være mindst 1000 fod, hvilket svarer til ca. 300 meter, over højeste hindring i den korridor, der flyves i. Korridoren skal være 10 sømil på hver side af flyves rute, hvilket svaret til ca. 18,5 km.(Transportministeriet) Drejer det sig om erhvervsmæssig fotograferingsflyvning, er der desuden krav om en tilladelse fra Statens Luftfartvæsen inden flyvningen må udføres. (Statens Luftfartsvæsen) Denne tilladelse har en behandlingstid på højst 1 måned, men kan udskydes til en given dato, hvorved behandlingstiden kan blive længere. Desuden er der en række krav, der skal være opfyldt, inden tilladelsen kan gives. For eksempel skal

virksomheden selv eje flyet eller have eneret til anvendelsen gennem en lejekontrakt på minimum 2 år. (Statens Luftfartsvæsen) Det forventes, at disse krav er med til at gøre flyvning og luftfotografering dyrt.

2.1.3 Svensk lovgivning

Det vælges at undersøge den svenske lovgivning på området, da der under mødet med Sky-Watch blev nævnt, at den var anderledes. Forskellen på den svenske og den danske lovgivning består i, at de ubemandede luftfartøjer deles op i kategorier alt efter størrelse og effekt i Sverige. De relevante kategorier for dette projekt er 1A og 1B, der begge omhandler fly mindre end 7 kg. Kategorierne er beskrevet nedenfor ud fra beskrivelsen på den svenske transportstyrelses hjemmeside. (Transport Styrelsen (Sverige))

"Kategori 1A

Ubemandede luftfartøjer med en startvægt mindre end eller lig med 1,5 kg, som udvikler en maksimal kinetisk energi på 150 J.

Piloten skal med denne kategori af fartøjer vurdere en sikkerhedsafstand til mennesker, dyr og ejendom. Flyvningen skal udføres i en højde, så fartøjet altid er inden for synsvidde af piloten.

Kategori 1B

Ubemandede luftfartøjer med en startvægt på mere end 1,5 kg, men mindre end eller lig med 7 kg, som udvikler en maksimal kinetisk energi op til 1000 J.

*I denne kategori er der en sikkerhedsafstand på **50** m til mennesker, dyr og ejendom, samt en maksimal flyvehøjde på 120 m over terræn. Flyvningen skal udføres i en højde, så fartøjet altid er inden for synsvidde af piloten."*

Idet helikopteren fra Sky-Watch er under 1,5 kg, vil den være i kategori 1A, der ikke er så restriktiv som 1B. Dette vil give systemet et bredere anvendelsesområde.

Fælles for de to kategori 1 typer er, at flyvningerne skal foregå inden for synsvidde for piloten, hvilket betyder, at kikkert, kamera osv. ikke må anvendes til navigationen. (Transport Styrelsen (Sverige), 2009 s. 2) Hvis vægten på helikopteren overstiger 1,5 kg er forskellen på de to lovgivninger iøjefaldende ved sikkerhedsafstanden. Den svenske lovgivning virker mere realistisk end den danske, idet det er lovligt at flyve i en afstand af 50 meter til mennesker, dyr og ejendom. Dette afstandskrav virker fornuftigt idet, man må gå ud fra, at piloten kender sit udstyr, og vil være i stand til at navigere på forsvarlig vis. Det høje afstandskrav i den danske lovgivning kan have uhensigtsmæssige konsekvenser. Idet det er svært at efterleve afstandskravet og stadig få brugbare resultater, vil virksomheder i visse tilfælde flyve tættere på end tilladt, vel vidende at det ikke er lovligt.

2.2 Traditionel fremstilling af ortofotos

Et ortofoto er et kortprodukt, men modsat andre kort er det ikke fortolket manuelt, men viser området på optagetidspunktet. I det efterfølgende ses en liste over nogle af de anvendelsesmuligheder, ortofotos har:

- *"Visualisering af projektforslag*
- *Projekteringsgrundlag*
- *Analyse af arealanvendelse*
- *Genkendelse af objekter*

- *Baggrundsbilleder for andre kortinformationer som tekniske kort, matrikelkort, arealanvendelseskort*
- *Præsentationsmateriale og borgerinformation*
- *Digitalisering af særlige emner og temaer*
- *Måling af afstande og arealer*
- *Kontrol af andre kortprodukter*
- *Ændringsanalyser og historisk dokumentation*
- *3D visualisering, drapering på højdemodel"* (Geoforum, 2005 s. 6)

Ortofotos har især sin force, når det drejer sig om visualisering eller som supplerende baggrundskort for andre kortinformationer. Ifølge ortofoto specifikationen (Geoforum, 2005 s. 6) er den normale arbejdsgang ved ortofotofremstilling følgende:

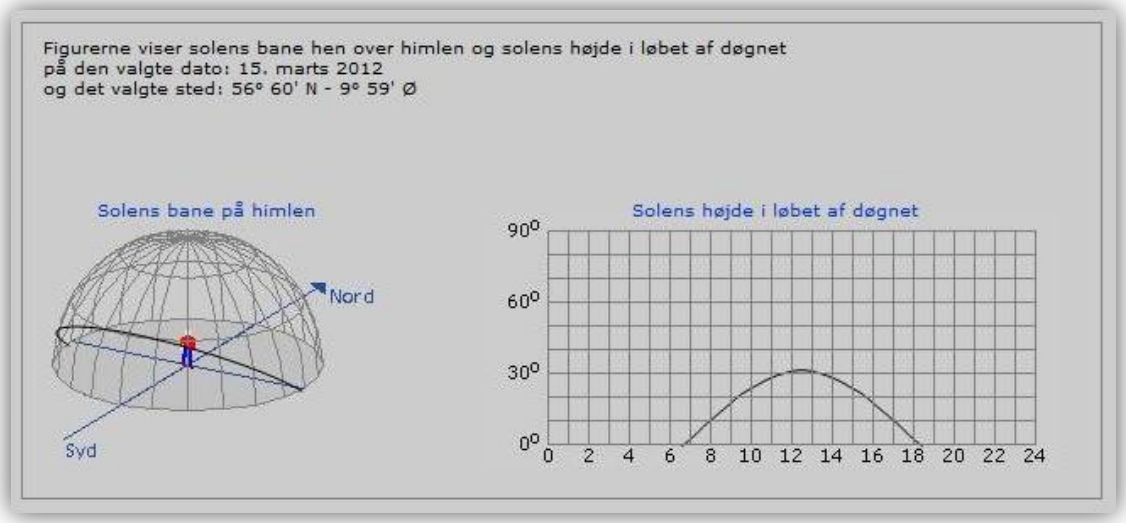
- *"Flyvefotografering*
- *Scanning af fotos*
- *Aerotriangulation**
- *Etablering af egnet digital højdemodel (genereres automatisk og redigeres manuelt, eller dannes ud fra eksisterende kortdata). Evt. forefindes der i forvejen en brugbar højdemodel*
- *Generering af ortofoto for de aktuelle fotos*
- *'Sammensyning' af ortofoto-stumperne fra alle fotos til et eller flere ortofotos (mosaik)*
- *Farvejustering (farve- og kontrastudjævning og meget andet)"*

Scanning af fotos gennemføres dog ikke længere, da der arbejdes med digitale billeder.

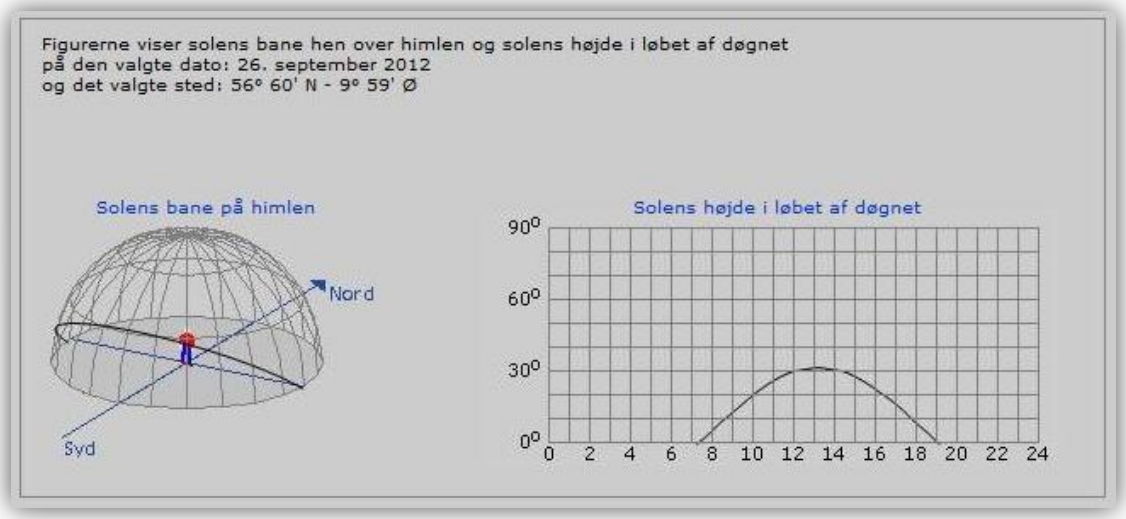
2.2.1 Flyvefotografering og orientering*

Før et ortofoto kan dannes, er det nødvendigt at tage billeder, der kan anvendes til det ønskede formål. Optagetidspunktet har stor betydning for, hvilke informationer ortofotoet giver. Alt efter hvad ortofotoet skal benyttes til, må tidspunktet på året, hvor luftfotoerne tages, vælges med omhu. Hvis der er ønske om stor detaljeringsgrad, skal billederne tages inden løvspring, da det visuelt er muligt at se flere objekter på jordoverfladen. Er det vigtigst at få et visuelt flot kort, kan man med fordel vente med at tage billederne til om sommeren, hvor vegetationen fremstår pænere, og hvor der også er flere dage, hvor vejret egner sig til at flyve i.

For at der kan opnås et godt billedresultat, er det vigtigt, at vejret er klart med gode lysforhold. Klart vejr kan dog give skygger, der giver problemer, hvis de bliver for lange, hvorfor solhøjden bør være mindst 30° over horisonten. I Danmark findes der et par timer omkring middag fra midten af marts, hvor dette opfyldes. (Geoforum, 2005 s. 9) Efter slutningen af september kommer solhøjden ikke over de 30°. Dette illustreres på Figur 1 og Figur 2, der viser situationen for Aalborg. Udover skygger betyder en lav solhøjde, at objekter på jorden kan fremstå forskelligt, hvis de bliver afbildet fra forskellige sider. Dette er problematisk, når ortofotoet senere skal gøres ensartet. En høj solhøjde kan derimod give hotspots, der er steder i billederne, hvor solen giver meget genskin, og afbildningen dermed ikke er korrekt. (Geoforum, 2005 s. 30)



Figur 1 - Solhøjden ved Aalborg den 15. marts 2012



Figur 2 - Solhøjden ved Aalborg den 29. september 2012

Luftfotos tages i striber, hvor billederne i de enkelte striber tages med et længdeoverlap. Overlappet* skal minimum være 50 %, således der ikke opstår "huller" i modellen, hvis luftfotos skal anvendes til generering af højdemodellen. Hvis dette ikke ønskes, kan et mindre overlap på minimum 20 % være tilstrækkeligt (Geoforum, 2005 s. 36). Ved et lavt overlap bliver der ikke taget så mange billeder, hvorfor det bliver billigere at fremstille ortofotoet. Dette betyder dog, at et større område skal farvelægges på baggrund af det samme billede.
Efter luftfotos er blevet optaget, skal de orienteres. Dette gennemføres ved en aerotriangulation, hvor billederne orienteres relativt* i forhold til hinanden ved hjælp af fællespunkter i overlappet og absolut* ved hjælp af indmålte paspunkter*.

2.2.2 Digital HøjdeModel (DHM)

Ud over luftfotos skal der også anvendes en højdemodel til at fremstille ortofotos. En højdemodel er en fællesbetegnelse for en Digital Overflade Model, DSM, og Digital Terræn Model, DTM. På engelsk oversættes overflade til surface, hvorfra s'et i DSM stammer. DSM'en beskriver "*højden til den synlige overflade, dvs. bl.a. højden på bygninger og bevoksning.*" (Geoforum, 2005 s.

16) DTM'en beskriver terrænet, altså det der er tilbage, hvis man skræller bygninger og bevoksning mv. væk. I dag benyttes en luftbåren laserscanner for det meste til at indsamle data til en digital højdemodel. Det er derudover muligt at generere en højdemodel fotogrammetrisk ved hjælp af luftfotos.
Metoden der benyttes til at omdanne kotepunkterne til en fladedækkende beskrivelse af terrænet er ofte TIN (Triangulated Irregular Network). Her forbindes punkterne, således der opstår et net af trekanter. (Geoforum, 2005 s. 16)
Oftest er det DTM'en, der anvendes til at lave ortofotos. Her skal man dog være opmærksom på, at de objekter, der tidligere er blevet skrællet væk, kan blive afbildet på en sådan måde, at de kommer til at fremstå, som om de "ligger ned". Det afhænger af om objektet, eksempelvis en bygning, er placeret i midten eller ved kanten af det luftfoto, der anvendes til at fremstille ortofotoet. Er bygningen placeret ved kanten af luftfotoet vil den "ligge" meget ned, og dermed også skygge for det område, der ligger bag bygningen. På grund af dette vil det ikke være muligt at måle ved terrænet i dette område. På Figur 3 og Figur 4 ses forskellen på, om ortofotoet er lavet på baggrund af luftfotoets midte eller fra luftfotoets kant.

Figur 3 - Ortofoto lavet fra luftfotoets kant (Geoforums Ortofotoudvalg, 2011 s. 3)

Figur 4 - Ortofoto lavet fra luftfotoets midte (Geoforums Ortofotoudvalg, 2011 s. 3)

Hvis man vil undgå ortofotos med sådanne utilgængelige områder, må man lave de såkaldte true ortofoto. Her benyttes DSM'en i stedet for DTM'en, og luftfotoene udvælges, så der benyttes de billeder, hvor det er muligt at se, hvor bygningen rammer terrænet. Det er derfor mere kompliceret at fremstille disse true ortofotos, og det er meget vigtigt, at DSM'en er meget nøjagtig og har en høj detaljeringsgrad de steder, hvor der er store højdeforskelle, eksempelvis der hvor bygninger skærer terrænet. (Geoforum, 2005 s. 16)
Da det er mere kompliceret at fremstille disse true ortofoto, er det vigtigt at fastslå, hvad kortet skal anvendes til. Hvis det blot er som visualiseringsredskab er det måske ikke nødvendigt, og et almindeligt ortofoto kan være tilstrækkeligt. Men skal der måles i byområder i nærheden af bygninger kan et true ortofoto være den rette løsning. Ønskes det at måle i et almindeligt ortofoto, skal det være ved terræn, eksempelvis på veje, åer eller lignende.

2.2.3 Generering af ortofotos

Den vigtigste egenskab ved ortofotos er, at de er målfaste, med visse undtagelser. Det vil sige, at hvis en afstand kendes i virkeligheden, eksempelvis på 10 m, så vil den også være 10 m i billedet, og det vil gælde lige meget hvor i billedet, den er placeret. Dette er ikke tilfældet ved almindelige luftfotos. Her kan afstanden godt variere, selvom de i virkeligheden skulle være den samme. Dette skyldes bl.a., at luftfotos er drejet og vippet. (Geoforums Ortofotoudvalg, 2011 s. 2) Luftfo-

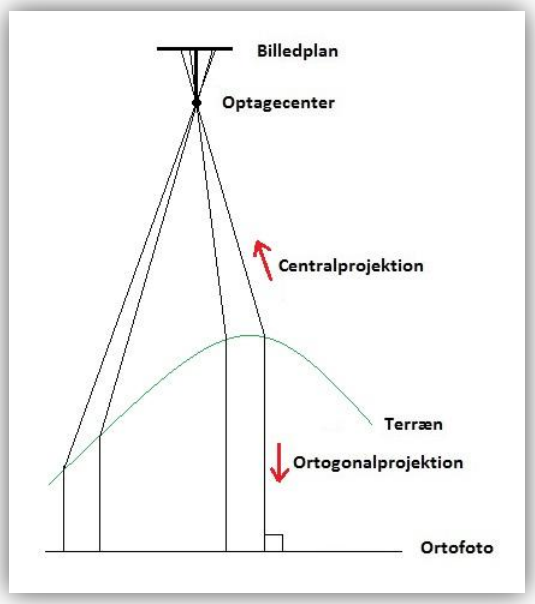
tos er desuden en centralprojektion, hvor alle objekter i billedet er taget gennem det samme centrale punkt - linsen. Den type projektion kan give fortegninger i billedet, hvor der forekommer højdevariationer, og målforholdet vil også variere i billedet, idet det beregnes på baggrund af kamerakonstanten* og flyvehøjden, der som sagt varierer. Dette fremgår af efterfølgende formlen.

$$1/M = c/h$$

(Brande-Lavridsen, 1990 s. 58)

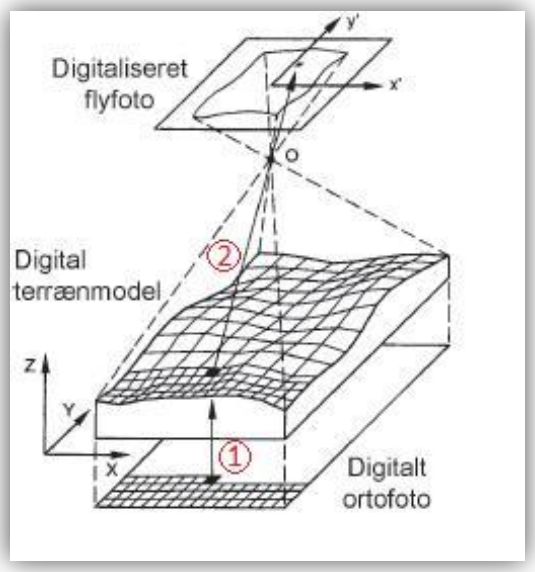
Hvor 1/M er billedets målforhold
c er kamerakonstanten
h er flyvehøjden

Modsat luftfotos så er ortofotos en ortogonalprojektion. Ved en ortogonalprojektion er der ikke et centralt punkt, hvor alle punkter stråler igennem. Derimod betragtes alle punkter, som om de er taget lige oppe fra. (Geoforum, 2005 s. 5) På Figur 5 ses forskellen på central- og ortogonalprojektionerne. Her ses, at afstanden er den samme mellem punkter i ortofotoet, hvor punkter i billedet har forskellig afstand.



Figur 5 - Ortogonalprojektion

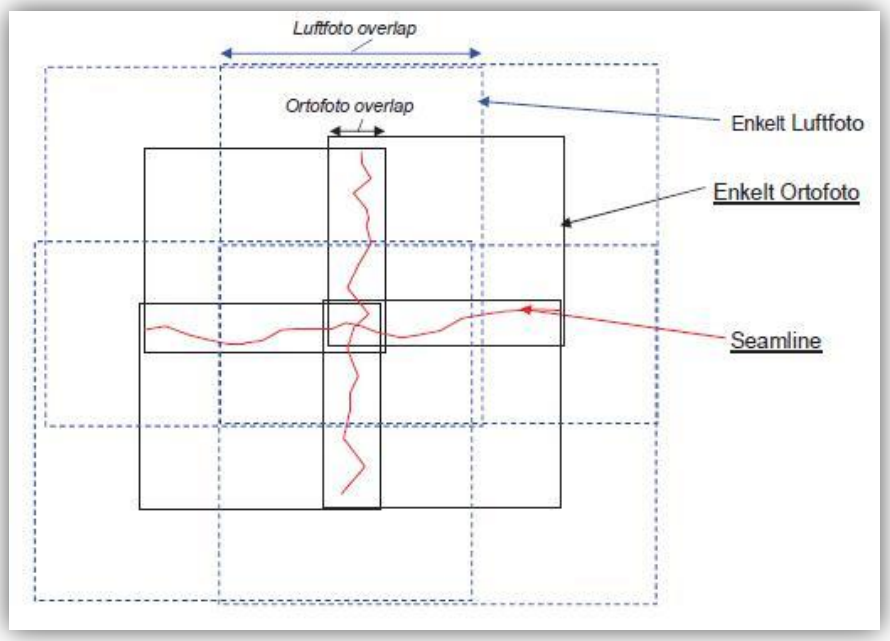
Når ortofotos skal genereres, bliver det gjort ved hjælp af stråleligningerne*. Idet kameraets orientering er kendt, og terrænets overflade kendes gennem højdemodellen, er det muligt at benytte stråleligningerne til at fremstille ortofotoet. Først bestemmes koten til hver enkelt pixel*. Dette gøres ved at anvende højdemodellen, se Figur 6 trin 1. Dernæst bestemmes positionen i billedet ved hjælp af stråleligningerne Figur 6 trin 2. (Geoforum, 2005 s. 28)
Der er forskel på, hvorledes origo defineres i ortofotoet. Ofte er det midten af den første pixel, men det kan også være en halv pixel uden for, eller det kan være et helt andet sted. (Geoforum, 2005 s. 27)



Figur 6 - Ortofotofremstilling efter: (Geoforum, 2005 s. 28)

2.2.4 Mosaik og farvejustering

Normalt laves et ortofoto af et enkelt luftfoto, undtaget hvis det drejer sig om et true ortofoto. Hvis området hvorover, der ønskes dannet et ortofoto, er for stort til at blive afbildet på et enkelt ortofoto, anvendes flere enkelte ortofotos. De enkelte ortofotos kombineres i en mosaik langs definerede sømlinjer. Sømlinjerne kan dannes manuelt, semiautomatisk eller automatisk, men ved at danne dem manuelt kan de for eksempel placeres langs veje, så bygninger og lignende ikke "klippes" over. (Geoforum, 2005 s. 31) En illustration over, hvordan ortofotos sættes sammen til en mosaik kan ses på Figur 7.



Figur 7 – Luftfotos, ortofotos og sømlinjer (Geoforum, 2005 s. 32)

For at opnå en ensartethed i mosaikken justeres alle ortofotos i forhold til hinanden, så der ikke er store farveforskelle. Hvis denne justering ikke foretages kan forskellene være store, specielt langs sømlinjerne. En ortofotomosaik før farvejustering kan ses på Figur 8 og mosaikken efter kan ses på Figur 9.

Figur 8 - Ortofotomosaik før farvejustering (Geoforum, 2005 s. 31)

Figur 9 - Ortofotomosaik efter farvejustering (Geoforum, 2005 s. 31)

2.2.5 Ortofotoets nøjagtighed

Til at vurdere ortofotoet kan nøjagtighedsbegrebet anvendes. Ortofotoets nøjagtighed afhænger af 3 forskellige forhold:

- Kvaliteten af luftfotos
- Orienteringen af luftfotos
- Højdemodellens nøjagtighed

For at sikre en god kvalitet i luftfotos er det en nødvendighed at have kendskab til, hvordan det anvendte kamera indstilles korrekt. Derudover er det vigtigt, at det kamera der benyttes til at tage billederne er kalibreret, således det er muligt at korrigere billederne for eventuelle linsefortegninger*.

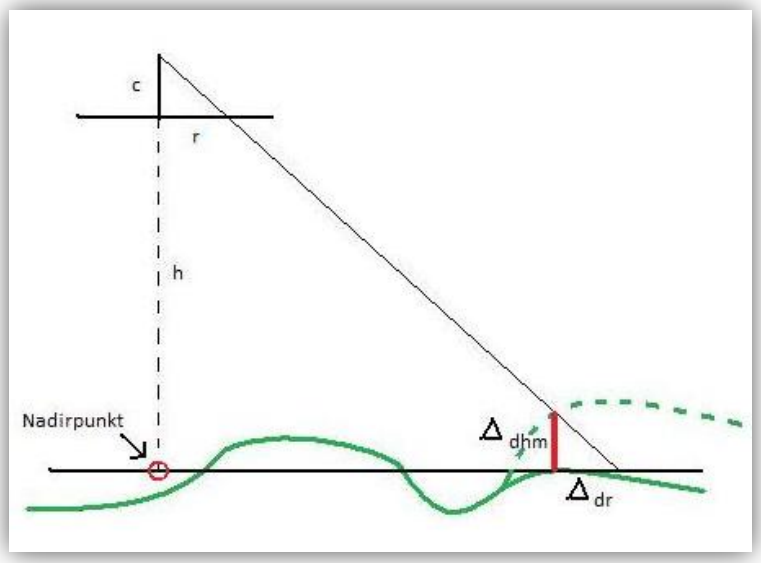
Orienteringens nøjagtighed betegnes som **punktmiddelfejl i billedet σ_{ob}.** Punktmiddelfejl er en anden betegnelse for spredning*, men da teorien omkring ortofotos er skrevet på baggrund af ortofotospecifikationen (Geoforum, 2005), er det denne betegnelse, der anvendes. Punktmiddelfejlen i billedet, σ_{ob}, benyttes til at beregne **punktmiddelfejlen i terrænet σ_o** på følgende måde:

$$\sigma_o = M \cdot \sigma_{ob} = \frac{h \cdot \sigma_{ob}}{c}$$

(Geoforum, 2005 s. 19)

Hvor σ_{ob} er punktmiddelfejlen i billedet fra orienteringen
M er billedets målforhold
c er kamerakonstanten
h er flyvehøjden

Højdemodellens fejlbidrag er ikke ens i hele ortofotoet. Fejlbidraget afhænger af hvor langt fra nadirpunktet, punktet er. Drejer det sig om et punkt, der er direkte i nadirpunktet, hvilket vil sige det er direkte under optagecentret*, så er fejlbidraget nul. Fejlbidraget stiger lineært i takt med afstanden til nadirpunktet øges. Figur 10 viser, hvordan en fejl i højdemodellen giver en forkert afbildning i ortofotoet.



Figur 10 - Højdemodellens fejlbidrag. Den stiplede grønne angiver en forkert højdemodel.
Frit efter: (Geoforum, 2005 s. 20)

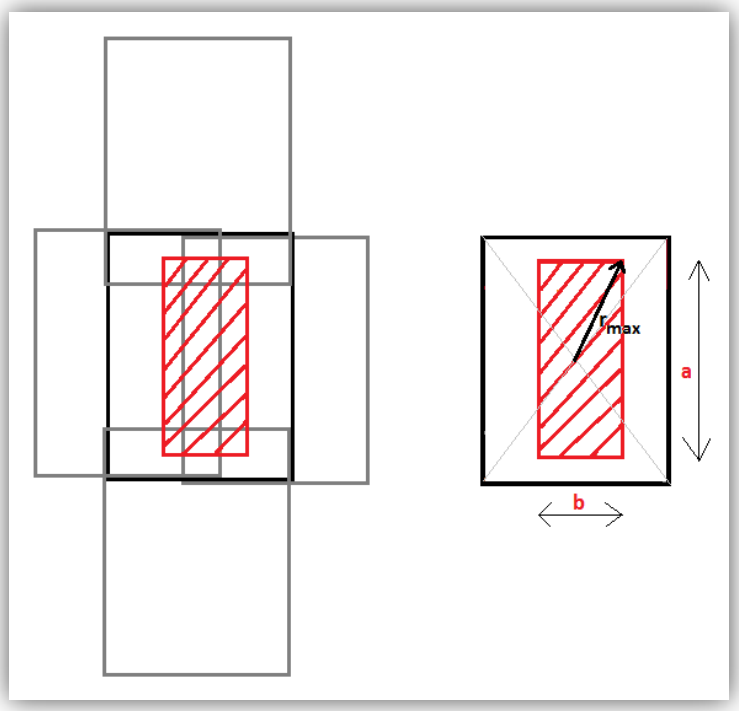
Fejlen i ortofotoet kan beregnes på følgende måde:

$$\Delta_{dr} = \frac{r}{c} \cdot \Delta_{dhm}$$

(Geoforum, 2005 s. 24)

Hvor Δ_{dhm} er fejlbidraget fra terrænmodellen
r er afstanden fra nadirpunktet målt i billedet
c er kamerakonstanten

En måde at reducere fejlbidraget fra højdemodellen er ved kun at benytte den mest centrale del af billedet. Det område, der anvendes, kaldes det effektive billedareal, og dette er illustreret på Figur 11.



Figur 11 - Effektivt billedareal

På Figur 11 fremgår den maksimale afstand fra nadirpunktet, der kan beregnes som følgende:

$$r_{\max} = \frac{1}{2}\sqrt{a^2 + b^2}$$

Hvor a og b er dimensionerne på det effektive billedareal

Betragtes terrænmodellens fejl som en højdemiddelfejl på σ_{dhm}, kan den maksimale påvirkning på ortofotoets nøjagtighed beregnes som følgende:

$$\sigma_{dr\,max} = \frac{\sqrt{a^2 + b^2}}{2 \cdot c} \cdot \sigma_{dhm}$$

Betragtes de to fejlbidrag fra henholdsvis orienteringen og højdemodellen som uafhængige, så kan den **samlede maksimale punktmiddelfejl σ_{omax}** i ortofotoet beregnes vha. følgende formel:

$$\sigma_{omax} = \sqrt{\left(\frac{\sqrt{a^2 + b^2}}{2 \cdot c} \cdot \sigma_{dhm}\right)^2 + \left(\frac{h \cdot \sigma_{ob}}{c}\right)^2}$$

(Geoforum, 2005 s. 21)

Hvor σ_{dhm} er højdemiddelfejlen fra terrænmodellen
c er kamerakonstanten
σ_{ob} er punktmiddelfejlen i billedet fra orienteringen
h er flyvehøjden

a og b er dimensionerne på det effektive billedareal,
a = (1-q/100)*s
b = (1-p/100)*s

Hvor s er billedformatet
q er sideoverlappet
p er længdeoverlappet

Den gennemsnitlige nøjagtighed kunne ligeledes beregnes, men findes ikke relevant, da det er mere interessant at kende den største fejl. Ved at kende den største fejl er det muligt at vurdere, om produktet lever op til kravene.

Hvis ortofotoet fremstilles vha. en DTM, vil bygningerne som beskrevet tidligere komme til at "ligge ned", dvs. de vil blive afbildet forkert. Forskydningen af bygningen vil afhænge af afstande til nadirpunktet i billedet. Forskydningen beregnes som:

$$\Delta_{hus} = \frac{r \cdot h}{c}$$

(Geoforum, 2005 s. 24)

Hvor r er afstanden fra nadirpunktet i billedet
c er kamerakonstanten
h er husets højde

Når et ortofoto skal laves, står producenten i dilemmaet mellem økonomi og nøjagtighed. Hvis en høj nøjagtighed ønskes, er det nødvendigt at tage flere billeder fra lavere højde. Dette resulterer i et højere tidsforbrug og dermed en højere pris. En højere flyvehøjde vil bevirke, at pixelstørrelsen bliver større og dermed bliver det sværere at definere specifikke objekter. Desuden vil en højere flyvehøjde betyde, at rystelserne af kameraet vil få større betydning i billedet.

2.3 Kravspecifikation

I dette afsnit opstilles en kravspecifikation for det ortofoto, som projektet skal resultere i. Kravspecifikationen udarbejdes i samarbejde med Nellemann & Bjørnkjær. Nellemann & Bjørnkjær har investeret i PhotoModeler Scanner og ønsker nu at undersøge, om det kan anvendes til fremstilling af ortofotos. Dette stemmer overens med projektgruppens ønsker om fremstilling af ortofotos samt at få større erfaring med PhotoModeler Scanner. Ortofotofremstilling i Photo-

Modeler Scanner er en naturlig forlængelse af det projekt, der tidligere er blevet gennemført på studiets 7. semester.
Nellemann & Bjørnkjær er interesserede i at lave ortofotos over et område med varierende højder og forskellige belægninger. Det vil være interessant at finde ud af, hvordan PhotoModeler Scanner formår at håndtere højdeforskelle.
I projektet skal der findes en balance mellem kvaliteten af det endelige produkt, og ressourcerne brugt på at opnå dette. Nøjagtigheden på ortofotoet skal være mindst ligeså god som et eksisterende ortofoto.

Kravspecifikationen for ortofotofremstilling er som følger:

- Luftfotos skal være taget som stillbilleder
- Fremstilling ved hjælp af PhotoModeler Scanner
- Nøjagtigheden skal være mindst ligeså god som et eksisterende ortofoto
- Flyvehøjden skal være så høj som muligt
- Området skal indeholde varierende højder, f.eks. grøfter eller bygninger
- Gældende lovgivning på området skal overholdes

Siden mødet med Sky-Watch har projektgruppen forsøgt at komme i kontakt med virksomheden men uden held. Derudover er udstyret pt. kun i stand til at lave videoklip, der ikke har samme kvalitet som stillbilleder. Dette betyder, at der herefter vælges ikke at have yderligere samarbejde med virksomheden. Videre i projektet vil der derfor arbejdes med det billedmateriale, Green Stick Studio kan levere.

2.4 Problemformulering

I foranalysen blev der redegjort for, hvor og under hvilke forhold det er tilladt at tage billeder. Herefter blev det klarlagt, hvilke forskelle der er på den danske og den svenske lovgivning i forhold til at flyve med ubemandede luftfartøjer. Her blev det tydeligt, at de danske regler er mere restriktive end de svenske, specielt med hensyn til sikkerhedsafstande.
I afsnittet omhandlende traditionel ortofotofremstilling blev det beskrevet, hvilke styrker og svagheder et ortofoto har. Derudover blev den traditionelle arbejdsgang gennemgået, hvor det blev fastlagt, at der skal anvendes et luftfoto samt en højdemodel for at kunne fremstille et ortofoto. Til sidst blev det beskrevet, hvorledes det er muligt at vurdere, hvilken nøjagtighed ortofotoet har.
Slutteligt blev der opstillet en kravspecifikation for fremstillingen af ortofotos.
Dette leder frem til den endelige problemformulering for projektet:

Hvilken kvalitet kan der opnås ved fremstilling af ortofotos i PhotoModeler Scanner, når billederne er taget fra en fjernstyret helikopter?

2.4.1 Uddybning af problemformulering

I problemformuleringen fremgår det, at kvaliteten af ortofotos skal undersøges. Idet begrebet kvalitet favner bredt, er det nødvendigt at uddybe, hvad kvalitet er i forhold til dette projekt.
Kvalitet i projektet skal forstås som:

- Hvordan ortofotoet fremstår visuelt?
- Hvordan plankoordinater i ortofotoet stemmer overens med plankoordinater i et eksisterende ortofoto?
- Hvordan plankoordinater i ortofotoet stemmer overens med terrestrisk målte punkter?
- Hvordan en højdemodel fremstillet i PhotoModeler Scanner stemmer overens med en eksisterende højdemodel?

3 Metode

I dette kapitel opstilles metoden for, hvordan projektet opbygges for at kunne svare på problemformuleringen, der blev opstillet i det forrige kapitel. Af Figur 12 fremgår hvilke elementer, der vil indgå i analysen. Først gennemføres en række indledende undersøgelser for at sikre, at flyvningen udføres mest hensigtsmæssig. Dernæst vil kameraerne, der skal anvendes til at tage luftfotos, blive kalibreret. Efter dette ændrer projektet sig, og fremstillingen af ortofotos gennemføres med billeder fra en gruppe i Ballerup.

Figur 12 - Analysens indehold

4 Indledende undersøgelser

Formålet med kapitlet er at udføre en række indledende undersøgelser. Disse ønskes gennemført inden selve flyvningen, idet det er vigtigt, at det er fastlagt, hvad der skal gennemføres på flyvedagen, så der opnås brugbare resultater.
Først vil Green Stick Studios udstyr blive beskrevet, samt hvordan kameraer og linser sættes op inden flyvningen. Dernæst vil der blive lavet en undersøgelse omhandlende det danske vejr, idet vejret er en afgørende faktor for, om det kan lade sig gøre at tage luftfotos fra en helikopter. Efterfølgende vil der blive lavet en undersøgelse omhandlende billedkvaliteten. Til sidst opsummeres kapitlet.

4.1 Green Stick Studio

Green Stick Studio vil blive anvendt som samarbejdspartner gennem projektet, hvorfor firmaets helikopter- og kameraudstyr beskrives i det efterfølgende.

4.1.1 Helikopter – Aibot X6

På mødet med Green Stick Studio blev det klart, at de specifikationer, der er nævnt på helikopterproducentens hjemmeside ikke stemmer overens med helikopterens formåen, se bilag 2: Mødereferat Green Stick Studio. For at gøre det klart, hvilke forskelle der er, vil der blive opstillet en tabel, der viser dette.

	Producentspecifikationer	Oplyst fra Green Stick Studio
Antal propeller	6	-
Vægt	2,5 kg	-
Bæreevne	2 kg	-
Kamera	Lille videokamera Ophæng til montering af spejlreflekskamera	Intet videokamera, kun ophæng til montering af separat kamera
GPS	Indbygget	Navigation ved hjælp af GPS er ikke mulig
Flyvehøjde	Op til 2 km over jorden.	Op til 100 m
Flyvetid	40 min	Omkring 6 min
Maks. vindhastighed	Ikke opgivet	8-9 m/s
Temperatur	0-40 °C	Tåler ikke frost
Fugttolerance	Ikke opgivet	Tåler ikke vand

Tabel 4 - Faktiske specifikationer på Aibot X6

Som det fremgår af Tabel 4, er der stor forskel på det, producenten oplyser på hjemmesiden og det Green Stick Studio har erfaret, specielt hvad angår flyvehøjde og -tid. Desuden manøvreres helikopteren ikke ved hjælp af GPS, og det er derfor vanskeligt for en uerfaren bruger at flyve den. Grundet dette anvender Green Stick Studio en erfaren pilot til firmaets flyvninger.

Når planlægningen af en flyvning finder sted, er det nødvendigt at være opmærksom på helikopterens begrænsninger i forhold til vejret. Helikopteren er følsom overfor vind, og kan ikke flyve, når det blæser over 8-9 m/s. Ligeledes er elektronikken følsom over for lave temperaturer og vand, hvilket betyder, at flyvning i frost- og regnvejr ikke er muligt i øjeblikket.

4.1.2 Kamera- og linsespecifikationer

På det første møde med Green Stick Studio fremlagde virksomheden, at de har flere kameraer til rådighed. Bl.a. et Canon EOS 5D mark II og et Canon EOS 60D. Efterfølgende i rapporten vil de to kameraer blive omtalt 5D-kameraet og 60D-kameraet. Specifikationerne kan ses i Tabel 5.
Indledningsvist var det meningen at arbejde med 5D-kameraet, da det har en bedre opløsning. Dette har imidlertid været problematisk, da et styrt på en anden opgave medførte at kameraophænget blev beskadiget. Dette skabte tvivl om, hvornår det ville være muligt at flyve med 5D-kameraet igen. Det vælges derfor at arbejde videre med begge kameraer i tilfælde af, at 5D-ophænget bliver klart til flyvning igen.

	Canon EOS 5D mark II (Canon, 2008 s. 212-214)	**Canon EOS 60D (Canon, 2010 s. 294-296)**
Billedchipstørrelse*	Ca. 36 x 24 mm	Ca. 22,3 x 14,9 mm
Opløsning*	5616 x 3744 pixels	5184 x 3456 pixels
Pixelstørrelse	6.4 µm	4.3 µm
Lukkertid*	1/8000 til 30 s	1/8000 til 30 s
ISO*	100 til 6400	100 til 6400
Lukker*	Elektronisk styret spaltelukker	Elektronisk styret spaltelukker

Tabel 5 – Kameraspecifikationer

Eos Systems anbefaler at anvende linser med fast kamerakonstant til PhotoModeler projekter. (Eos Systems 1) Derfor vælges det at arbejde med Green Stick Studios 50 mm f/1.2L USM linse. Specifikationerne for linsen kan ses i Tabel 6.

Kamerakonstant	**50 mm**
Blænde*	f/16 til f/1.2
Fokus*	0.45 m til ∞ (Fikseret på ∞)
Billedstabilisator*	Nej

Tabel 6 - Linsespecifikationer aflæst på linsen (Canon)

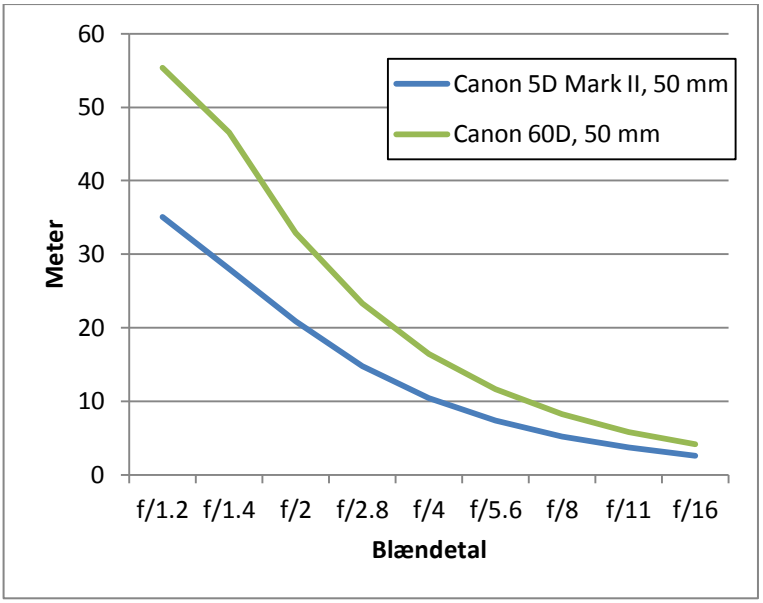
Ud fra disse specifikationer er der blevet udarbejdet scripts til beregninger gennem projektet. MatLab filerne Canon5D.m og Canon60D.m findes i scriptsmappen på bilags Cd'en. Scriptene benyttes bl.a. til at beregne, hvor meget billedet dækker i virkeligheden ved forskellige flyvehøjder. Der vælges at lave beregninger med et interval på 5 meter, da det er uvist om helikopteren er i stand til at flyve helt op til 100 m og producere anvendeligt billedmateriale. De virkelige dimensioner på billedet ved forskellige flyvehøjder kan ses i Tabel 7.

Flyvehøjde (m)	Billedbredde i virkeligheden (m)		Billedhøjde i virkeligheden (m)	
	5D-kameraet	60D-kameraet	5D-kameraet	60D-kameraet
5	3,60	2,23	2,40	1,49
10	7,20	4,46	4,80	2,97
15	10,80	6,69	7,20	4,46
20	14,40	8,92	9,60	5,94
25	18,00	11,15	12,00	7,43
30	21,60	13,37	14,40	8,92
35	25,20	15,60	16,80	10,40
40	28,80	17,83	19,20	11,89
45	32,40	20,06	21,60	13,37
50	36,00	22,29	24,00	14,86
55	39,60	24,52	26,40	16,35
60	43,20	26,75	28,80	17,83
65	46,80	28,98	31,20	19,32
70	50,40	31,21	33,60	20,81
75	54,00	33,44	36,00	22,29
80	57,60	35,67	38,40	23,78
85	61,20	37,90	40,80	25,26
90	64,80	40,12	43,20	26,75
95	68,40	42,35	45,60	28,24
100	72,00	44,58	48,00	29,72

Tabel 7 – Billeddimensioner i virkeligheden ved forskellige flyvehøjder, jf. scripts

En anden ting, der er vigtig at være opmærksom på er, hvornår dybdeskarpheden* indtræffer. Dybdeskarpheden er afhængig af, hvilken blænde der benyttes til at tage billederne, det valgte objektivs kamerakonstant samt billedchipstørrelsen.

På Graf 1 illustreres det, hvornår dybdeskarpheden indtræffer for de to kameraer. Forskellen mellem de to kurver skyldes, at billedchippen er af forskellig størrelse. Dette konkluderes, idet objektivet og blændetallene er de samme for begge kamera.



Graf 1 - Afstanden hvor dybdeskarpheden indtræffer, med fokus på ∞, ved forskellige blændetal

4.2 Kameraparametre

For at opnå en tilfredsstillende kvalitet af billederne, som PhotoModeler Scanner kan arbejde med, er det vigtigt at være opmærksom på, hvordan kameraet sættes op. Der er tre centrale elementer, der kan justeres for at give gode billeder. Elementerne kan kombineres på forskellige måder for at give mulighed for at opnå god kvalitet i de fleste situationer. De tre elementer er lukkertiden, ISO-værdien og blænden. I dette projekt er lukkertiden det vigtigste element, idet kameraet anbringes på en ustabil platform. Dette betyder, at lukkertiden skal sættes så kort, at der ikke er rystelser fra helikopteren i billedet. På baggrund af dette sættes lukkertiden til 1/250 s, hvilket vurderes at være hurtigt nok til at få billedet til at stå skarpt. En indledende undersøgelse med uni-kameraet har vist, at billederne skal tages med en blænde på f/4 eller mindre. Denne blændeundersøgelse findes som appendiks 1. For at tage billeder med en lav lukkertid, uden at blænden bliver for stor, vælges det at sætte ISO-værdien til 800. Denne ISO værdi vælges på baggrund af (Tybjerg tekst & foto 2), hvor det fremgår, at det er muligt at opnå korte lukkertider ved den ISO værdi. Den korte lukkertid gør det muligt at fryse objekter i bevægelse. Idet der flyves med en helikopter, der hele tiden bevæger sig, er dette at foretrække.
Blænden sættes til automatisk at justere sig efter forholdene, så billederne bliver eksponeret rigtigt. Viser det sig, at blænden bliver større end f/4, når billederne tages, er det nødvendigt at revurdere opsætningen. De valgte parametre fremgår af Tabel 8.

Lukkertid	1/250 s
ISO	800
Blænde	Automatisk

Tabel 8 – Kameraopsætning til flyvning

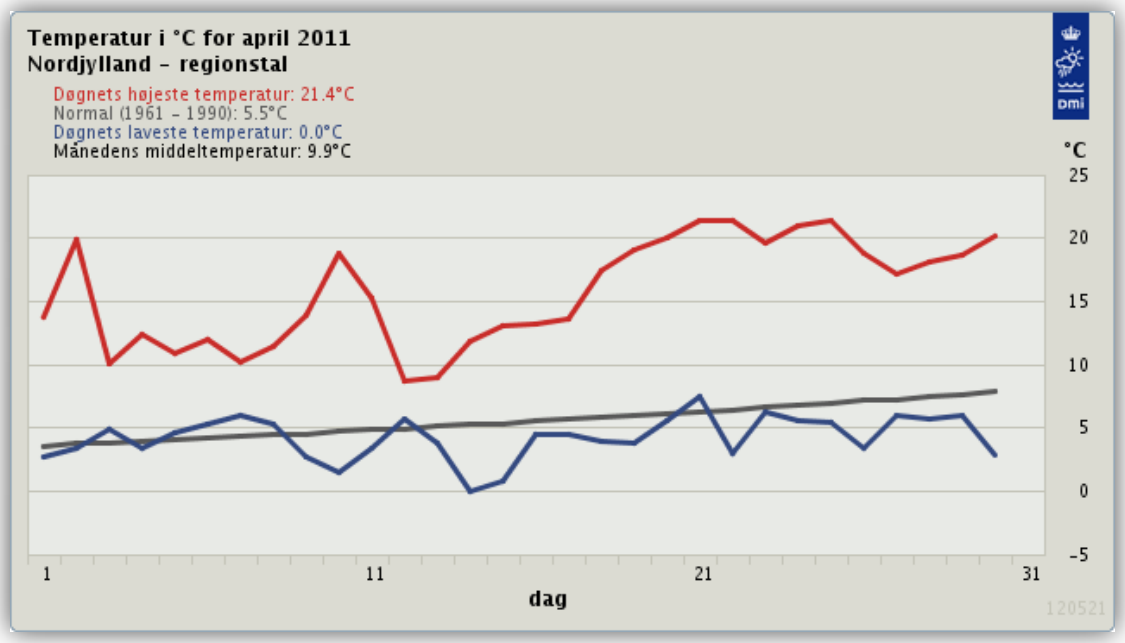
Som det fremgår af tabellen, er lukkertiden sat til 1/250 s, hvilket ikke er det hurtigste, kameraet kan præstere. Denne lukkertid er valgt, for at mindske effekten af rystelserne fra helikopteren på billederne, uden at blænden bliver for stor. Green Stick Studio har mundtligt godkendt disse opsætninger og vurderer, at de er fornuftige til at tage billeder fra helikopteren.

4.3 Vejrforhold

Som beskrevet i afsnit 2.2.1, skal der være klart vejr for at kunne opnå et godt billedresultat. Herudover stiller helikopteren krav til vejret, idet den ikke tåler frost eller vindstød over 8-9 m/s. I dette afsnit vil der blive lavet en kort vejrundersøgelse for at undersøge, hvor mange dage der egner sig til at tage billeder fra en fjernstyret helikopter. Undersøgelsen vil blive lavet med data fra DMI's vejrarkiv (DMI). Her er det muligt at finde vejrdata for hele landet, helt tilbage til 1997. Undersøgelserne vil blive lave med data for Nordjylland april 2011, hvilket vil sige, at undersøgelsen kun giver en indikation af, hvordan vejret er i april måned og ikke resten af året. April måned vælges da solhøjden, som beskrevet tidligere, først bliver over 30° i midten af marts, og at det ofte er frost grader og sne i marts.

4.3.1 Temperatur

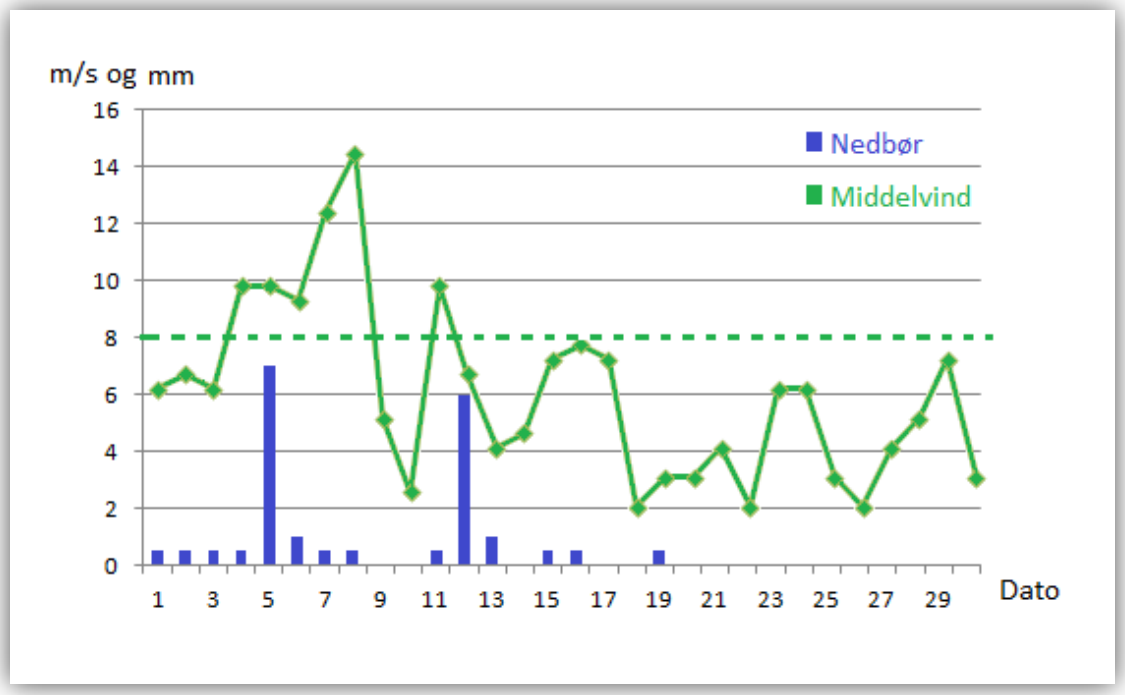
Som det fremgår af Graf 2, er der kun en enkelt dag i april måned, hvor temperaturen er tæt på nul, men da det er om natten de koldeste temperaturer forekommer, er det ikke et problem, da flyvningen vi foregå om dagen.



Graf 2 - Temperaturer i Nordjylland for april 2011, (DMI)

4.3.2 Vind og nedbør

Af Graf 3 fremgår det, at der er 14 dage, hvor der falder nedbør. Der fremgår dog også, at 10 af disse ligger under 1 mm på et døgn. Udover nedbør er der også vist middelvindstødene. I dataene fra (DMI) bliver der målt en middelvind hver sjette time. Da flyvningen vil foregå omkring middag, er det denne aflæsning, der er blevet brugt til undersøgelsen. Den stiplede linjen viser, hvor 8 m/s er beliggende. Dette er værdien for hvad Green Stick Studio forventer, at udstyret kan flyve i. Sammenholdes de to grafer, ses det, at der er 22 dage, hvor middelvinden omkring middag er under 8 m/s samtidig med, at nedbøren ikke er over 1 mm. Hvis man ser på 6 m/s i stedet for 8 m/s, som måske er mere realistisk for helikopteren, er der 13 dage, hvor der ikke falder mere end 1 mm.



Graf 3 - Vind og nedbør i Nordjylland for april 2011, tal fra DMI's vejrarkiv

Denne undersøgelse viser derfor, at det skulle være muligt at finde dage, der egner sig til flyvning i april måned. Antallet afhænger selvfølgelig af, om der er mulighed for at flyve i weekender. Er dette ikke tilfældet, vil antallet af mulige flyvedage falde.

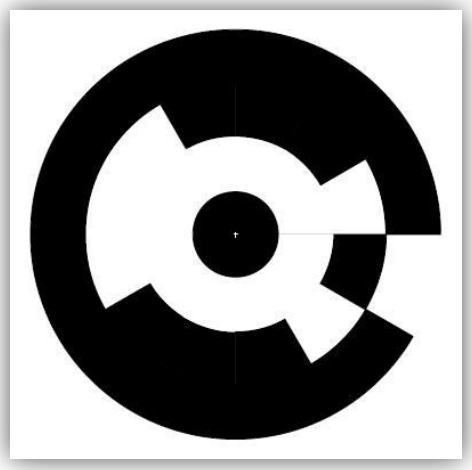
4.4 Undersøgelse af billedkvalitet

Denne undersøgelse har til formål at undersøge billedkvaliteten på forskellige afstande, og dermed hvilke begrænsninger disse kan medføre. Hvis billedkvaliteten er god på samtlige afstande, må det forventes, at det er muligt at identificere objekter på jorden, når billederne tages fra luften, uanset hvilken højde der flyves i. Hvis det viser sig, at billedkvaliteten forringes ved større afstande, vil dette give en naturlig afgrænsning af flyvehøjden ved en efterfølgende flyvning.

4.4.1 Planlægning og udførelse

Undersøgelsen gennemføres ved at tage et billede uden trefod, da platformen under flyvningen heller ikke vil være stabil. Motivet er en strækning af afmærkede punkter, der efterfølgende vurderes visuelt.

Vilkårene skal være ens for alle afstandene, så det er muligt at vurdere, hvorvidt billedkvaliteten bliver dårligere, når afstanden øges. Dette gøres ved at fremstille targets, der har det samme antal pixels i billedet for alle afstande. Det vil sige, uanset om et target er placeret på 10 eller 60 meter, vil centerprikken bestå af det samme antal pixels. Idet det vil være vanskeligt selv at fabrikere sådanne targets, vælges det at anvende PhotoModeler Scanners coded targets**. I programmet er det muligt at printe targets i forskellige størrelser alt efter hvilken afstand de skal placeres på.



Figur 13 - PhotoModeler Scanner, coded target

Undersøgelsen laves på en græsplæne, der er 65 meter lang. Det forventes, at 65 meter er nok, da der ikke forventes at flyve højere end dette. Helikopterfirmaet oplyser, at helikopteren kan flyve op til 100 meter jf. afsnit 4.1.1, men det forventes ikke at være realistisk at opnå brugbare billedmaterialer i denne højde. Det nærmeste target placeres på en afstand af 15 meter. Denne afstand vælges, da der ikke forventes at flyve under denne højde, da det vil kræve flere billeder for at dække det samme område. Der opstilles targets fra 15 til 65 meter med et interval på 5 meter. Opsætningen kan ses på Billede 3.

Billede 3 – Billede af testfelt taget med Canon 5D mark II

Ud over det ene billede, taget med 5D-kameraet, tages der ligeledes et andet billede med 60D-kameraet. Det vælges at benytte de samme targets og opstilling, selvom området som billedet dækker er mindre på 60D-kameraet jf. Tabel 7 i afsnit 4.1.2. Dette betyder i praksis, at centerprikken på hvert enkelt target er 14 pixels i stedet for 10. Det forventes ikke, at dette har betyd-

ning for resultatet af billedkvalitetsundersøgelsen, da alle targets stadig har det samme antal pixels i billedet.

4.4.2 Resultat og vurdering

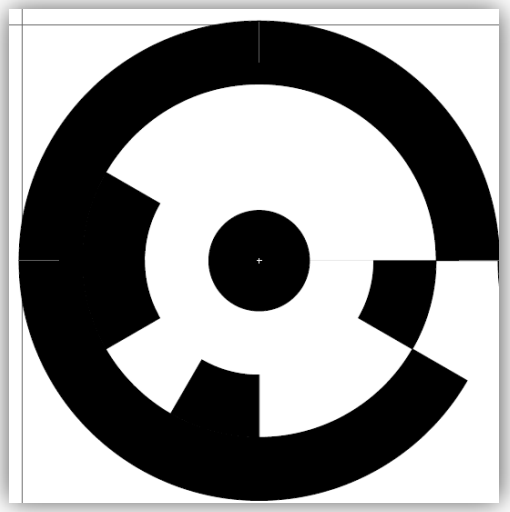
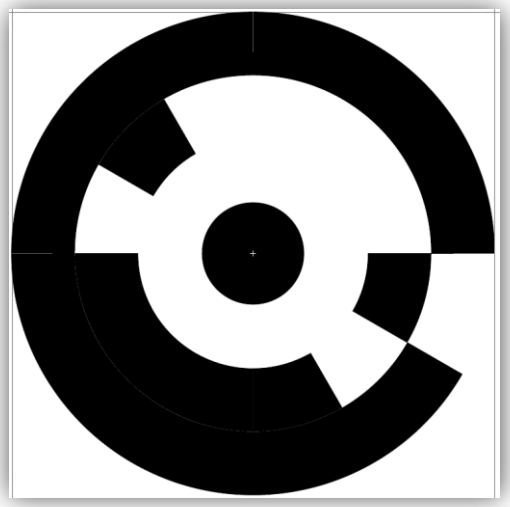
På billedet nedenfor ses et udsnit af billedet fra 5D-kameraet. De to markerede targets er på henholdsvis 15 og 60 meter og er dem, der vil blive anvendt til sammenligning. Grunden til at 65 m target ikke vælges er, at der er meget genskin fra solen, idet det stod skråt, da billedet blev taget.

Billede 4 - Billedudsnit med targets, der ses nærmere på

På Billede 5 og Billede 6 ses de to udsnit af billedet fra 5D-kameraet. Ud fra disse udsnit kan det ikke konkluderes, at den ene afstand er dårligere end den anden. Det ene target på 60 m fremstår mere sort, hvilket skyldes, at det stod mere skråt og væk fra solen end det andet på 15 m. Resultatet er det samme for 60D-kameraet, idet der heller ikke her kan defineres en afstand, hvorefter billedkvaliteten bliver forringet, se Billede 7 og Billede 8.

Billede 9 og Billede 10 viser de rigtige targets direkte fra PhotoModeler Scanner. Sammenlignes de 4 udsnit med disse, ses det tydeligt, at der er overstrålingsproblemer på alle targets, og at det især er fremtrædende ved hjørnerne. Overstrålingen er værst på de targets, som beskrevet tidligere, er rettet mere mod solen.

Den høje overstråling på flere targets giver anledning til at undersøge om den kan mindskes. I forbindelse med dette vælges det at undersøge om ISO-værdien på 800 er skyld i den høje overstråling. Undersøgelsen gennemføres i appendiks 2, da den udføres med uni-kameraet som en supplerende undersøgelse til justering af kameraparametrene. Ud over ISO undersøgelsen gennemføres en lukkertidsundersøgelse, der findes i appendiks 3.

	15 meter target	60 meter target
Canon EOS 5D Mark II	Billede 5 – Udsnit 1	Billede 6 – Udsnit 2
Canon EOS 60D	Billede 7 – Udsnit 3	Billede 8 – Udsnit 4
PhotoModeler Scanner Target	 Billede 9 – Coded target	 Billede 10 – Coded target

Ud fra dette konkluderes det, at billedkvaliteten er den samme, uanset hvilken afstand targets placeres på, samt hvilket kamera der anvendes. Det er derfor ikke billedkvaliteten, der vil være den begrænsende faktor for hvilken højde, der kan flyves i.
Det vurderes, at det er muligt at identificere objekter, der er større end 10 pixels i billedet. Da størrelsen på 10 pixels er svært at forholde sig til, opstilles en tabel, der viser, hvor meget det i virkeligheden svarer til ved forskellige afstande. Dette er dog kun et eksempel, der illustrerer situationen, hvor objektet er placeret lige ud for kameraet, idet et luftfoto ikke er målfast.

Afstand (m)	Canon EOS 5D mark II (cm)	Canon EOS 60D (cm)
15	1,9	1,3
20	2,6	1,7
25	3,2	2,2
30	3,8	2,6
35	4,5	3,0
40	5,1	3,4
45	5,8	3,9
50	6,4	4,3
55	7,1	4,7
60	7,7	5,2
65	8,3	5,6

Tabel 9 – Størrelse på 10 pixels i virkeligheden

Selvom billederne blev taget uden brug af trefod er der stadig ingen garanti for, at billederne under flyvningen ikke bliver rystet, og kvaliteten dermed bliver dårligere end ved den indledende undersøgelse.

4.5 Opsummering

I dette kapitel blev det fastlagt, at helikopteren ikke kan flyve automatisk og slet ikke i hårdt vejr. I afsnittet om vejrforhold blev det konkluderet, at der i april måned 2011 var 22 dage, der kunne benyttes til flyvning, hvis helikopteren kan flyve i 8 m/s. Er den kun i stand til at flyve i 6 m/s, er der kun 13 dage, der kan benyttes.
Blænden blev konkluderet til at skulle tilpasses automatisk, men være mindre end f/4, da billederne står mest skarpe herefter. ISO-værdien bør sættes så lavt som muligt for at mindske støj i billederne. Lukkertidsundersøgelsen havde ikke mulighed for at konkludere en bestemt lukkertid, der var den rigtige, men at tiden skal tilpasses vejrforholdene på dagen og de andre kameraparametre. Det er vigtigt at være opmærksom på den valgte lukkertid, da en hurtig kan give et skarpt billede, selvom det er vippet fra eksponeringen begynder, til den er færdig, hvilket altså er misvisende og problematisk ved efterfølgende beregninger på baggrund af billederne.

De endelige kameraparametres indstillinger, som følge af undersøgelserne, ses i Tabel 10.

Lukkertid	Afpasset til forholdene
ISO	Så lav som muligt
Blænde	Automatisk, men mindre end f/4

Tabel 10 - Endelige kameraparametre

Det er dermed nødvendigt, at vurdere billederne visuelt i marken for at bekræfte, at der ikke er rystelser deri.
Billedkvalitetsundersøgelsen i kapitlet viser, at billederne er skarpe på alle afstande, hvorfor flyvehøjden kan afpasses til opgaven inden for helikopterens operationsmæssige begrænsninger.
På baggrund af dette kapitel er kameraopsætningen til flyvningen på plads, men først vil kameraet blive kalibreret.

5 Kamerakalibrering*

I dette kapitel vil det blive gennemgået, hvordan de kameraer, der skal anvendes til at tage luftfotos kalibreres. Først beskrives, hvordan kalibreringsfunktionen i PhotoModeler Scanner fungerer. Dernæst gennemføres og vurderes selve kalibreringen af kameraerne.

5.1 Kalibrering i PhotoModeler Scanner

Det er både muligt at foretage en kamerakalibrering i PhotoModeler Scanner og at indtaste værdier fra en kalibrering, der er gennemført på anden vis. Hvis kalibreringen gennemføres i PhotoModeler Scanner, genererer programmet en logfil, der fremover betegnes kalibreringsrapport, hvori kvaliteten af kalibreringen fremgår. Når kalibreringsrapporten er vurderet til at være tilfredsstillende, kan denne gemmes i et bibliotek, så det er muligt at anvende den til flere forskellige projekter. Kalibreringsrapporten er inddelt i tre afsnit:

1. Problemområder i kalibreringen og løsningsforslag til disse
2. Informationer fra sidste gennemløb
3. Kvalitetsafsnit

I det første afsnit af kalibreringsrapporten vil eventuelle problemer blive fremhævet og løsningsforslag gives. Herefter kan der tages stilling til, om det er nødvendigt at ændre nogle opsætninger eller fjerne punkter fra beregningen og gennemføre kalibreringen på ny, eller om kalibreringsrapporten skal gemmes, som den er. I andet afsnit fremstår parametrene fra beregningen samt deres ”deviations”, herefter betegnet spredninger, samt hvornår kalibreringen er gennemført, versionsnummer og opsætningen for kalibreringen. Desuden findes begrebet Total Error**, der benyttes til at vurdere, om kalibreringen er forløbet som forventet. Det fremgår ligeledes her, hvor godt billederne er orienteret, hvilket gør det muligt at vurdere de enkelte billeders relative orientering. I det tredje afsnit findes en række kvalitetsindikatorer, hvor det fremgår hvor mange billeder, der er blevet orienteret og anvendt under kalibreringen. Det fremgår ligeledes, hvor stor en del af billedområdet*, der er dækket. Til sidst står en række kvalitetsparametre, der beskriver, hvor god kalibreringen er. Eksempelvis fremgår residualerne* på de anvendte punkter.

I den version af PhotoModeler Scanner, der anvendes i projektet, er det ikke et krav at vælge en kalibreringsrapport, inden arbejdet med at modellere kan påbegyndes. Denne mulighed kan anvendes, hvis nøjagtighed ikke er afgørende, og en hurtig visualisering er målet. Denne funktion har ikke været til stede ved tidligere versioner af programmet, hvor en kalibreringsrapport var nødvendig, inden et nyt projekt kunne oprettes.

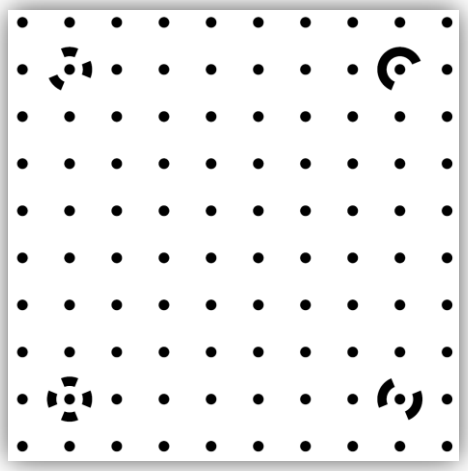
For at undersøge forskellen på at orientere billeder med og uden en kalibreringsrapport, blev der lavet en indledende undersøgelse. Denne kan ses i appendiks 4: Vigtighed af kalibrering. Undersøgelsen viste, at det var muligt at anvende SmartMatch** funktionen og orientere billederne uden en kalibreringsrapport, men at resultatet ikke var tilfredsstillende i forhold til, hvis en kalibreringsrapport anvendes. Undersøgelsen viser derfor, hvor vigtig en kamerakalibrering er for at opnå tilfredsstillende resultater, og det vælges derfor at gennemføre en kalibrering af kameraet.

Eftersom PhotoModeler Scanner ønskes anvendt til fremstillingen af ortofotos, vælges det at gennemføre kalibreringen af kameraet i dette program. Der findes flere forskellige muligheder i PhotoModeler Scanner for at kalibrere, alt efter hvilken opgave det drejer sig om. De forskellige metoder beskrives i det efterfølgende.

5.1.1 Sheet kalibrering

Hvis der ønskes at modellere et objekt, der er mindre end 30 cm (Eos Systems 1), benyttes single sheet metoden til kamerakalibreringen. Dette består af ét ark med 144 sorte prikker og fire referencemærker, der printes ud i ønsket størrelse eller rekvireres fra Eos Systems.

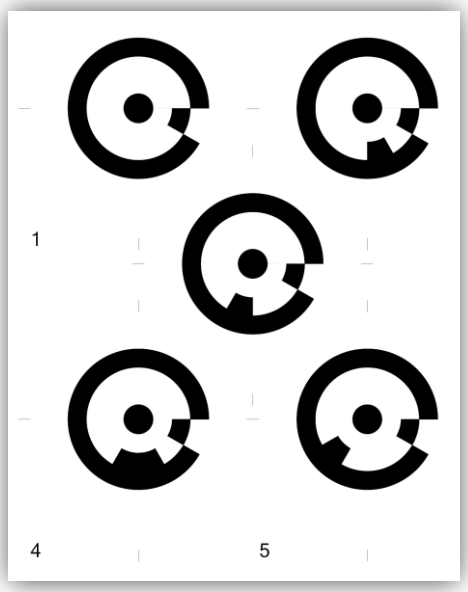
Når projektet omhandler større objekter anbefales det at anvende multi-sheet metoden. Ligesom ved single sheet metoden kan disse ark printes. Normalt printes arkene i A4-størrelse, og alt efter hvor stor afstand til arkene kalibreringsbillederne bliver taget, skal centerprikkens diameter tilpasses, så den har en størrelse på 8-10 pixels.(Eos Systems 1)



Billede 11 – Single sheet calibration grid

Når kalibreringen foretages i PhotoModeler Scanner, er det ikke nødvendigt at kende koordinaterne til de punkter, der anvendes til kalibreringen. Fremgangsmåden for kalibreringen er, at multi-sheets placeres jævnt fordelt på det område, hvor kalibreringen ønskes gennemført. Den samlede grid-størrelse skal afstemmes med det kamera, der skal kalibreres. Det er nødvendigt at være opmærksom på, på hvilken afstand dybdeskarpheden indtræffer.

Der kan tages op til 12 billeder med forskellige drejninger af kameraet. I vejledningen omkring sheet kalibreringen tages der fire billeder i landskabsformat* rundt om opsætningen. Efterfølgende tages der to gange fire billeder i portrætformat*, hvor kameraet vippes til den ene og den anden side.



Billede 12 – Multi-sheet

Det er vigtigt, at 80 % af billedområdet er dækket ved gennemførelsen af kalibreringen.

5.1.2 Field kalibrering

Denne funktion er et supplement til single- og multi-sheet kalibreringerne. Når billederne til modellen er taget, kan de anvendes til at forbedre kalibreringsparametrene. Dette kan være en fordel, hvis der går længere tid mellem billederne til kalibreringen og projektet bliver taget eller, hvis der ændres på kameraindstillingerne imellem de to optagetidspunkter. (Eos Systems 2) Field kalibreringen udføres automatisk, men der er mulighed for at supplere med ekstra punkter ma-

nuelt. Når der foretages en field kalibrering i PhotoModeler Scanner, er der en række krav, der skal opfyldes, før den kan gennemføres med succes(Eos Systems 3):

- *"Kameraopsætning skal være ens på alle billeder*
- *Kamerapositionerne skal dække fra flere forskellige vinkler*
- *Der skal være god overbestemmelse (de samme punkter skal være i flere billeder fra forskellige vinkler)*
- *Punkterne skal være jævnt fordelt over hele billedområdet*
- *Der skal både være billeder i landskabs- og portrætformat"*

I dette projekt vil der ikke blive lavet specifikke kalibreringsundersøgelser, hvor forskellige faktorers indflydelse undersøges. En undersøgelse af forskellige faktorers indflydelse på kalibreringsresultatet i PhotoModeler Scanner indeholder nok materiale til et selvstændigt projekt.

5.1.3 Testkalibrering

Inden den endelige kalibrering af kameraet, der skal anvendes til at tage luftfotos, gennemføres en testkalibrering. Dette skal give et kendskab til kalibreringsdelen i PhotoModeler Scanner, så der opnås forståelse for de vigtigste elementer og problemstillinger i processen. Dette skal sikre, at Green Stick Studios tid ikke spildes med at tage billeder til kalibreringer, der efterfølgende viser sig ikke at være anvendelige. Denne testkalibrering er beskrevet i appendiks 5.

5.2 Forberedelse

Kalibreringen gennemføres med begge Green Stick Studios kameraer, da det ikke vides med sikkerhed, hvilket kamera der skal anvendes til selve flyvningen. Den større kamerakonstant end universitets kamera betyder, at dybdeskarpheden først indtræffer senere, hvilket kan ses i Tabel 11.

Kamera	Blænde	Dybdeskarphed fra (m)
Uni-kamera Nikon D700, 35 mm	f/22	0,92
Green Stick-kamera Canon D5 mark II, 50 mm	f/16	2,63
Green Stick-kamera Canon 60D, 50 mm	f/16	4,14

Tabel 11 – Dybdeskarphed ved mindste blænde (Don Fleming)

Kalibreringen gennemføres ved at placere multi-sheets på en væg, da det ikke er muligt at få nok afstand til at billederne, når de placeres på jorden. Desuden skal placeringen på væggen bidrage til at give mere perspektiv, hvilket er nødvendigt som konkluderet i appendiks 5.
Kalibreringen laves som en multi-sheet kalibrering, og arkene placeres som vist på Billede 13. Af billedet fremgår det ligeledes, at 3 ark placeres foran væggen for at tilføje ekstra dybde til kalibreringsfeltet. Derudover ses en stige, der benyttes til at tage billeder fra oven. Kameraerne indstilles med den mindste blænde på f/16, for ikke at skulle for langt væk fra kalibreringsfeltet grundet dybdeskarpheden, når billederne tages.

Billede 13 – Kalibreringsopsætning

Der tages i alt 12 billeder fra 5 forskellige stationer. Af Tabel 12 fremgår det, hvor mange billeder der er taget på de forskellige stationer.

Kamerastation	Antal billeder (format)
Lige for	3 (1 landskab, 2 portræt)
Fra venstre	3 (1 landskab, 2 portræt)
Fra højre	3 (1 landskab, 2 portræt)
Fra oven	2 (2 landskab, der dækker de øverste og nederste ark)
Fra neden	1 (landskab)

Tabel 12 – Setup for kalibreringsbilleder

Billederne tages i rå-format, da det forventes at have den bedste kvalitet, og automatisk rotation af billederne slås fra. Efterfølgende viser det sig, at det ikke er lykkedes at tage billederne uden automatisk rotation, hvilket betyder, at billederne i rå-format roteres automatisk, når de konverteres til et format PhotoModeler Scanner kan læse. Dette betyder, at billederne i portrætformat ikke kan anvendes, da dimensionerne er omvendte. Dette resulterer i, at det ikke er muligt at lave en kalibrering, idet portrætbilleder er nødvendige. Billederne fra 5D-kameraet blev kun registreret i rå-format, og kan derfor ikke benyttes i PhotoModeler Scanner. Heldigvis blev billederne med 60D-kameraet gemt i både rå-format og jpeg. Jpeg formatet kan PhotoModeler Scanner arbejde med, og disse billeder er ikke blevet automatisk roteret. Derfor gennemføres kalibreringen med disse billeder, der kan ses i bilag 10: 60D kalibrering på bilags Cd'en.

5.3 Udførelse og resultat

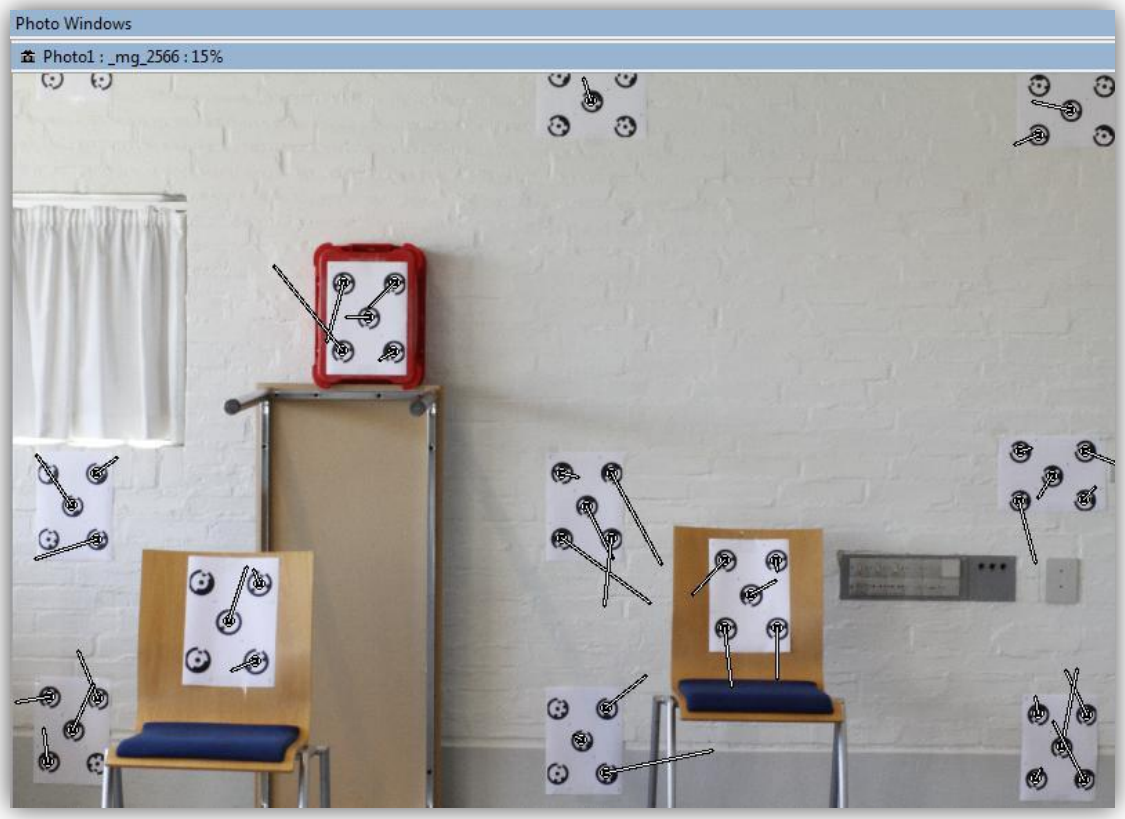
Kamerakalibreringen gennemføres i PhotoModeler Scanner som beskrevet i appendiks 5: Testkalibrerings. Selvom kalibreringen blev lavet over en væg, kommer EXIF-advarslen, der blev nævnt i appendiks 5, stadig. Dette betyder, at der stadig ikke er nok perspektiv i kalibreringsbillederne. Det vælges at anvende EXIF som startværdi, samt ikke at beregne Fh, K3, P1 og P2. Første gang kalibreringen køres igennem, kommer der en fejlmeddelelse omkring for lave vinkler mellem punkter. Det undersøges hvilke punkter, det omhandler, og disse 2 punkter slettes. Kalibreringen køres på ny, og resultatet kan ses i Tabel 13. I tabellen er de engelske forkortelser benyttet, da dette gør dem lettere at finde i kalibreringsrapporten.

Parametre	Resultat	Spredning	Fra specifikationer
Total error	1,070		
F	52,376 mm	0,010 mm	50 mm
Xp	11,470 mm	0,004 mm	
Yp	7,539 mm	0,004 mm	
Fw	22,668 mm	0,000 mm	22,3 mm
K1	5,482e-005	6,1e-007	
K2	-1,401e-008	3,4e-009	
Billeder anvendt	12 af 12		
Dækket billedområde	92 %		
Samlet RMS	0,124 pixels		
Maksimal residual	0,313 pixels		

Tabel 13 – Kalibreringsresultat, Canon EOS 60D se bilag 10 kalibreringsrapport_60D på bilags Cd'en

5.4 Vurdering

Da total error ligger tæt på 1, stemmer forventningerne godt overens med resultatet af kalibreringen. Det ses i Tabel 13, at spredningerne er lave, residualerne er under 0,5 pixel i gennemsnit og under 1 pixel maksimalt. Residualbarerne har desuden ingen entydig retning i nogen af billederne, hvorfor kalibreringen godkendes. Screendump 1 viser et af billederne, hvoraf det fremgår, at der ikke er en entydig fejl på residualbarerne.



Screendump 1 - Residualbarer for et af kalibreringsbillederne skaleret med faktor 2000

Da det forventes at lave en field kalibrering med luftfotos, vælges det at fortsætte med denne kalibrering, selvom perspektivet stadig ikke er optimalt.
Idet det ikke var muligt at kalibrere 5D-kameraet grundet den automatiske rotation af billederne, vil der i forbindelse med flyvningen tages nye kalibreringsbilleder med dette kamera, så der kan foretages en kalibrering. Her skal det sikres, at billederne ikke bliver roteret automatisk.

6 Luftfotos

Torsdag d. 22. marts 2012 var Green Stick Studio, jf. dagbogen bilag 3, forbi universitetet for at gennemføre en planlagt testflyvning. Idet virksomheden havde en anden opgave om formiddagen, var testflyvningen planlagt til klokken 15:00. Denne dag blev valgt, da vejrudsigten var lovende med stille og klart vejr. Over middag blæste det dog op, og da Green Stick Studio ankom, blæste det så meget, at det ikke var muligt at gennemføre en flyvning. Piloten gjorde et forsøg uden kamera, men fandt det ikke forsvarligt at gennemføre testflyvningen. Det var tydeligt for de tilstedeværende, at piloten havde svært ved at kontrollere helikopteren i blæsten. Jævnfør dagbogen bilag 3, har det ikke været muligt at gennemføre en ny flyvning med Green Stick Studio, idet der var mange ting, der skulle passe sammen, før en flyvning kunne gennemføres. Derfor vælges det at stoppe samarbejdet, og i stedet arbejde med nogle af de luftfotos en projektgruppe i Ballerup har fået taget. Gruppen fra Ballerup og deres projekt vil blive beskrevet som det første i dette kapitel. Herunder beskrives materialet fra Ballerup, der nu vil blive anvendt til fremstilling af et ortofoto i PhotoModeler Scanner. Til sidst opstilles, hvordan ortofotoet vil blive vurderet efterfølgende.

6.1 Gruppen og projektidéen i Ballerup

På denne årgang er der flere specialer, der arbejder med helikoptere. En gruppe i Ballerup arbejder ligeledes med fremstilling af ortofotos i PhotoModeler Scanner, hvorfor der er taget kontakt til dem for at få tilladelse til at anvende deres luftfotos i dette projekt. Projektgruppen i Ballerup har et samarbejde med landinspektørfirmaet LE34, der har fået til opgave at fremstille ortofotos over de arkæologiske udgravninger, der skal foretages i forbindelse med etablering af Femern forbindelsen. Når arkæologer skal undersøge et område for fortidsminder, bliver der gravet såkaldte søgegrøfter. Findes der noget i disse, bliver udgravningen udvidet til et større område. Et eksempel på en søgegrøft kan ses på Billede 14.

Billede 14 – Søgegrøft. Billedmateriale fra: (Museerne Vordingborg)

Gruppen i Ballerup har haft et kamera og tre forskellige objektiver til rådighed. De har i alt taget 13 billedserier over to dage. Det vælges at arbejde med serie 5, der kan ses i bilag 11: Ballerup

serie 5, på bilags Cd'en. Specifikationerne for kameraet, det anvendte objektiv og trufne valg for serie 5 fremgår af Tabel 14.

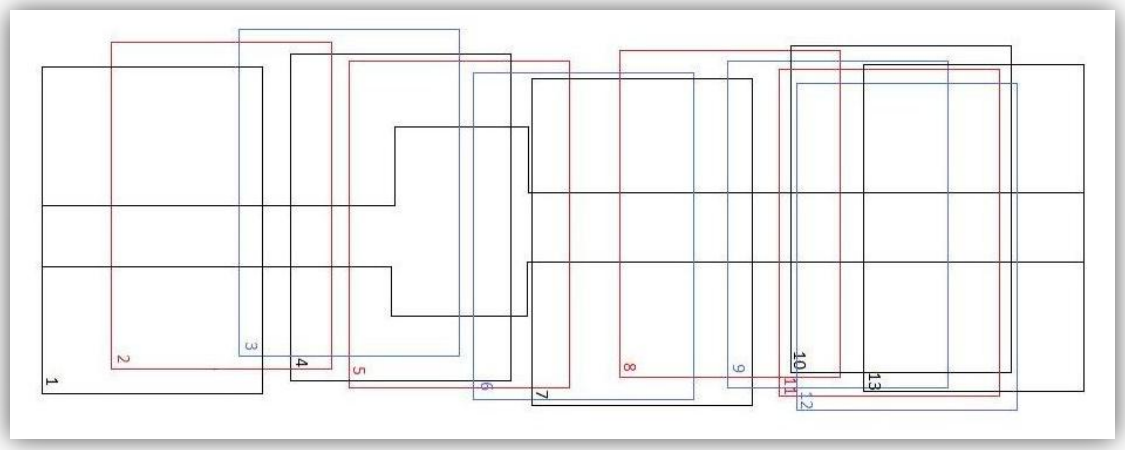
Kameraspecifikationer (Canon, 2010 s. 225-227)		Valg for serie 5	
Kamera	Canon EOS 550D	**Antal flyvelinjer**	1
Billedchipstørrelse	22,3 x 14,9 mm	**Antal billeder**	13
Opløsning	5184 x 3456 pixels	**Flyvehøjde**	ca. 15m
Pixelstørrelse	4.3 µm	**Pixelstørrelse**	6.5 mm
Lukkertid	1/4000 til 30 s	**Kameravinkel**	Lodbilleder
ISO	100 til 6400	**Blænde**	f/13
Lukker	Elektronisk styret spaltelukker	**Lukkertid**	1/800 s
Objektiv	Tamron 10-24 mm	**ISO**	automatisk
		Kamerakonstant	10 mm

Tabel 14 - Kamera- og linsespecifikationer, samt valg for serie 5

Ligesom for de andre kameraer, er der udarbejdet et script Canon550D.m som findes i scriptsmappen på bilags Cd'en, hvor der bl.a. beregnes, hvor stort et område billedet dækker i virkeligheden. Med opsætningen fra Tabel 14, dækker billedet ca. 33 x 22 meter.

6.1.1 Materiale fra Ballerup

De 13 billeder i serie 5 er taget langs en søgegrøft. Flyvelinjen er illustreret på Figur 14, hvorpå polygonen illustrerer søgegrøften. Det ses, at billederne er taget med varierende overlap, og især billederne 10 til 12 er næsten taget fra samme position.



Figur 14 - Illustration af billedernes placering i serie 5.
Placeringerne er kun omtrentlige og illustrationen er ikke målfast

På Billede 15 ses en del af søgegrøften, der er blevet udvidet. Billedet er det femte i rækken jf. Figur 14. Der ses en del coded targets i forskellige størrelser, da Ballerup gruppen ønsker at lave forskellige undersøgelser. Alle targets er som det eneste målt ind terrestrisk. Målingerne er foretaget i et lokalt system med totalstation.

Billede 15 - Luftfoto, der viser den arkæologiske udgravning

Af Tabel 15 fremgår metadataene for billederne i serie 5. Idet ISO-værdien er sat til automatisk, er disse blevet meget høje. Dette skyldes den lille blænde og den hurtige lukkertid. Det kunne overvejes, om billedkvaliteten ville være blevet bedre, hvis eksempelvis ISO-værdien havde været lavere.

Billede	ISO-værdi	Blænde	Lukkertid (sek.)
1.JPG	2000	f/13	1/800
2.JPG	1600	f/13	1/800
3.JPG	1600	f/13	1/800
4.JPG	1600	f/13	1/800
5.JPG	1600	f/13	1/800
6.JPG	1600	f/13	1/800
7.JPG	2000	f/13	1/800
8.JPG	1600	f/13	1/800
9.JPG	2000	f/13	1/800
10.JPG	2000	f/13	1/800
11.JPG	2000	f/13	1/800
12.JPG	2000	f/13	1/800
13.JPG	2000	f/13	1/800

Tabel 15 - Metadata for luftfotos

Det er dog ikke muligt for os at vurdere, hvilken kvalitet billederne har, da området og dermed de virkelige farver, er ukendte for os. Det vurderes dog, at kameraparametrene ikke er optimale, da targets hvide farve fremstår meget reflekterende og dermed ikke er blevet afbildet korrekt, hvilket fremgår af Billede 16.

Billede 16 - Illustration af targets med høj refleksion

Gruppen i Ballerup har desuden foretaget en kalibrering af det anvendte kamera i PhotoModeler Scanner. Kalibreringen blev ikke lavet som et kalibreringsprojekt i PhotoModeler Scanner, men der blev taget 20 billeder af kalibreringsfeltet, som blev benyttet til en form for field kalibrering. Kalibreringsfeltet blev etableret ved at placere multi-sheets på en jorddynge ved udgravningen, som illustreret på Billede 17. Resultatet af kalibreringen kan ses i Tabel 16.

Billede 17 – Kalibreringsfelt for Ballerup-kalibrering

Parametre	Resultat	Spredning	Fra specifikationer
Total error	1,735		
F	10,562 mm	0,002 mm	10 mm
Xp	11,654 mm	9,8e-004 mm	
Yp	7,361 mm	0,001 mm	
Fw	22,666 mm	7,6e-004 mm	22,3 mm
K1	-1,872e-004	1,3e-006	
K2	1,937e-006	9,6e-009	
P1	-1,063e-004	2,8e-006	
P2	-2,123e-005	3,1e-006	
Billeder anvendt	20 af 20		
Dækket billedområde	90 %		
Samlet RMS	1,202 pixels		
Maksimal residual	42,716 pixels		

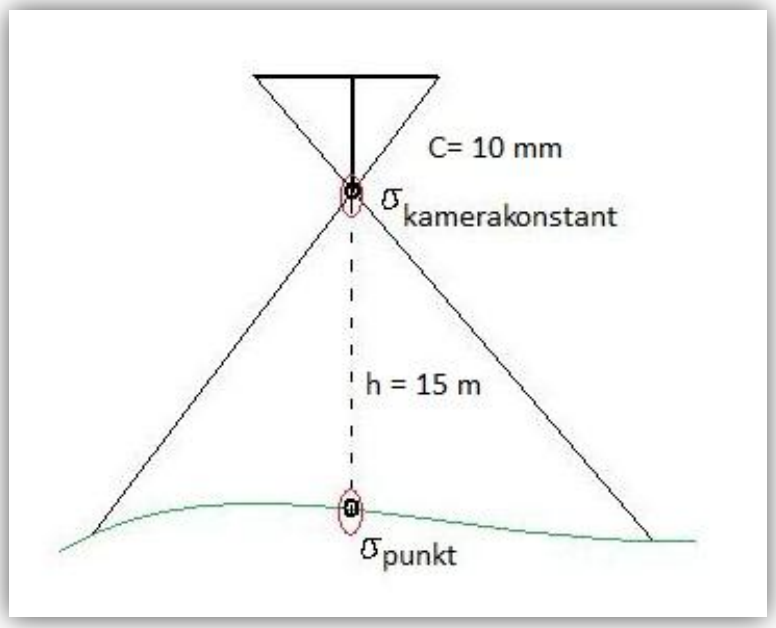
Tabel 16 - Kalibreringsresultat, Canon EOS 550D, se bilag 11 kalibreringsrapport 550D på bilags Cd'en

Resultaterne på samlet RMS og det maksimale residual er ikke inden for de angivne grænser, men da det ikke kan ses, hvor mange punkter, der har så høje residualer er det svært at vurdere betydningen heraf. Spredningerne på de beregnede parametre er dog lave. For at kunne vurdere om spredningen på kamerakonstanten er tilfredsstillende, skal den ses i forhold til hvilken højde der ønskes at flyve i. Af formlen nedenfor fremgår det, hvordan forholdet mellem spredningen fra kalibreringen og kamerakonstanten er det samme som punktspredningen og højden*.

$$\frac{\sigma_{\text{kamerakonstant}}}{c} = \frac{\sigma_{\text{punkt}}}{h}$$

Den efterfølgende udregning viser, hvilken punktspredningen der kan forventes, når der flyves i 15 meters højde med en kamerakonstant på 10 mm. Udregningen er illustreret på Figur 15.

$$\sigma_{\text{punkt}} = \frac{\sigma_{\text{kamerakonstant}} \cdot h}{c} = 3\ \text{mm}$$



Figur 15 – Illustration til udregning

Med en spredning på 3 mm i højden vurderes kalibreringens resultat på kamerakonstanten at være god nok. Selv om denne kalibrering er lavet helt anderledes i forhold til den anbefalede fremgangsmåde, vil kalibreringen blive anvendt i det efterfølgende.

6.2 Ændring af projektidé

Som det fremgår af dette kapitel, er projektet fra Ballerup anderledes, og det er derfor ikke muligt at sammenligne det endelige ortofoto med eksisterende ortofotos. Der forelægger ikke en højdemodel for området, hvorfor det heller ikke er muligt at sammenligne PhotoModeler Scanners højdemodel med en eksisterende. Dette betyder, at den oprindelige idé med at vurdere kvaliteten af ortofotoet på fire forskellige måder, som beskrevet i afsnit 2.4.1, ikke er muligt. Derfor opstilles de nye vurderinger, der ønskes gennemført med de tilgængelige data:

- Hvordan er det visuelle resultatet af ortofotoet?
- Hvordan stemmer terrestrisk indmålte plankoordinater overens med plankoordinater, målt i ortofotoet?
- Hvordan stemmer terrestrisk indmålte koter overens med PhotoModeler Scanners højdemodel?

7 Ortofotofremstilling

I dette kapitel, vil det blive gennemgået, hvordan et ortofoto laves i PhotoModeler Scanner. Der benyttes gennem kapitlet programmets engelske begreber, så der ikke sker forkerte oversættelser. Desuden vil brugen af de oprindelige termer gør det lettere at genfinde funktionerne i PhotoModeler Scanner. Datagrundlaget for ortofotofremstillingen er, som beskrevet i kapitel 6, serie 5 fra Ballerup.

Først vil den generelle arbejdsgang for ortofotofremstilling i PhotoModeler Scanner blive beskrevet. Herunder hvordan orienteringsprocesserne forløber, dernæst hvordan højdemodellen fremstilles og efterfølgende, hvilke muligheder der er for farvelægning* af ortofotoet. De enkelte trin i arbejdsgangen vil løbende blive vurderet. Efter den generelle arbejdsgang er blevet beskrevet, vil fremstillingen af det endelige ortofoto blive gennemgået.

Herefter vurderes det fremstillede ortofoto. Først gennemføres en visuel vurdering af ortofotoet, dernæst foretages en sammenligning af målte koter med interpolerede koter i den fremstillede højdemodel. Derefter gennemføres en plansammenligning mellem indmålte targets og targets markeret i ortofotoet. I forbindelse med sammenligningerne beregnes de forventede spredninger. Til sidst beregnes nøjagtigheden i det endelige ortofoto.

7.1 Arbejdsgangen i PhotoModeler Scanner

Inden det endelige ortofoto fremstilles, vil der blive eksperimenteret med forskellige indstillinger for at undersøge, hvilken indflydelse de har på resultatet. Disse indledende undersøgelser er medbestemmende for, hvordan det endelige ortofoto fremstilles. Sidst i hvert afsnit vil der blive afrundet og konkluderet, hvordan PhotoModeler Scanner skal sættes op ved den endelige ortofotoproduktion. For at understøtte undersøgelserne er der indsat flere screendump, der illustrerer problemstillinger m.m. Alle figurer, billeder, samt PhotoModeler Scanner projekter er at finde som bilag 12: Generering af ortofoto, på bilags CD'en

7.1.1 Relativ orientering

Da det ønskes at orientere billederne automatisk ved hjælp af SmartMatch-funktionen, vælges denne type projekt. Alle 13 billeder fra serie 5 indlæses i PhotoModeler Scanner, og den korrekte kalibrering til det anvendte kamera vælges. Herefter vælges det, hvilken punkttæthed der ønskes for SmartPoints**, samt om billederne er orienteret på en bestemt måde i forhold til hinanden. Det vælges, at billederne er unordered, idet de sidste billeder ikke ligger i forlængelse af hinanden, men oven i hinanden som vist på Figur 14 i afsnit 6.1.1. Der vælges lav punkttæthed for at undersøge, om dette er tilstrækkeligt. Det viser sig, at billede 1 ikke bliver orienteret, hvorfor der skal anvendes høj punkttæthed ved den endelige ortofotofremstilling. Punktætheden ændres til høj, og der genereres nye SmartPoints. Det bemærkes, at der identificeres mange punkter på de flade områder, hvilket kan ses på Screendump 2, hvor de er vist som hvide punkter.

Screendump 2 - Genererede SmartPoints for udvalgte billeder

Resultatet af den relative orientering kan ses i Tabel 17.

Antal SmartPoints	Maks. residual	Samlet RMS	Antal SmartPoints maks. residual > 1,50 pixels
10660	2,10 pixels	0,77 pixels	1076 (10,1 %)

Tabel 17 - Resultatet af den relative orientering

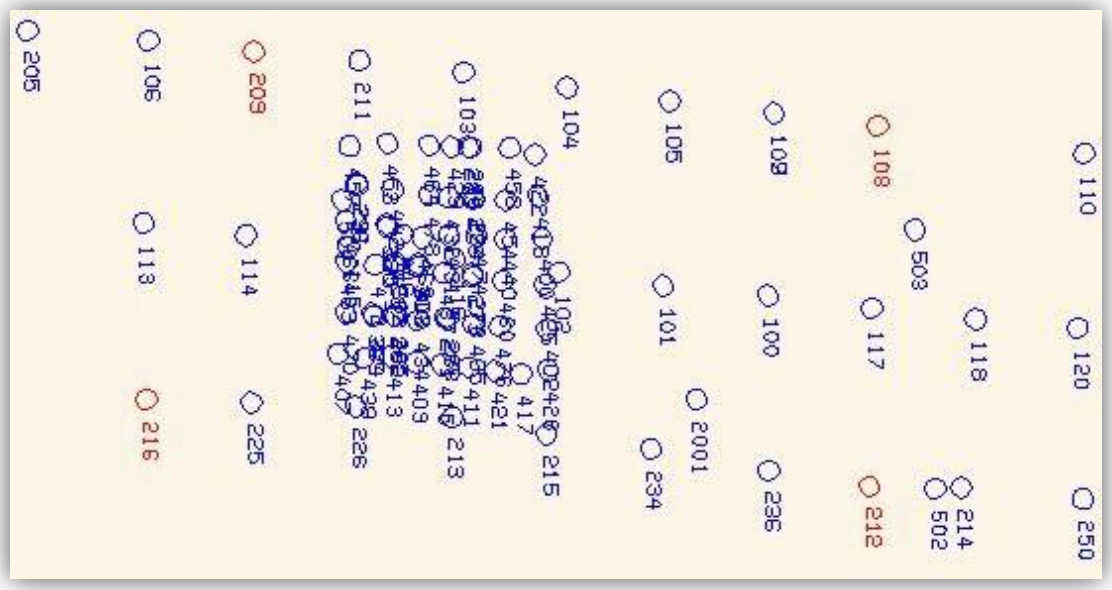
Det ses, at det maksimale residual er på 2.10 pixels, der er højere end den anbefalede værdi på 1,50 pixels. Det store antal af SmartPoints med maksimal residual over 1,50 pixels tyder på, at billedernes kvalitet ikke er tilfredsstillende, men det vides ikke, hvad der er realistisk at forvente for billeder taget fra en helikopter.
Eftersom der ikke er mulighed for at tage nye billeder, vælges det at fortsætte med alle Smart-Points.

Valg, der skal tages med videre fra dette afsnit:

- Billederne vælges til ikke at være ordnet
- Høj punkttæthed

7.1.2 Absolut orientering

Efter den relative orientering skal modellen orienteres absolut. Som beskrevet i den generelle ordbog er det kun nødvendigt med tre punkter for at få fastlagt den absolutte orientering, men i dette projekt defineres 4 punkter, der omkranser området så vidt muligt. De indmålte targets kan ses på Figur 16, hvor de anvendte punkter: 108, 209, 212 og 216 er markeret med rød skrift.



Figur 16 - Indmålte targets, hvor punkter anvendt til absolut orientering er markeret med rød

Der vælges kun at orientere i forhold til 4 punkter, da de indmålte targets ikke er mulige at markere automatisk, og det er tidskrævende at markere dem manuelt i billederne. Hvis billederne var af bedre kvalitet, ville programmet være i stand til at finde de enkelte coded targets, en koordinatliste ville kunne indlæses, og en absolut orientering ville være lettere at foretage.
De fire valgte targets og deres maks. residual fremgår af Tabel 18.

Punkt	Maks. residual	Anvendte billeder
108	3,28 pixels	9, 10, 11 og 12
209	1,27 pixels	2, 3 og 4
212	0,84 pixels	9, 10, 11 og 12
216	1,58 pixels	2 og 3

Tabel 18 - Residualer på manuelt markerede targets til absolut orientering

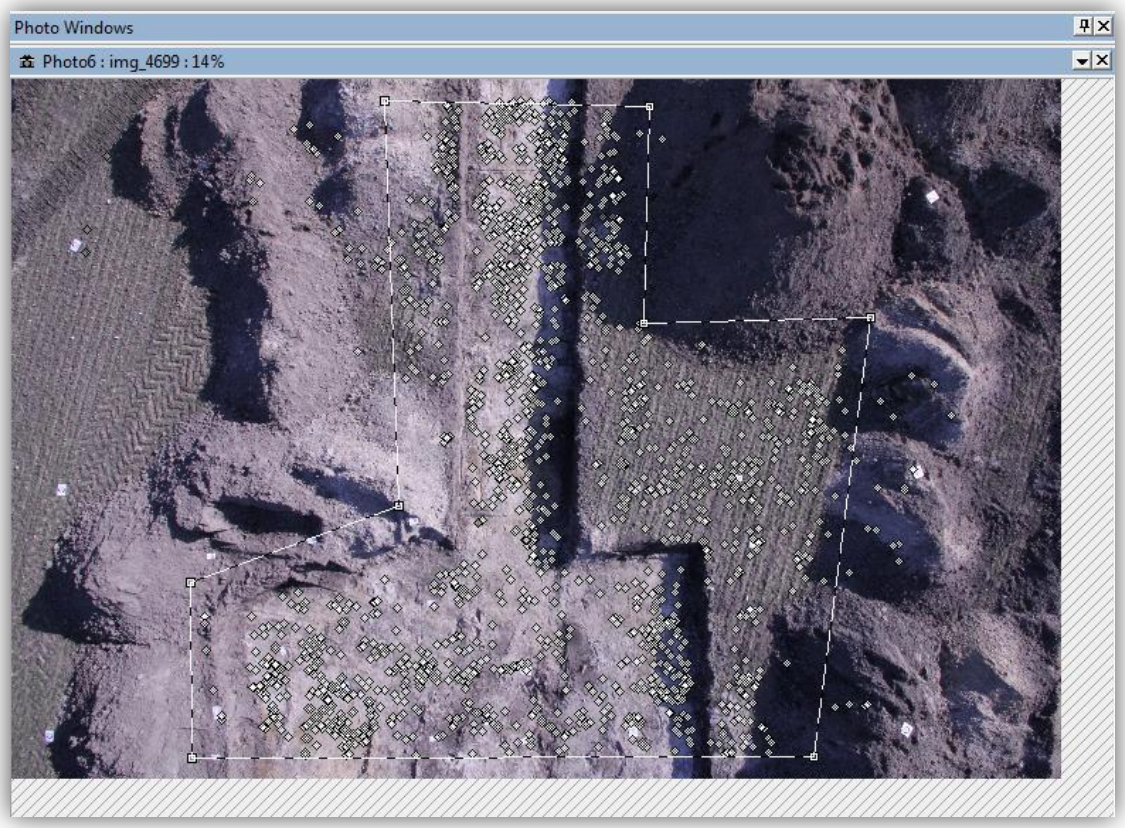
Som det ses af tabellen overskrider flere af maks. residualerne værdien på 1,50 pixels, hvilket formentlig skyldes evnen til at markere punktet i flere billeder. Dette får betydning for koordinater, der genereres på dette grundlag. Til det endelige ortofoto skal den manuelle markering af punkter udføres med stor omhu. Til bestemmelsen af punkt 108 blev anvendt billede 9, 10, 11 og 12, der ligger tæt. Dette kunne ligeledes være en af grundene til den høje residual, men da punkt 212, med de mindste residualer, ligeledes er blevet dannet ved hjælp af disse fire billede er dette ikke entydigt.

Valg der skal tages med videre fra dette afsnit:

- Orientering ved hjælp af mindst 3 punkter, der omkranser området
- Manuel markering med omhu, hvis automatisk ikke er mulig

7.1.3 Trim**

Hvis det kun ønskes at danne højdemodellen for et afgrænset område på billederne, kan dette gennemføres vha. trim-funktionen. Dette er en fordel i arbejdet med mange billeder, eller hvis der er problemområder som søer. Trim-funktionen gør genereringen af punktskyerne hurtigere.
På Screendump 3 ses et eksempel på et trim. Her er trimmet lavet således, at "bjergene" ikke indgår, idet der ikke er SmartPoints på disse. Ved at inddrage områder uden SmartPoints i modellen, vil approximate surface** formentligt blive dårlig.



Screendump 3 – Eksempel på et trim

Til det endelige ortofoto ønskes det at danne en højdemodel for hele billedområdet med henblik på at undersøge, hvordan programmet laver hele billedområdet, når der er flere områder uden SmartPoints. Derfor skal der ikke anvendes trim til den endelige fremstilling af højdemodel.

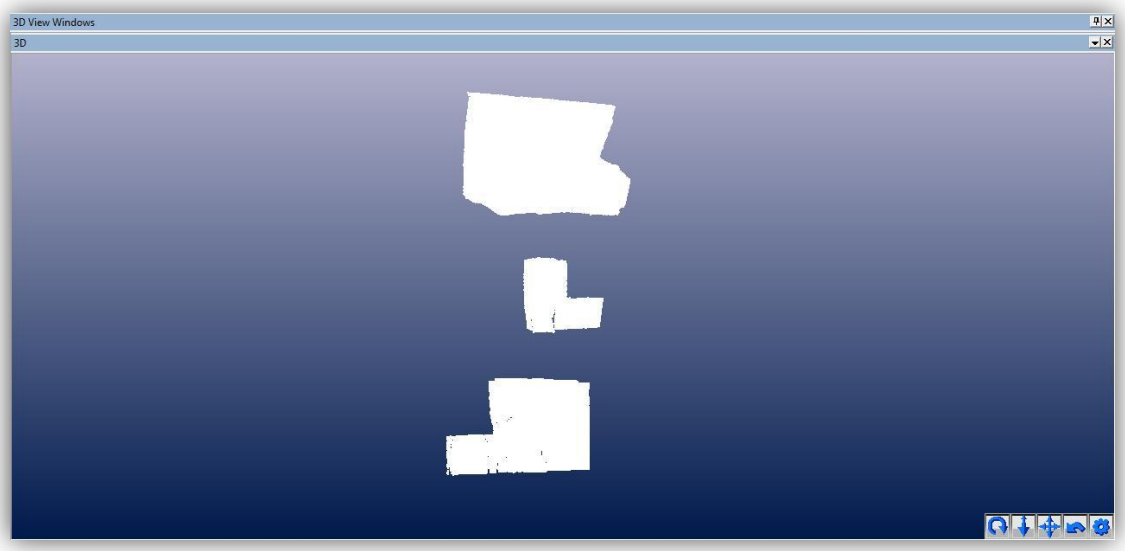
Valg der skal tages med videre fra dette afsnit:

- Ingen trim

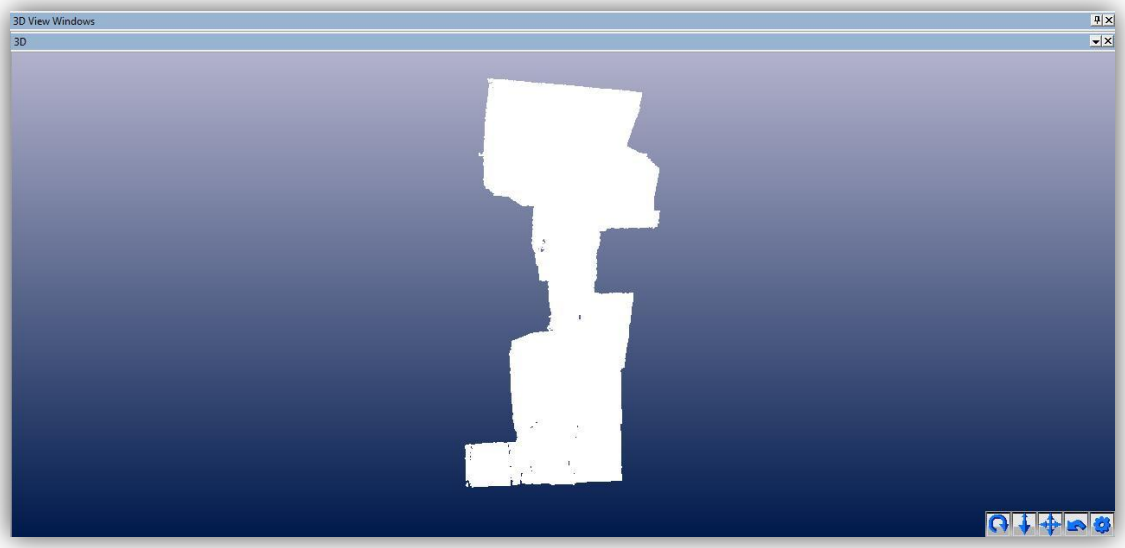
7.1.4 Dense Surface Model, DSM**

Ved ortofotofremstilling er det som bekendt nødvendigt at have en højdemodel over området. Det er både muligt at indlæse en eksisterende højdemodel samt at fremstille èn i PhotoModeler Scanner ud fra billederne. I dette afsnit vil fremstillingen af en højdemodel i PhotoModeler Scanner blive gennemgået.
Den rå 3D punktsky, som den kunne kaldes, dannes i funktionen Create Dense Surface. Her vælges, hvilke billeder, der skal anvendes til generering af 3D punkter. Inden punktskyen genereres, skal det vælges med hvilken afstand punkterne skal dannes, kaldet sampling interval**, og inden for hvilken afstand af approximate surface, kaldet depth range**, punkterne skal dannes. Det

vælges at anvende et sampling interval på 10 cm og en depth range på 0,5 m over og under approximate surface. Til den endelige model, hvor hele billedområdet ønskes anvendt, vil denne depth range formentlig ikke være stor nok, hvorfor standardindstillingen vælges.
Idet basis*/højde-forholdet* er vigtigt for at opnå en god nøjagtighed, vælges de 8 billedpar* med basis/højde-forhold mellem 0,1 og 0,5. Dette resulterer dog i en ufuldstændig model, hvilket fremgår af Screendump 4. Grunden til der opstår huller er, at der mangles billedpar inden for det givne basis/højde-forhold, dækkende disse områder. Ved at vælge 4 supplerende billedpar med et højere basis/højde-forhold end det anbefalede, opnås en model for hele området. Dette kan ses på Screendump 5.



Screendump 4 - Punktskyer med basis/højde-forhold mellem 0,1 og 0,5, set oppefra



Screendump 5 - Punktskyer for hele modellen, set oppefra

Valg, der skal tages med videre fra dette afsnit:

- Sampling interval på 10 cm
- Depth range på standardindstilling
- Der skal vælges billedpar, der dækker det ønskede område
- Der skal fravælges billedpar, der har et meget stort overlap, hvorfor flere af de sidste billeder i striben ikke skal indlæses i programmet

7.1.5 Punktskysmodificering**

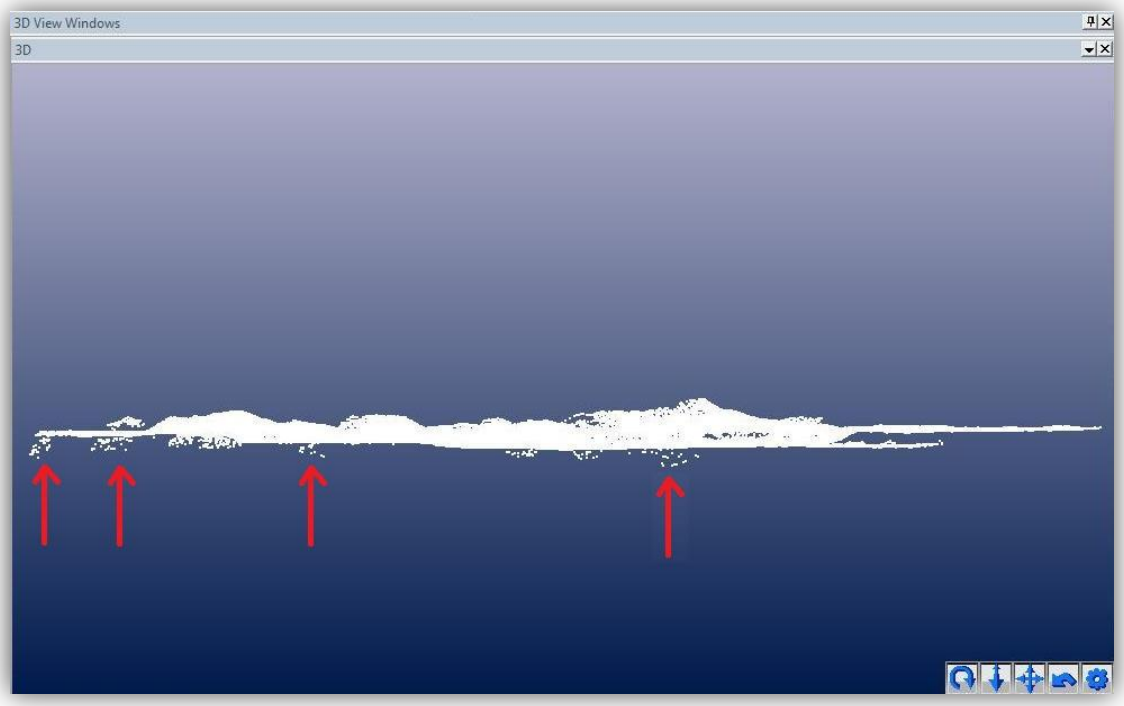
I det efterfølgende vil punktskysmodificeringerne, der anvendes i projektet, blive beskrevet. Det beskrives og forklares, hvorfor opsætningerne og valgene er gennemført som de er. I ordbogen er de enkelte funktioner beskrevet, og det vil derfor ikke blive gentaget her.

Register & merge

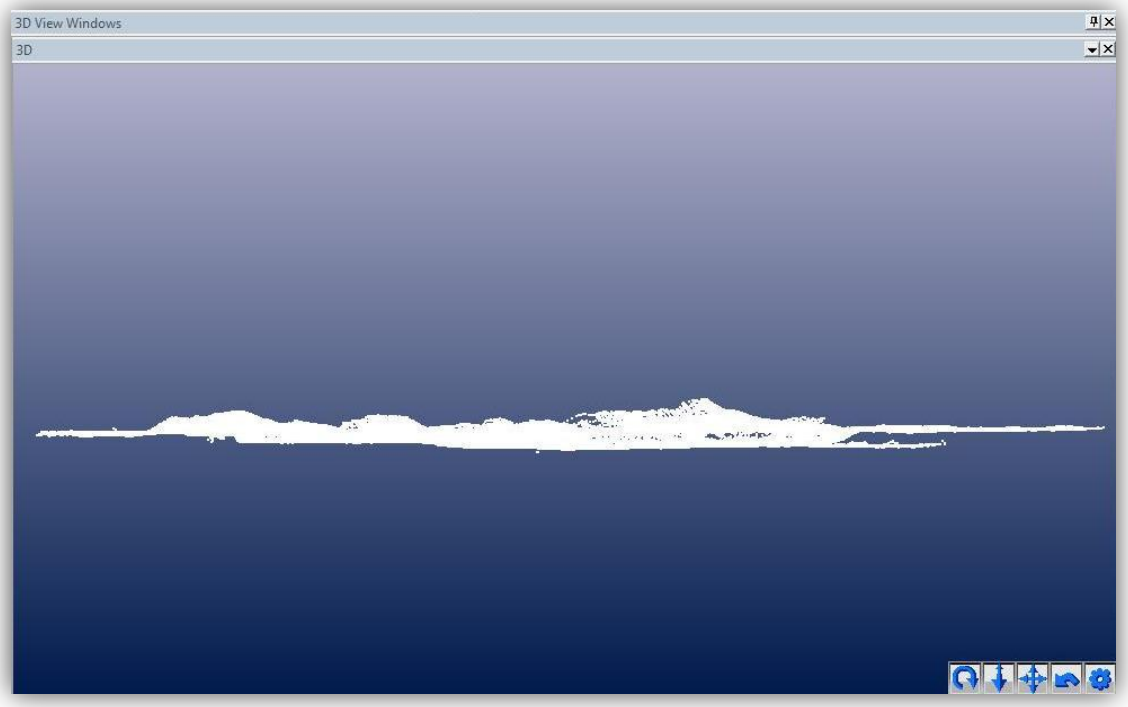
Denne funktion gennemføres med register for at fjerne overflødige punkter. Især i den sidste del af striben er der mange punkter, der ligger meget tæt, idet billederne, som beskrevet tidligere, er taget meget tæt på hinanden.
Det samme skal gennemføres ved den endelige model.

Clean outliers

Gennemføres med en minimum cluster distance på 2. Den maksimale størrelse på en isoleret gruppe fastholdes på 5 % af den samlede punktmængde, der er standardindstillingen. Denne indstilling fandtes fornuftig på baggrund af en visuel inspektion af punktskyerne. På Screendump 6 ses, hvordan der er områder, der afviger fra en ellers naturlig overflade. Efter funktionen er gennemført, ses det af Screendump 7, at de afvigende punkter er blevet fjernet.
De samme indstillinger skal anvendes ved den endelige model.



Screendump 6 - Punktsky før clean outliers, set fra siden



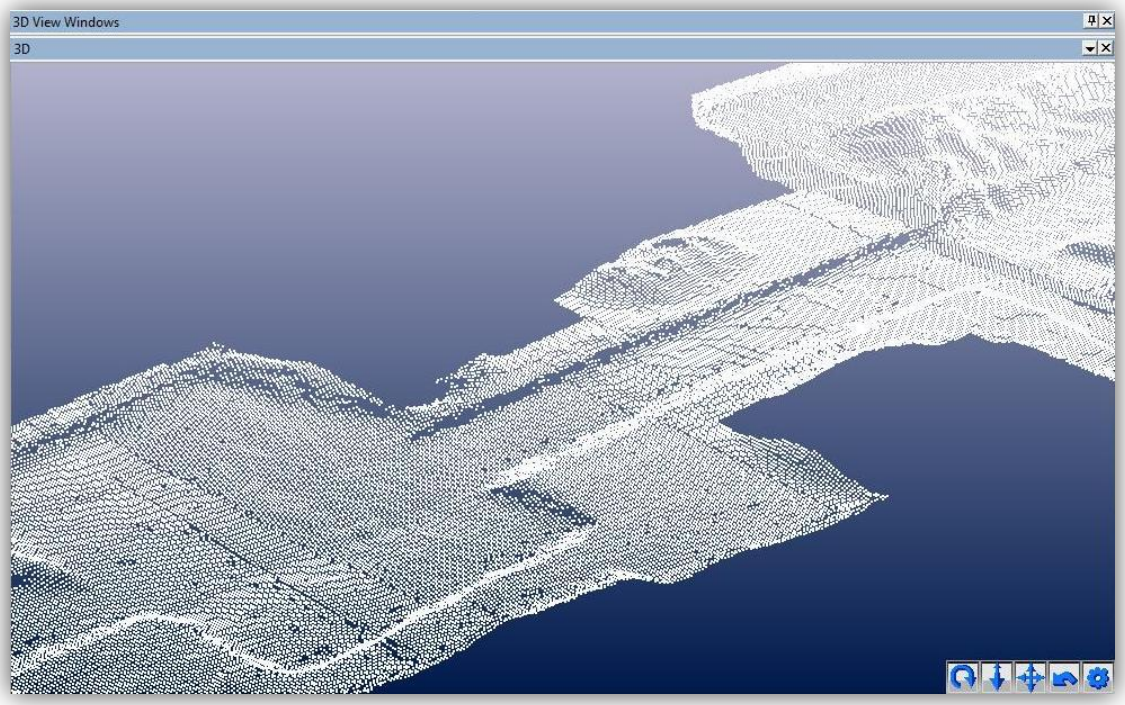
Screendump 7 - Punktsky efter clean outliers, set fra siden

Clear redundancy

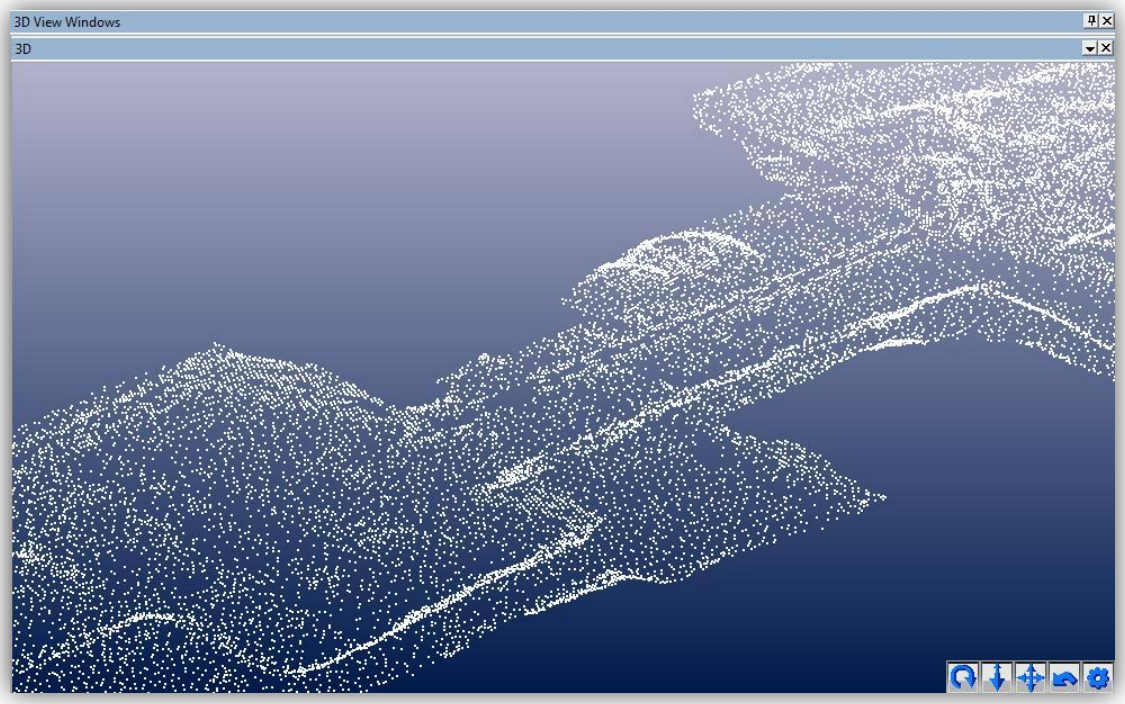
Gennemføres for at fjerne overflødige og tætliggende punkter, men fjerner ikke mange punkter, da register-funktionen allerede er blevet anvendt. Denne funktion vil derfor ikke blive udført ved den endelige model.

Point decimation

Denne funktion gennemføres med en udtynding på 70 %. Det vurderes, at denne udtynding bevarer områdets form tilfredsstillende. På Screendump 8 ses punktskyen inden punktudtyndingen. Screendump 9 viser hvordan formen på modellen bibeholdes efter en udtynding på 70 %.
Til den endelige model foretages ligeledes en udtynding på 70 %.



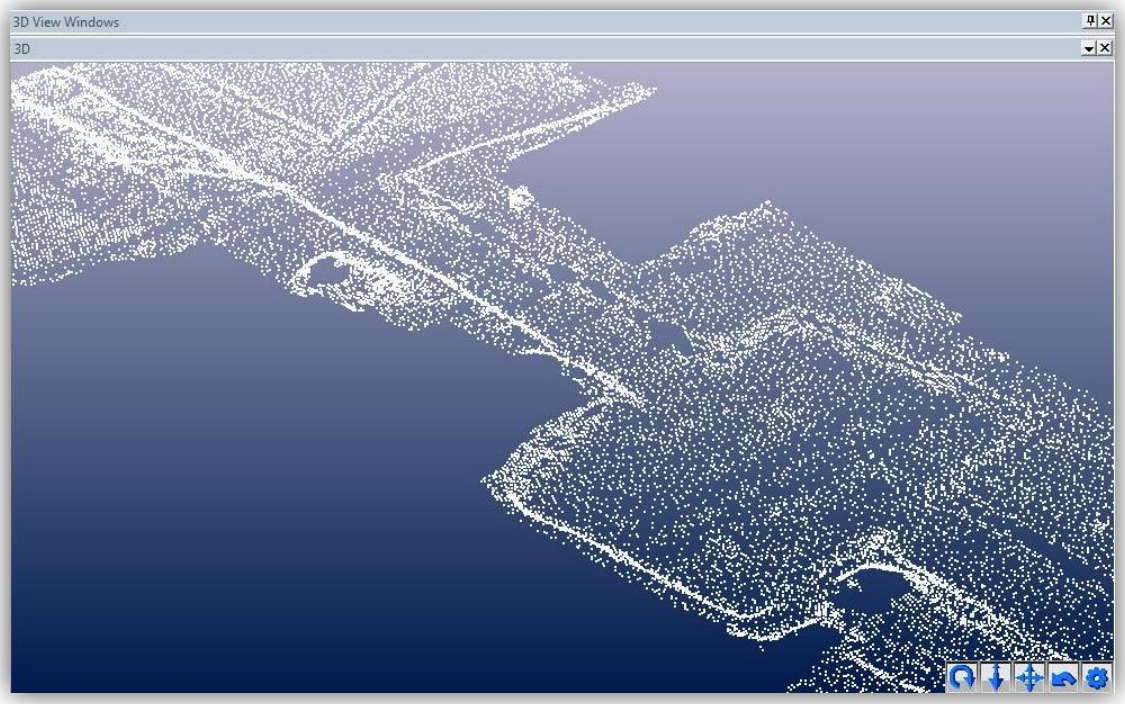
Screendump 8 – Punktsky før udtynding, set skråt fra oven



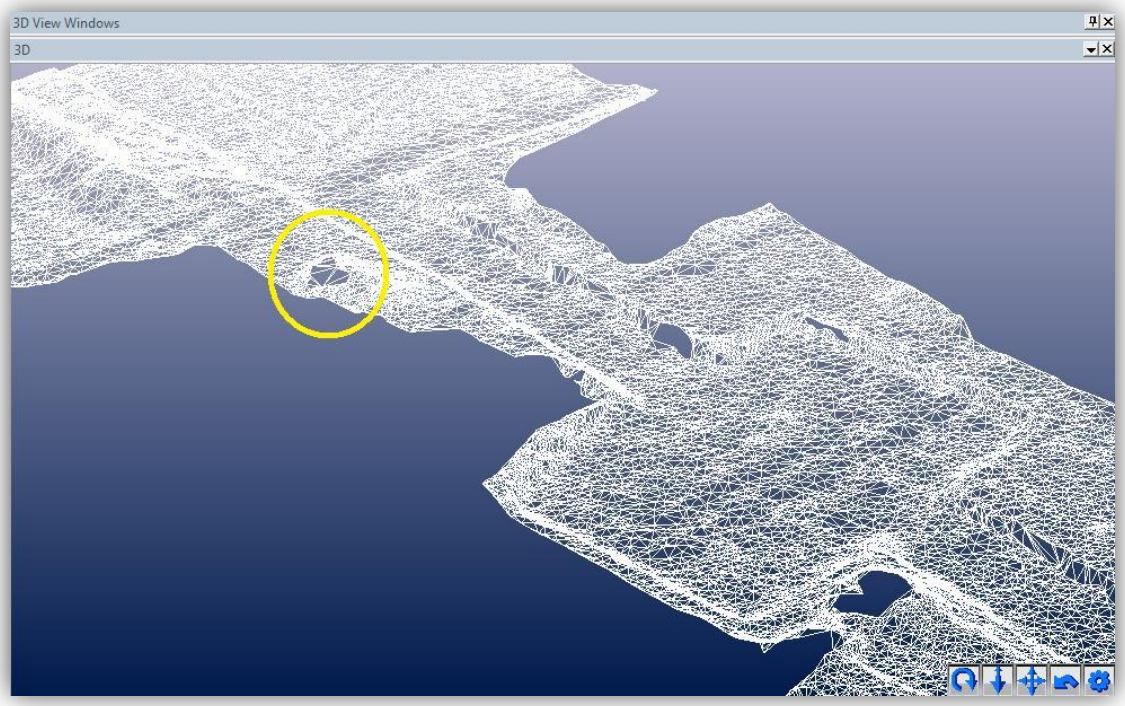
Screendump 9 – Punktsky efter udtynding, set skråt fra oven

Triangulation

Inden trianguleringen blev vi opmærksomme på, at der var flere steder med huller i højdemodellen grundet en dårlig approximate surface. Derfor skal den endelige model ses efter for huller i punktskyen, og approximate surface tilpasses med supplerende punkter. Punktskyen med de manglende punkter kan ses på Screendump 10. Hvis approximate surface ikke tilpasses, og trekantsmodellen genereres, kan det ske, at der genereres trekanter i huller, der ikke har det korrekte data. Dette kan ses på Screendump 11.



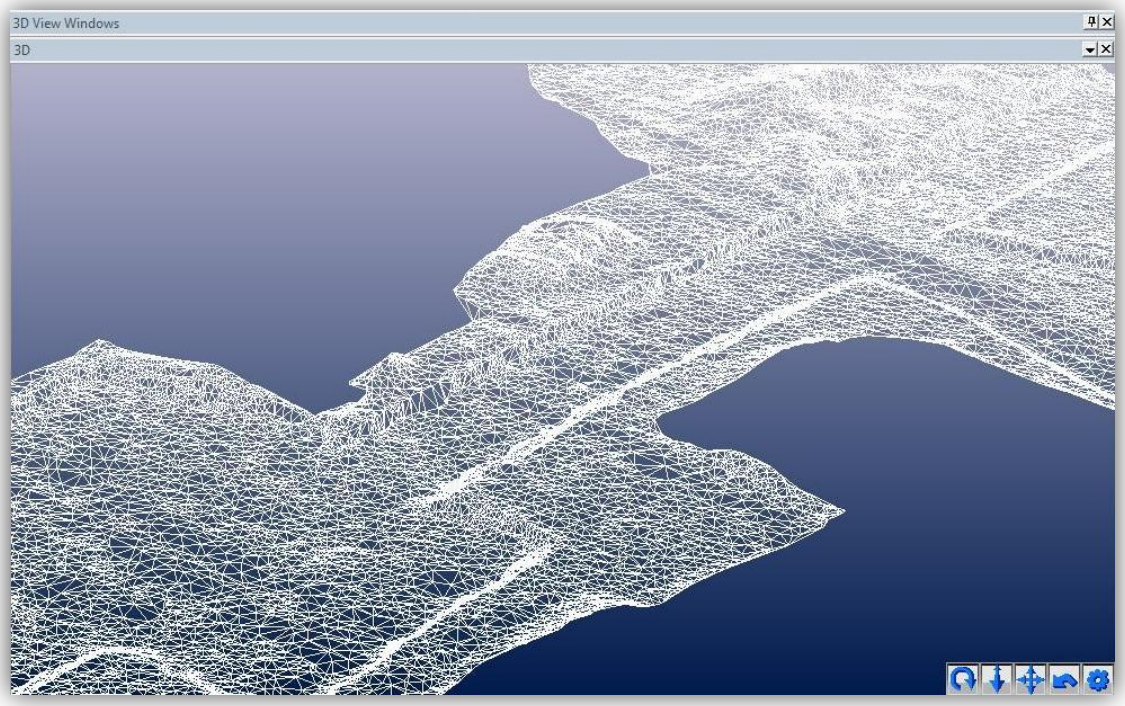
Screendump 10 - Punktsky med huller, set skråt fra oven



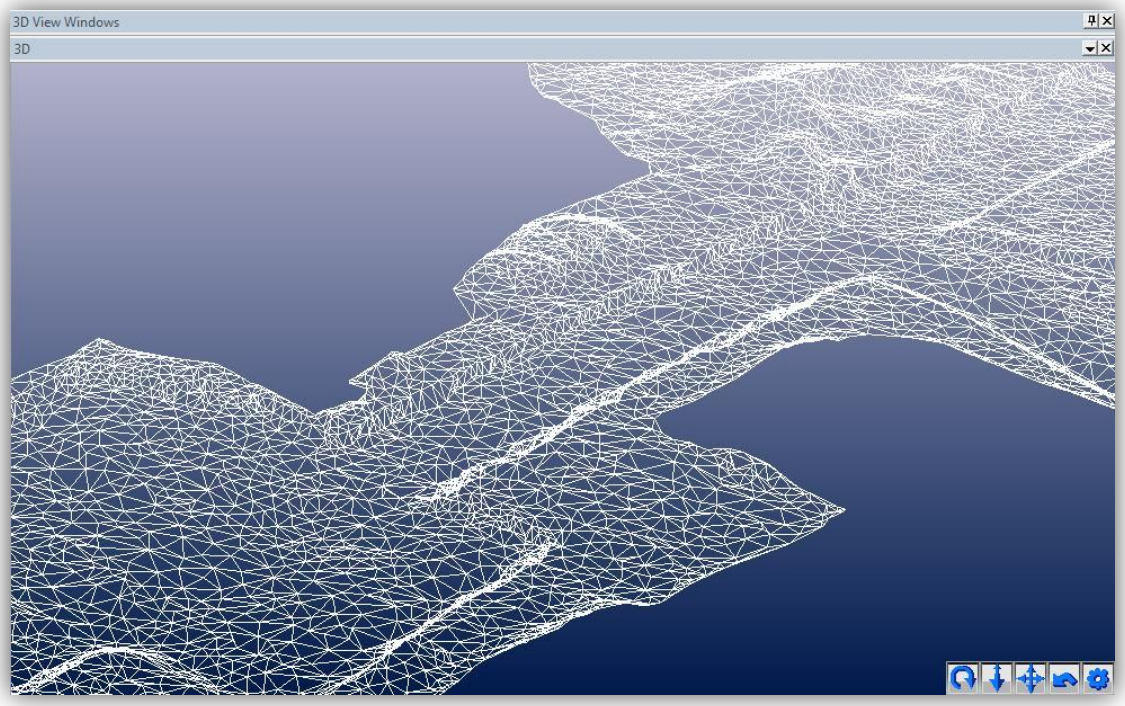
Screendump 11 – Problemområde i trekantsmodel, dannet på baggrund af hullet punktsky, set skråt fra oven

Decimate triangles

Det vælges at fjerne 70 % af de genererede trekanter for at lette beregningsarbejdet. På Screendump 12 og Screendump 13 ses, hvordan formen på modellen ligeledes bevares her, som det var tilfældet under point decimation. Til den endelige model vil der også foretages decimate triangles med en procentsats på 70 %.



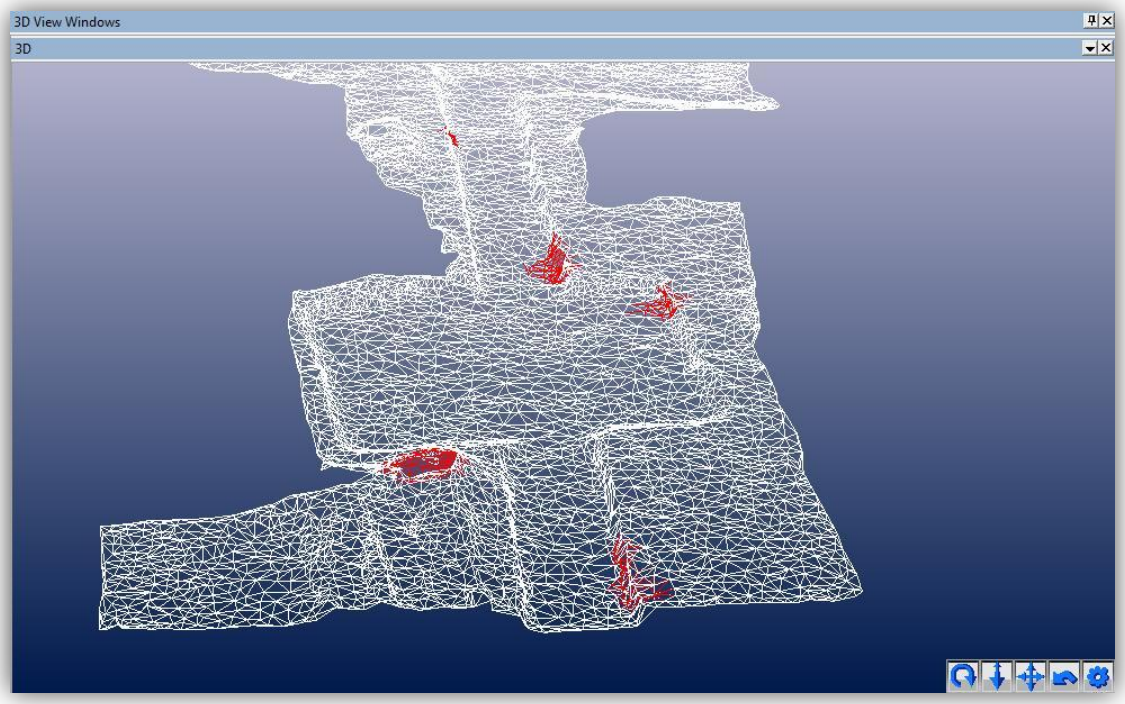
Screendump 12 - Trekantsmodel før udtynding



Screendump 13 - Trekantsmodel efter udtynding

Fill holes

Da farvelægningen under ortofotogenereringen bliver gennemført på trekantsmodellen, er det vigtigt, at der ikke er huller i modellen, da huller ikke vil blive farvelagt korrekt. Fill holes funktionen anvendes for at lukke hullerne i trekantsmodellen, og et resultat kan ses på Screendump 14, hvor de røde markeringer er de nye trekanter genereret af fill holes funktionen.



Screendump 14 - Trekantsmodel med udfyldte huller

Ved at se nærmere på områderne, der blev udfyldt langs søgegrøften, er det tydeligt, at funktionen ikke blot forbinder de eksisterende punkter for at danne trekanter, men laver nye punkter og trekanter i områderne.
Da approximate surface skal forbedres ved den endelige model, forventes der, at der ikke opstår huller på "bjergene". Fill holes-funktionen gennemføres dog stadig for at kunne farvelægge hele modellen.

Samlede valg, der skal tages med videre:

- Approximate surface skal vurderes og tilpasses
- Både register & merge skal anvendes
- Ved clean outliers skal cluster distance være 2 og den maksimale størrelse 5 %
- Point decimation udføres med 70 % udtynding
- Decimate triangles udføres med 70 % udtynding
- Fill holes funktionen gennemføres for at kunne farvelægge hele ortofotoet

7.1.6 Generering af ortofoto

Inden det endelige ortofoto fremstilles, genereres en del forskellige ortofotos for at undersøge, hvilke muligheder der findes ved ortofotofremstilling. Undersøgelserne bliver gennemført med en ny højdemodel, hvori der ikke er anvendt trim. Dette gøres for at lave et ortofoto for hele området, ligesom det vil blive gjort for det endelige ortofoto.

I Tabel 19 opstilles de forskellige ortofotos med opsætninger, der er blevet fremstillet igennem dette afsnit. Ønskes det at se de enkelte ortofotos i fuld størrelse findes de i bilag 12: Generering af ortofoto på bilags Cd'en.

Af tabellen fremgår det, at de enkelte ortofotos er fremstillet over forskellige områder. Områderne kan ses på Figur 17.

Efterfølgende vurderes de enkelte ortofotos visuelt, og til sidst konkluderes det, hvilke farvelægningsmuligheder, der kan anvendes i PhotoModeler Scanner.

Figur 17 – Oversigt, der viser hele området, Kalibreringstargets og graven

Navn	Område	Billeder anvendt til farvelægning	Opløsning	Processeringstid
Ortofoto1	Hele området	Alle billeder	10 cm pixels	Ca. 30 min
Ortofoto2	Hele området	Alle billeder	0,5 cm pixels	Ca. 11 timer
Ortofoto3	Graven	Billede 5	1 cm pixels	Ca. 5 min
Ortofoto4	Kalibreringstargets	Billede 11	1 cm pixels	Ca. 1 min
Ortofoto5	Hele området	Billede 1, 3, 5, 7 og 9	10 cm pixels	Ca. 10 min
Ortofoto6	Hele området	Billede 1, 3, 5, 7 og 9	1 cm pixels	Ca. 7 min

Tabel 19 - Fremstillede ortofotos

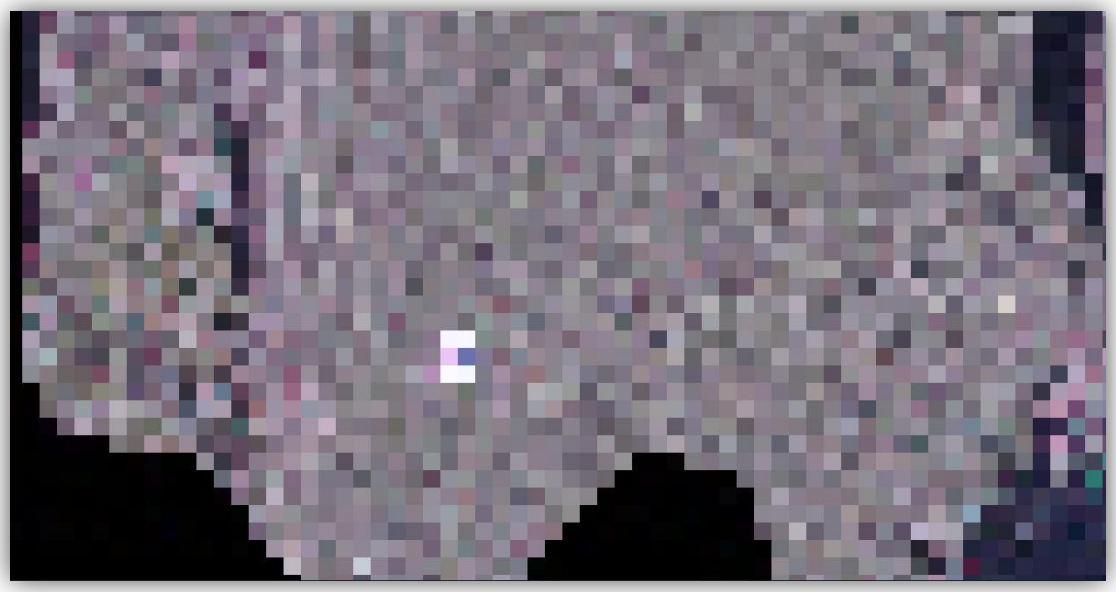
Automatisk valg af billeder til farvelægning

Den automatiske farvelægningsfunktion inddeler hele modellen i flader. En trekant er ikke en del af en flade, hvis den overskrider en valgt værdi, der som standard er 20°. Hvis denne værdi overskrides dannes en ny flade, der farvelægges fra et andet billede, hvis vinklen er bedre hertil. I samme vindue, hvor fladedelingen angives, er det ligeledes muligt at definere, hvornår en flade har for dårlig vinkel i forhold til billedet til at blive farvelagt. Hvis ingen billeder ligger inden for denne værdi, der som standard er 80°, vil fladen blive farvelagt med en massiv farve, der som standard er grå. Se bilag 13: PM help file på bilags Cd'en.

Ortofoto1

Er generet ved, at programmet automatisk leder i alle billeder efter farveværdien. På skærmen i 1:1 fremstår ortofotoet pænt, og det er muligt at se graven og de forskellige "bjerge". Som det ses på Billede 18 er opløsningen meget lav, hvis der zoomes ind. Denne opsætning er derfor god, hvis der ønskes et hurtigt oversigtsortofoto med mindst muligt manuelt arbejde.

Figur 18 - 10 cm ortofoto med udsnit



Billede 18 - Udklip med stor pixelstørrelse

Ortofoto2

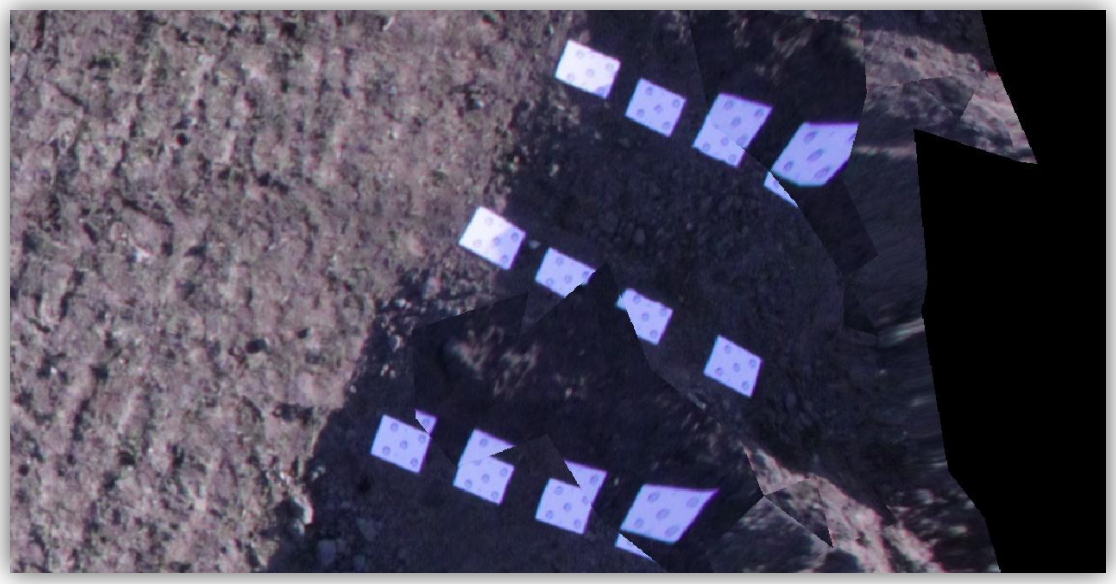
Laves ligeledes med automatisk valg af billeder til farvelægning. Modsat Ortofoto1 er pixelstørrelse på 0,5 cm, da dette svarer nogenlunde til den oprindelige pixelstørrelse på luftbillederne.

Processeringstiden er meget lang, og det tog omkring 11 timer at danne ortofotoet.

Trekanterne, der benyttes under farvelægningen, har en indflydelse på, hvordan det endelige produkt kommer til at se ud. På Billede 19 ses, hvordan targets bliver delt, såfremt de ligger over forskellige trekanter.

For at finde ud af, hvordan dette problem kunne løses, blev Eos Systems' tekniske support kontaktet. De svarede, at det er muligt at angive, hvorfra farverne til ortofotoet skal hentes manuelt, se bilag 9: Eosmailkorrespondance 18.maj 2012.

Figur 19 - 0,5 cm ortofoto med udsnit



Billede 19 - Udklip med farvelægningsproblem

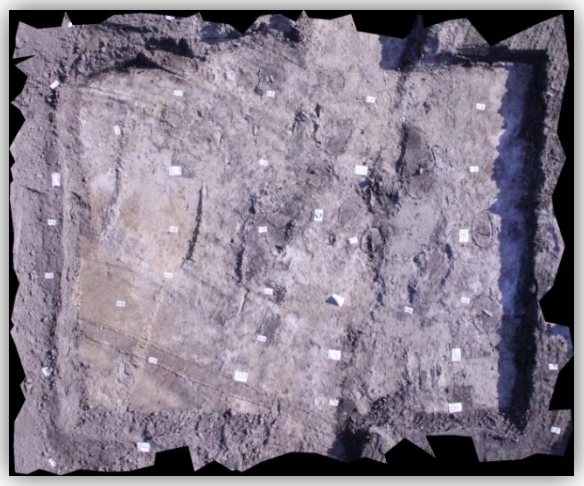
Manuel udvælgelse af billeder til farvelægning

I det efterfølgende eksperimenteres med forskellige farvelægningsmuligheder. Her vælges det manuelt, hvorfra farverne skal hentes.

Ortofoto3

Fremstilles på baggrund af et enkelt billede for et mindre område, da det forventes at tage lang tid at fremstille et ortofoto for hele området med en høj opløsning. Processeringen tog under 5 minutter med en pixelstørrelse på 1 cm, hvilket viser, at det er meget hurtigere at fremstille ortofotoet på baggrund af et enkelt billede i forhold til flere.

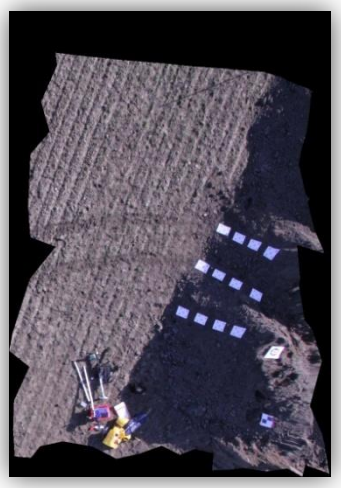
Resultatet ser pænt ud, da der ikke er nabotrekanter, der farvelægges fra forskellige billeder, som det er tilfældet i Ortofoto2.



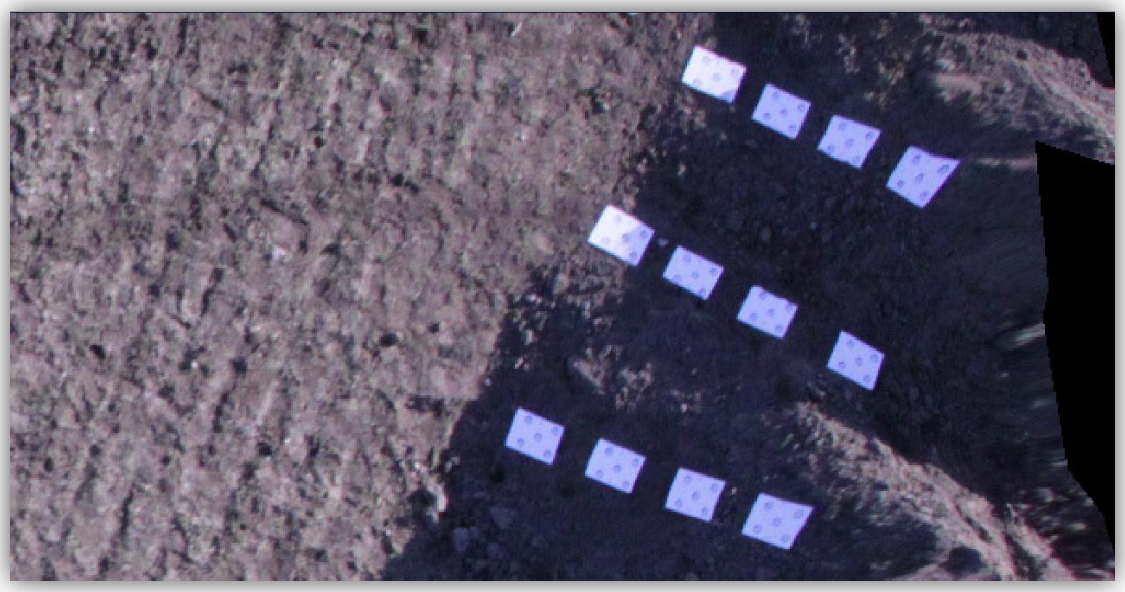
Billede 20 – 1 cm ortofoto over graven

Ortofoto4

Ortofotoet viser, hvordan kalibreringstargets placeret på skråningen kan afbildes bedre, end de er i Ortofoto2, når der kun benyttes et enkelt billede under farvelægningen. Resultatet er bedre, men flere targets er stadig strukket, hvilket tydeligt ses på Billede 22.



Billede 21 – 1 cm ortofoto over kalibreringstargets



Billede 22 - Udklip med forholdsvis små fortegninger

Ortofoto5

Fremstilles for hele området for at undersøge, hvordan resultatet bliver, når et enkelt billede ikke kan dække det hele, men det er nødvendigt at anvende flere.

Ortofotoet dannes ved at dele trekantsmodellen i 5 dele, der farvelægges fra hvert sit billede. Områderne er forsøgt valgt, så de ikke gennemskærer vigtige targets. Af Billede 23 fremgår den mest tydelige overgang mellem to billeder. De andre tre overgange er ikke så fremtrædende.

Såfremt et ortofoto med en pixelstørrelse på 10 cm er tilfredsstillende, vurderes den automatiske farvelægning at være tilstrækkelig. Det manuelle arbejde tager lang tid, og der er ingen visuel forbedring af det endelige resultat.

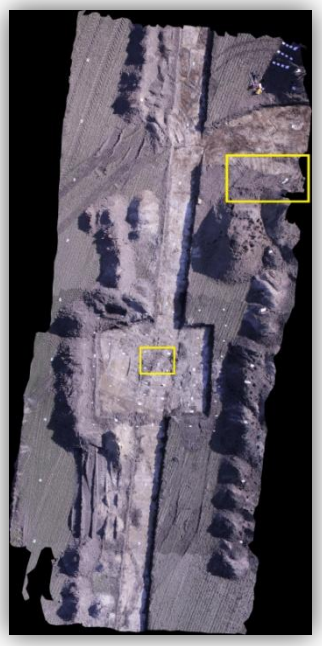
Figur 20 – 10 cm ortofotos med udvalgte billeder

Billede 23 - Udklip med farvelægningsproblem

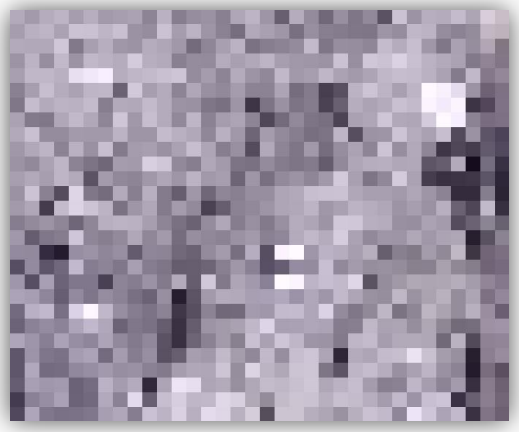
Ortofoto6

Efter fremstillingen af ortofotoet med 10 cm pixelstørrelse fremstilles et nyt ortofoto med en pixelstørrelse på 1 cm for at undersøge den visuelle forskel. Der benyttes de samme 5 inddelinger og billeder som i Ortofoto5. Den mindre pixelstørrelse gør det muligt at definere mindre objekter i ortofotoet, hvilket fremgår af Billede 24 og Billede 25.

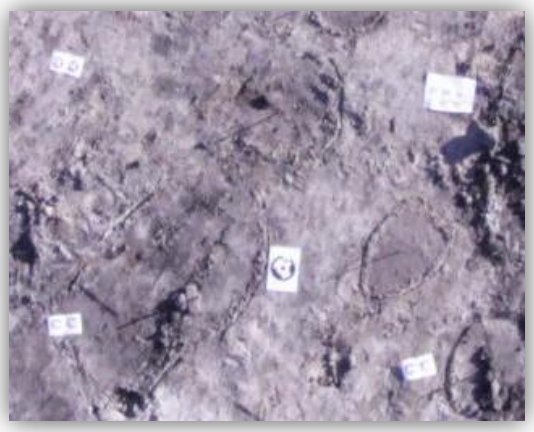
Der er stadig områder, der er fortegnede, se Billede 26. Dette problem opstår, hvis højdemodellen ikke er korrekt, som beskrevet i afsnit 2.2.5. For at undgå denne fejl i ortofotoet er det vigtigt kun at benytte den centrale del af billedet til farvelægningen, idet fejlbidraget bliver større jo længere afstanden bliver til nadirpunktet.



Figur 21 - 1 cm ortofoto med udvalgte billeder



Billede 24 - 10 cm pixelstørrelse



Billede 25 - 1 cm pixelstørrelse

Billede 26 - Udklip med fortegnet target

Igennem afsnit 7.1.6 blev det klart, at der er flere muligheder i forhold til farvelægning af ortofotoet. Disse farvelægningsmuligheder og deres fordele og ulemper vil blive opsummeret her:

Automatisk valg af billeder til farvelægning

Farvelægningen kan foregå fuldautomatisk, hvor programmet bestemmer, fra hvilke billeder farveværdien skal hentes til de enkelte pixels i ortofotoet.
Det kan vælges, at programmet skal farvelægge ud fra alle billeder i projektet, eller der kan vælges bestemte billeder, der skal anvendes til farvelægningen.

- Fordele: Nemt
- Ulemper: Idet trekanternes hældning bestemmer, hvilket billede der anvendes til farvelægningen, kan nabotrekanter blive farvelagt fra forskellige billeder. Dette kan give et forvirrende ortofoto, hvilket var tilfældet på Ortofoto 2.

Manuel udvælgelse af billeder til farvelægning

Trekantsmodellen deles manuelt op i mindre delområder. Når ortofotoet farvelægges, er det de farver, der er defineret til delområderne, der anvendes til farvelægningen på ortofotoet. Er trekantsmodellen for eksempel delt op i 5 områder, bliver hvert område farvelagt fra et udvalgt billede. Dette minder om sømlinjer, der kendes fra almindelig ortofotoproduktion, men er ikke det samme, da der i PhotoModeler Scanner opereres i forhold til den triangulerede model og ikke linjer i landskabet.

- Fordele: ved manuelt at definere, hvor trekantsmodellen skal deles, er det muligt at undgå at dele objekter
- Ulemper: tidskrævende, idet arbejdet er manuelt. Hvis et helt billede anvendes til farvelægningen, og der er fejl i højdemodellen, vil der opstå fortegninger, der bliver større i takt med afstanden til nadirpunktet øges.

Til farvelægningen af det endelige ortofoto vil trekantsmodellen blive opdelt i mindre områder, et for hvert af de anvendte billeder. Ved at gøre dette bliver afstanden til nadirpunktet mindst mulig, men idet der kun arbejdes med en stribe af billeder, vil der stadig kunne opstå fortegninger, hvor sideoverlappet skulle have været.

7.2 Det endelige ortofoto

I dette afsnit beskrives fremstillingen af det endelige ortofoto.

7.2.1 Relativ orientering

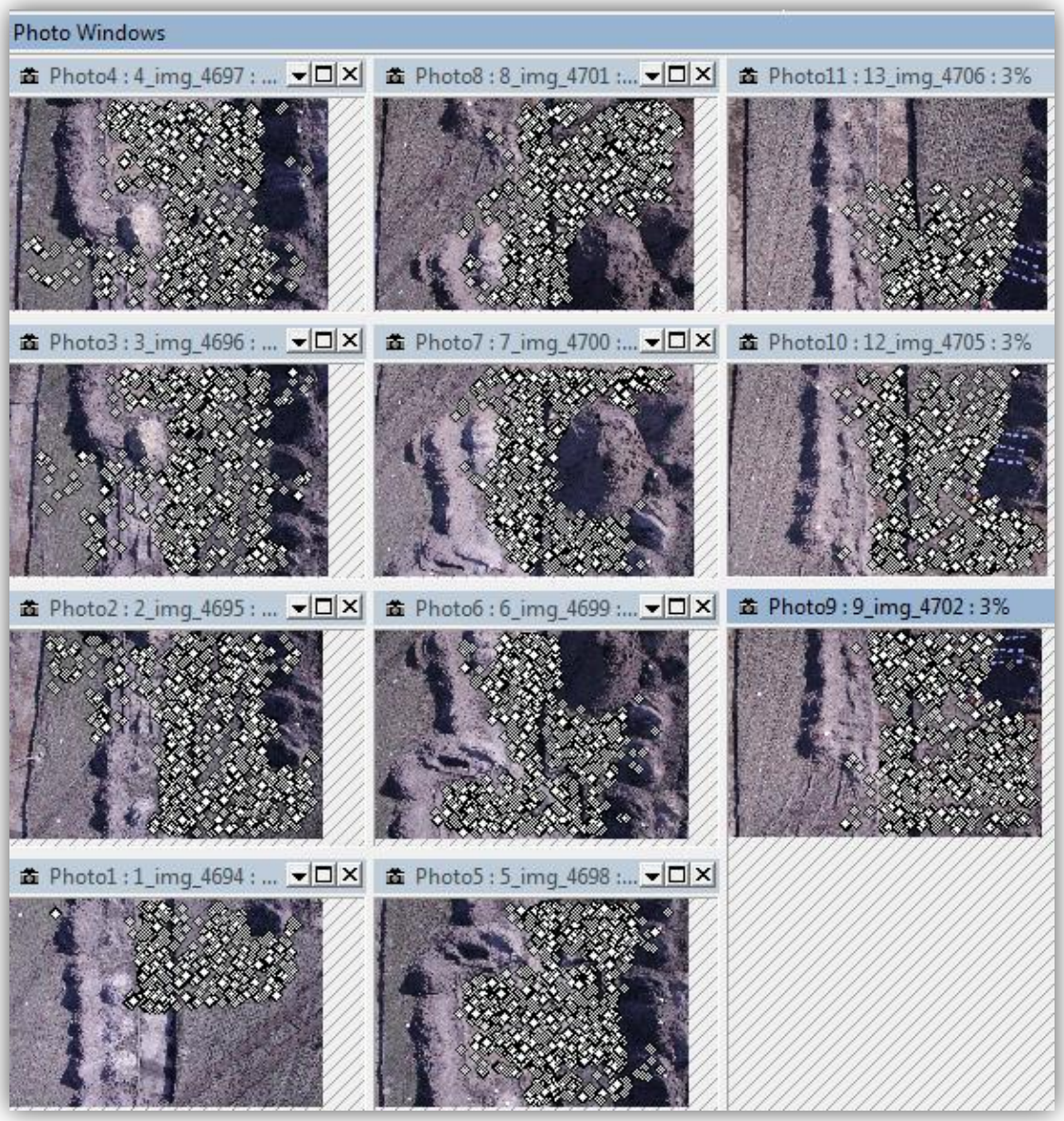
Alle billeder undtagen billede 10 og 11 indlæses. Disse billeder er to af dem, der ligger meget tæt til sidst i striben. De 11 resterende billeder orienteres med høj punkttæthed, og det vælges, at billederne er unordered. Orienteringen lykkes for alle billederne i modsætning til afsnit 7.1.1, hvor billede 1 ikke blev orienteret, men fordi punkttætheden ændres til høj, orienteres alle billederne. Resultaterne af den relative orientering kan ses i Tabel 20.

Gennemløb nr.	Antal SmartPoints	Maks. residual	Samlet RMS	Antal SmartPoints maks. residual > 1,50 pixels
1	5975	2.09 pixels	0,59 pixels	153 (2,6 %)
2	5832	2.12 pixels	0,52 pixels	29 (0,5 %)
3	5803	1,55 pixels	0,51 pixels	7 (0,1 %)
4	5796	1,52 pixels	0,51 pixels	3 (0,1 %)
5	5793	1,52 pixels	0,51 pixels	3 (0,1 %)
6	5790	1,53 pixels	0,51 pixels	2 (0,0 %)
7	5788	1,50 pixels	0,51 pixels	0
Total				197

Tabel 20 - Resultat af den relative orientering

Ved ikke at indlæse billede 10 og 11, bliver det samlede antal SmartPoints ca. 40 % lavere, men til gengæld er der færre punkter med et maks. residual over 1,5 pixels. Dette kunne tyde på, at billeder, der ligger meget tæt, giver dårligt bestemte SmartPoints. Den samlede RMS er blevet tilsvarende lavere og er nu tættere på grænsen på 0,5 pixels. At værdierne stadig er over de anbefalede tyder på, at enten overlap mellem billederne eller billedkvaliteten ikke er, som den bør være.

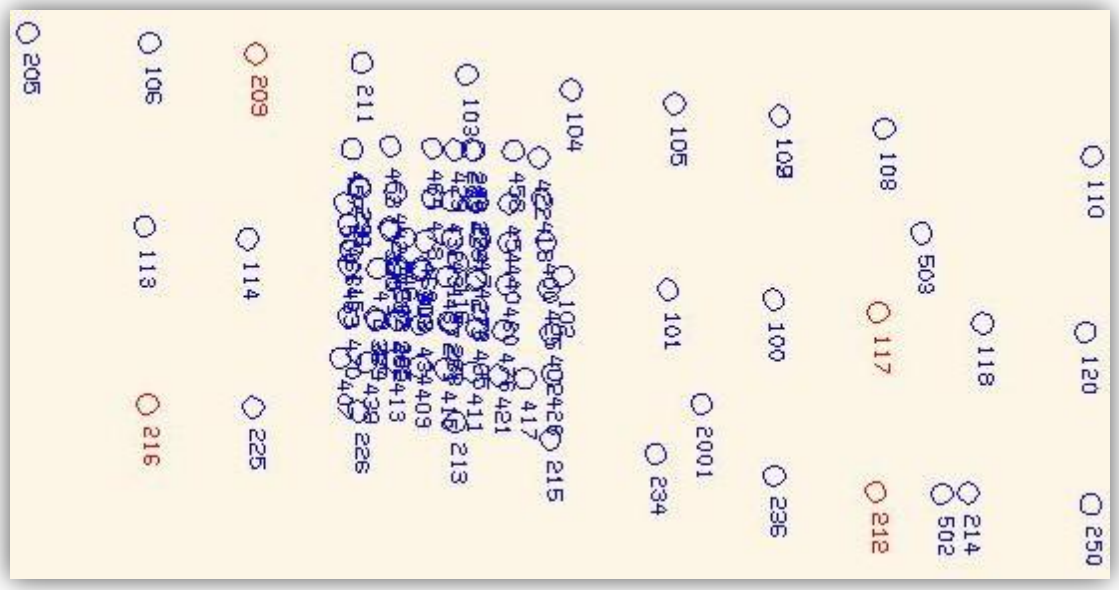
Idet andelen af punkter, der overskrider den anbefalede værdi på 1,50 pixels, er lav, vælges det at slette disse. Som det fremgår af Tabel 20 kræver det 7 gennemløb inden punktet med den højeste residual er under 1,50 pixels. Grunden til det er nødvendigt at slette punkterne af flere omgange er, at punkterne har indflydelse på hinanden, og at det ikke nødvendigvis er de 197 punkter med højest residual fra første gennemløb, der er de dårligst bestemte. Efter 7 gennemløb er det samlede antal SmartPoints 5788. Fordelingen af disse kan ses på Screendump 15, hvor det fremgår, at punkterne er centreret omkring graven, mens der næsten ingen er til venstre for. Det har ikke været muligt at fastlægge, hvorfor der ikke findes nogle SmartPoints til vestre for ”bjergene”. Dette er problematisk, da punkterne til den relative orientering bør dække området, der ønskes modelleret. Der er dog mange SmartPoints, hvor det lykkes for programmet, hvilket formentlig giver et tilfredsstillende resultat. Hvis de områder der mangler SmartPoints ikke havde været marker, der fremstår ens, kunne der manuelt være blevet suppleret med ekstra punkter. Da dette ikke er muligt og residualerne er omkring de anbefalede værdier, godkendes den relative orientering, og de fundne SmartPoints vil blive anvendt videre under ortofotofremstillingen.



Screendump 15 - SmartPointsfordelingen

7.2.2 Absolut orientering

Til den absolutte orientering benyttes punkterne; 117, 209, 212 og 216, hvilket kan ses på Figur 22. Af figuren fremgår det, at punkterne ikke omkranser hele området. Dette skyldes, at det ikke var muligt at markere targets, der lå langt fra SmartPoints, med en god nøjagtighed. Dette understreger, hvor vigtig det er at lave den relative orientering, så den dækker hele området.



Figur 22 - Indmålte targets, hvor punkter anvendt til absolut orientering er markeret med rød

De fire valgte targets og deres maks. residual fremgår af Tabel 21.

Punkt	Maks. residual	Anvendte billeder
117	0,56 pixels	8, 9 og 12
209	3,37 pixels	2, 3 og 4
212	0,84 pixels	8, 9 og 12
216	0,78 pixels	2 og 3

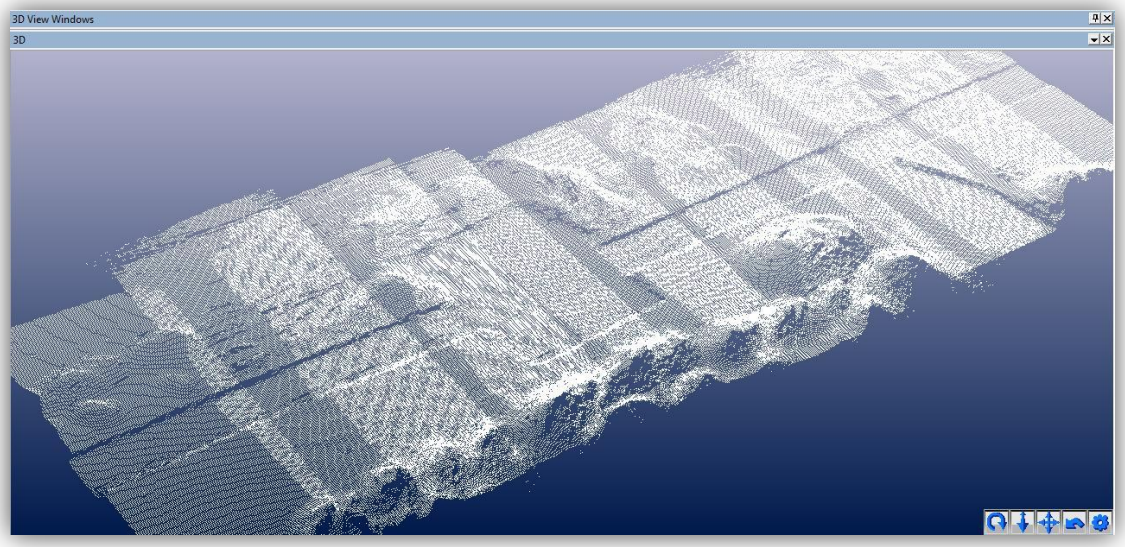
Tabel 21 - Residualer på manuelt markerede targets til absolut orientering

Selvom residualet på punkt 209 er højere end 1,50 pixels, vælges det at anvende dette punkt til den absolutte orientering. Dette gøres for at undgå, at skulle ekstrapolere for meget, når der efterfølgende skal genereres punktskyer.

7.2.3 DSM

Der dannes 10 punktskyer, hvor alle nabobillederne anvendes; 1-2, 2-3 … 9-12 og 12-13. Disse har et basis/højde-forhold mellem 0,35 og 0,66, hvilket overskrider det anbefalede, men som beskrevet tidligere er det nødvendigt, for at få en fuldstændig model. Punktskyerne laves med et sampling interval på 10 cm og med en standardindstilling for depth range på 1,998 m over og 1,998 m under approximate surface.

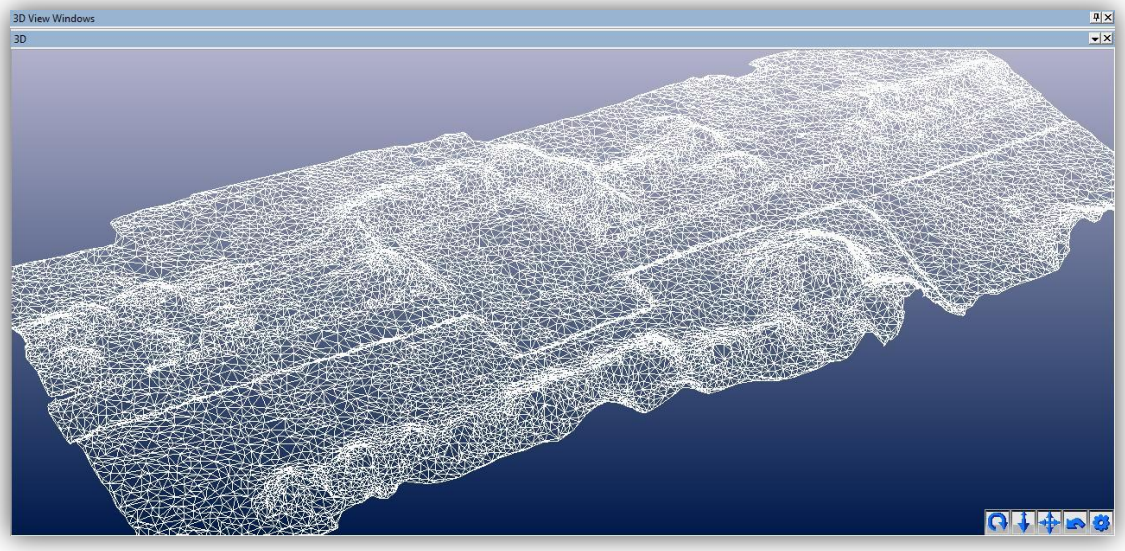
På Screendump 16 ses, at der ikke opstår huller i modellen med de valgte indstillinger. Derfor er det ikke nødvendigt at forbedre approximate surface, og punktskysmodificeringerne kan derfor påbegyndes.



Screendump 16 – Punktskyer før modificeringer, set skråt fra oven

7.2.4 Punktskysmodificering

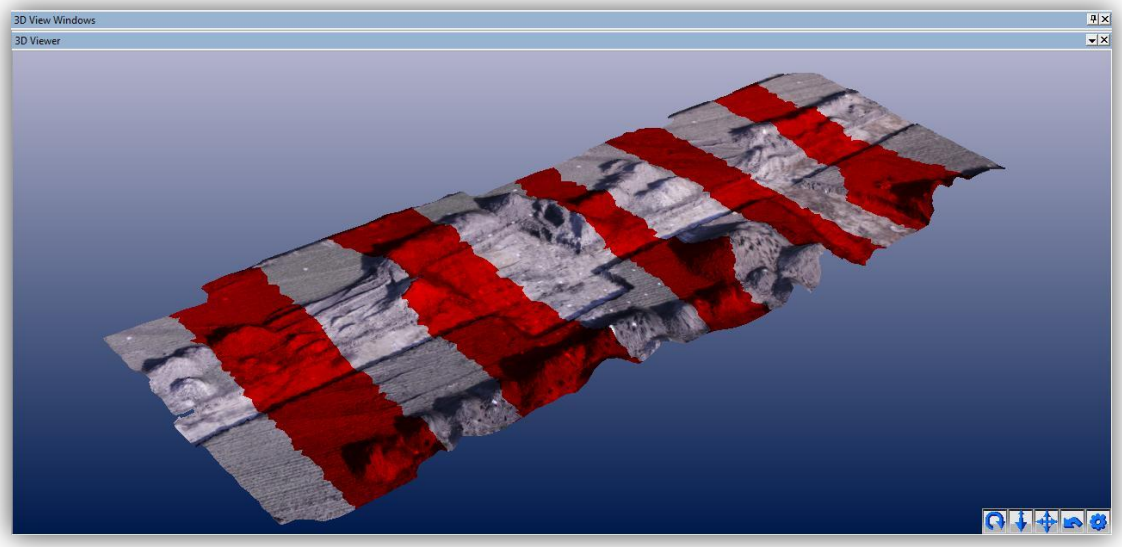
Punktskyerne modificeres vha. de seks valgte funktioner, som beskrevet i afsnit 7.1.5. Alle modificeringerne gennemføres på én gang for at spare tid, og resultatet af modificeringerne kan ses på Screendump 17. Ved visuelt at undersøge trekantsmodellen, kan det konkluderes, at der ikke er nogle huller, og at der ikke er "bjerge", hvor toppen er skåret af. Derudover er det tydeligt, at der stadig er mange trekanter, hvilket vil sige, at udtyndingen formentlig godt kunne være blevet foretaget med en højere procentdel, uden formen på modellen var blevet ødelagt.



Screendump 17 – Trianguleret model efter modificeringer, set skråt fra oven

7.2.5 Generering af det endelige ortofoto

Som beskrevet sidst i afsnit 7.1.6, vil trekantsmodellen blive manuelt inddelt i mindre områder. Hvert område repræsenterer et billede, der vil blive anvendt til at farvelægge ortofotoet. Inddelingen i de 11 områder kan ses på Screendump 18, hvor hvert andet område blevet farvet rødt for at kunne skelne områderne fra hinanden.



Screendump 18 – Trianguleret model opdelt i 11 områder, et for hvert billede, set skråt fra oven

Efter det er valgt, hvorfra ortofotoet skal farvelægges, genereres ortofotoet. Ud over ortofotoet genereres en fil til georeferering. Billedet dannes i .jpg format og geofilen i .jgw format. Pixelstørrelsen sættes til 1 cm, og retningen på ortofotoet sættes til XY. Den høje opløsning gør det muligt at identificere små objekter og targets. Det endelige ortofoto kan ses på Billede 27 og i bilag 14: Endeligt ortofoto.

Billede 27 - Det endelige ortofoto

7.3 Vurdering af det endelige ortofoto

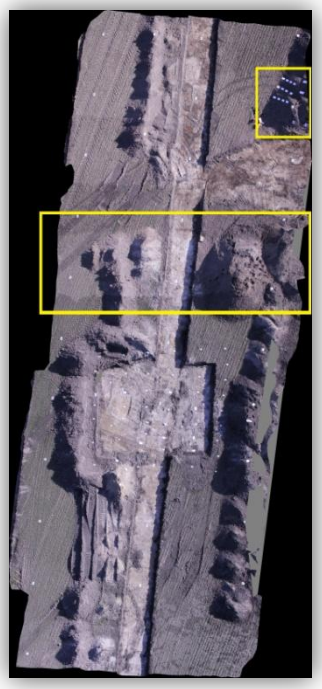
I dette afsnit gennemføres vurderingerne, opstillet i afsnit 6.2, af det endelige ortofoto. Først vurderes det visuelle resultat af det endelige ortofoto. Herefter gennemføres kote- og plansammenligningerne. Slutteligt beregnes nøjagtigheden i ortofotoet.

Alle data, der er brugt til at lave vurderingerne, findes i bilag 15: Vurdering af ortofotoet, der findes på bilags Cd'en

7.3.1 Visuel

Farveforskellene mellem delområderne er nogle steder meget tydelige. Det mest tydelige område er vist på Billede 29. Dette er dog det mindste problem i ortofotoet, da området omkring kalibreringsfeltet har fået andre fejl end tidligere. På Billede 28 ses, hvordan et område langt fra nadirpunktet bliver afbildet forkert, her optræder flere targets dobbelt. Dette er dog forventeligt, eftersom afstanden er stor, og dette område bør derfor ikke benyttes. Derudover er der flere steder, hvor det ikke har været muligt at farvelægge ortofotoet. Disse steder har fået en massiv grøn farve, og kan ses ved kanten af ortofotoet.

Billede 28 – Problemområde langt fra nadirpunkt



Figur 23 - Det endelige ortofoto med udsnit

Billede 29 - Farveforskelle på ortofotoet

7.3.2 Kotesammenligning

I dette afsnit beskrives, hvordan dataene fra PhotoModeler Scanner bliver konverteret til et format, GeoCAD kan læse. Herefter opstilles den forventede spredning i højden og til sidst beregnes spredningen på baggrund af den fremstillede højdemodel og de indmålte targets.

Konvertering af højdedata

Den endelige højdemodel eksporteres fra PhotoModeler Scanner til en txt-fil. I denne fil indgår punktkoordinaten og farveværdien til punktet i RGB* værdier. Da det ønskes at gennemføre kotesammenligninger, er farvekoderne uinteressante. Ved at benytte GeoCADs FILE2G funktion, er det muligt at konvertere filen, PhotoModeler Scanner danner, til et GeoCAD-format. Den anvendte FILE2G fil er lagt i bilag 15.

Forventet spredning

Den forventede spredning i højden, $\sigma_{0højde}$, beregnes ud fra følgende formel:

$$\frac{\left(\frac{(\sigma_c * M)}{10000} * h/b\right)^2}{2} + \left(\sigma_{målt\ pixel} * pixelstr * h/b\right)^2 + \left(\frac{(\sigma_{ref} * M)}{10000} * h/b\right)^2 + {\sigma_{h\ paspunkt}}^2 + {\sigma_{def}}^2$$

Hvor σ_c er spredningen på kamerakonstanten fra kalibreringsrapporten: 2 µm
M er målforholdet beregnet på baggrund af flyvehøjden og kamerakonstanten: 15m /0,01m
h/b er højde-basisforholdet for det tætteste billedpar: 15 m / 5,25 m
$\sigma_{målt\ pixel}$ er hvor præcist, der kan måles i billedet, hvilket er punktet med den højeste residual efter den absolutte orientering: 3,37 pixels
$pixelstr$ er pixelstørrelsen: 0,645 cm
σ_{ref} er refraktionsbidraget: 1 µm
$\sigma_{h\ target}$ er fejlbidraget fra targets målt ind med totalstation: 0,5 cm

I beregningen er anvendt de højeste værdier for at give den højeste forventede spredning. I scriptet forventedespredninger.m, der kan findes i scriptmappen på bilags Cd'en, beregnes $\sigma_{0højde}$ til 6,3 cm.

Beregnet spredning

Spredningen på højden kan i GeoCAD beregnes ved at sammenligne to højdedata. Der foreligger en højdemodel fra PhotoModeler Scanner, og en række terrestrisk indmålte punkter. Ved at interpolere de indmålte punkter på højdemodellen fås forskellene mellem koterne. I alt er der 91 punkter, der interpoleres på højdemodellen.

Første resultat af interpolationen viste, at punkterne havde en spredning på 15,3 cm før translationen og 13,6 cm efter. På baggrund af denne indledende beregning sættes den maksimale værdi til 40,8 cm, hvilket er 3*13,6 cm. Resultatet af denne direkte sammenligning af højden, kan ses i Tabel 22, hvor det ses, at spredningen i højden bliver 11,7 cm.

Antal værdier i beregningen	88
Maximum værdi (abs) før udvægtning	0,408 m
Antal værdier udvægtet	3
Minimum differens	-0,129 m
Maximum differens	0,370 m
Translation (middel tal) af værdier	0,000 m
Spredning på værdier	0,117 m

Tabel 22 - Resultat af endelig interpolation fra GeoCAD, se bilag 15: 1D-direkteafvigelser

Den beregnede spredning på 11,7 cm er større end den forventede spredning på 6,3 cm. Dette tyder på, at den forventede spredning er for optimistisk i forhold til, hvad PhotoModeler Scanner er i stand til at præstere.

7.3.3 Plansammenligning

I dette afsnit beskrives, hvordan orienteringsfilen, der blev dannet i PhotoModeler Scanner, konverteres til et format, GeoCAD kan læse. Herefter opstilles den forventede spredning i planet og til sidst beregnes spredningen mellem de terrestrisk målte punkter og de observerede punkter i ortofotoet.

Konvertering af orienteringsfil

Ved fremstillingen af ortofotoet blev der, som beskrevet i afsnit 7.2.5, dannet en jgw-fil, der beskriver orienteringen af ortofotoet i det anvendte koordinatsystem. Jgw-filen er et ESRI filformat (Esri) og kan ikke benyttes af GeoCAD, der anvender en igeo-fil, til orientering af ortofotoet. Derfor undersøges opbygningen af de to forskellige formater, for at konvertere jgw-filen til en igeo-fil.

Jgw-filen er opbygget af 6 linjer, hvor linje 1 og 4 er pixelstørrelsen i henholdsvis x- og y-retningen. Linje 2 og 3 er roteringen af billedfilen, og de to sidste linjer er koordinaten til centrum af pixlen i øverste venstre hjørne af billedet. Da GeoCAD ikke anvender de samme oplysninger til definition af billedets orientering jf. (GeoCAD), fremstilles et script igeoberegning.m, der beregner de korrekte parametre til igeo-filen, scriptet findes i scriptsmappen på bilags Cd'en.

Forventet spredning

Den forventede spredning i planet, σ_{0plan}, beregnes ud fra følgende formel:

$$\sqrt{\frac{\left(\frac{(\sigma_c * M)}{10000}\right)^2}{2} + \left(\sigma_{målt\ pixel} * pixelstr\right)^2 + \left(\frac{(\sigma_{ref} * M)}{10000}\right)^2 + {\sigma_{p\ paspunkt}}^2 + {\sigma_{def}}^2}$$

Hvor σ_c er spredningen på kamerakonstanten fra kalibreringsrapporten: 2 µm

M er målforholdet beregnet på baggrund af flyvehøjden og kamerakonstanten: 15m /0,01m

$\sigma_{målt\ pixel}$ er hvor præcist, der kan måles i billedet, hvilket er punktet med den højeste residual efter den absolutte orientering: 3,37 pixels

$pixelstr$ er pixelstørrelsen: 0,645 cm

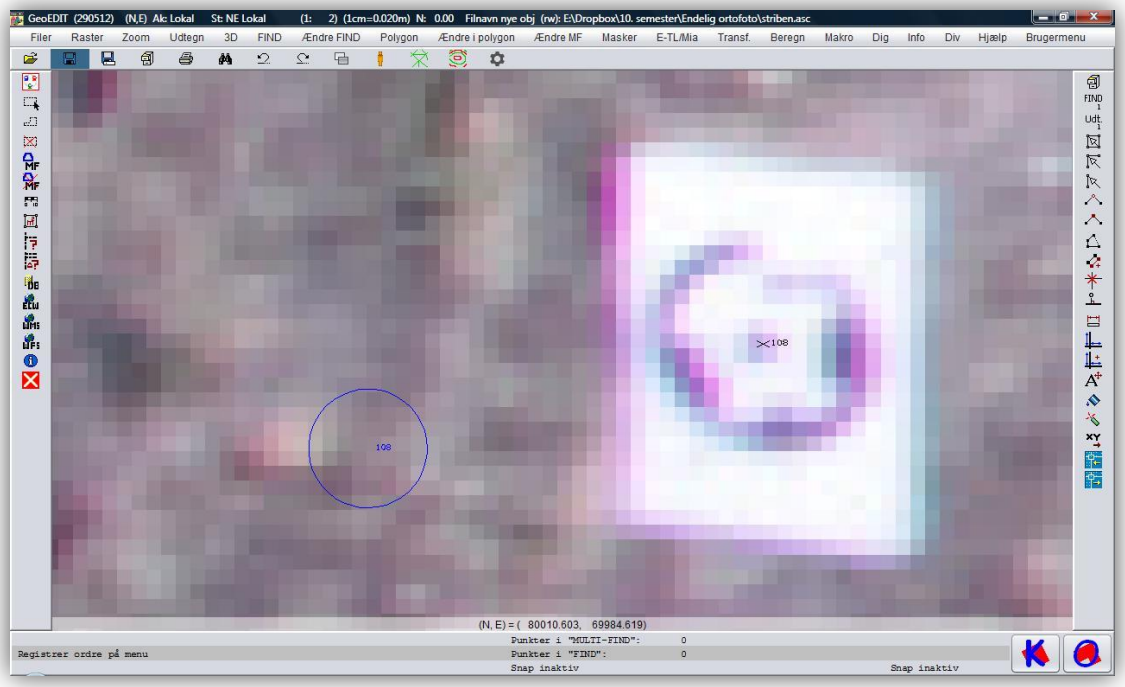
$\sigma_{p\ target}$ er fejlbidraget fra targets målt ind med totalstation: 0,5 cm

σ_{def} er nøjagtigheden hvorved targets er observeret manuelt i GeoCAD: 0,5 cm

I beregningen er anvendt de højeste værdier for at give den højeste forventede spredning. I scriptet forventedespredninger.m beregnes σ_{0plan} til 2,3 cm.

Beregnet spredning

Spredningen i planet kan i GeoCAD beregnes automatisk, hvis to punkter har den samme kort tekst. Før sammenligningen af de terrestrisk målte punkter og ortofotoet kan gennemføres, er det derfor nødvendigt at digitalisere de enkelte targets manuelt ud fra ortofotoet. På Screendump 19 ses, hvordan et target er blevet markeret med et sort kryds og navngivet med det korrekte nummer. Det terrestrisk målte punkt er markeret med en blå cirkel. Det er i alt muligt at markere 70 af de 92 målinger, hvilket svare til 140 observationer. Grunden til det ikke er muligt at lave sammenligningen med alle 92 punkter er, at der er flere ark, der har flere targets, og det vides ikke, hvilke der er indmålt.



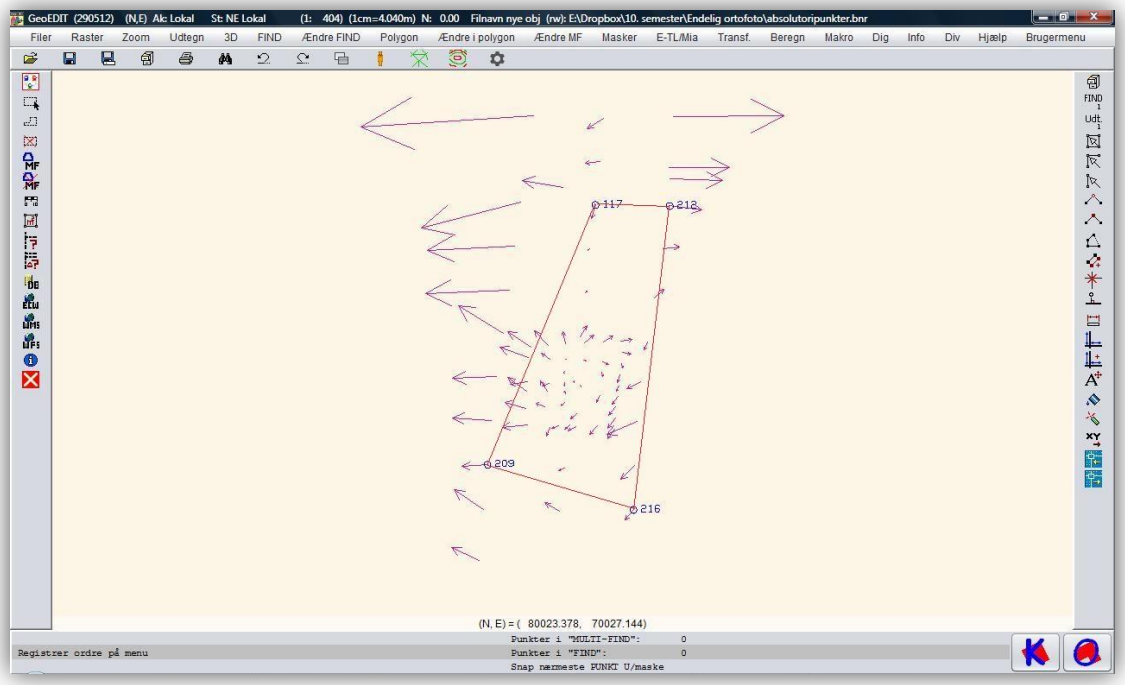
Screendump 19 - Markering af target i GeoCAD

Sammenligningen mellem de markerede punkter og de indmålte targets gennemføres som en direkte 2D sammenligning uden transformation. Dette gøres, da ortofotoet med tilhørende orienteringsfil normalt skal benyttes direkte fra PhotoModeler Scanner, uden det er blevet rettet til i andet software system. Resultatet af 2D sammenligningen kan ses i Tabel 23 og i bilag 15: 2D-direkteafvigelser.2Dtran.

Antal observationer	140
Minimum differens (N)	- 0,037 m
Maximum differens (N)	0,076 m
Minimum differens (E)	-0,122 m
Maximum differens (E)	0,163 m
Spredning på vægtenheden	0,071 m
Root Mean Square (RMS)	0,071 m
Antal punkter med spredning > 3*RMS	5

Tabel 23 – Resultat af plansammenligning

For at illustrere forskellene i de enkelte punkter er fejlpilene til denne sammenligning vist på Screendump 20, hvor pilene er skaleret med faktor 50. Det er tydeligt, at spredningerne er størst i siderne af modellen og, at retningen på fejlpilene er væk fra midten af modellen. Udover fejlpilene ses også de 4 punkter, der blev anvendt til den absolutte orientering af billederne. Her er det tydeligt, at de største forskelle ligger uden for den polygon de 4 punkter danner. Dette fastslår endnu en gang vigtigheden af de valgte punkter til den absolutte orientering.



Screendump 20 - Fejlpile skaleret med faktor 50, samt punkter anvendt til absolut orientering

Den beregnede spredning på 7,1 cm er større end den forventede spredning på 2,3 cm. Dette tyder på, ligesom ved kotesammenligningen, at PhotoModeler Scanner ikke formår at leve op til de forventede spredninger.

7.3.4 Beregnet nøjagtighed på det endelige ortofoto

Som opstillet i afsnit 2.2.5 kan den samlede maksimale punktmiddelfejl, herefter betegnet samlede spredning, for ortofotoet beregnes således:

$$\sigma_{0maks} = \sqrt{\left(\frac{\sqrt{a^2+b^2}}{2\cdot c}\cdot\sigma_{højde}\right)^2 + \left(\frac{h\cdot\sigma_{rel\ ori}}{c}\right)^2}$$

Hvor a og b er dimensionerne på det effektive billedareal

$a = (1 - q/100)\cdot s_{tv} = 22{,}3$ mm

$b = (1 - p/100)\cdot s_{fl} = 8{,}3$ mm

s_{tv} er billedformatet på tværs af flyveretningen: 22,3 mm

s_{fl} er billedformatet i flyveretningen: 14,9 mm

q er sideoverlappet: 0 %

p er længdeoverlappet: 44,4 %. Beregnet ud fra de største anvendte b/h forhold på 0,66.

c er kamerakonstanten: 10 mm

$\sigma_{højde}$ er spredningen på højdemodellen beregnet i GeoCAD: 0,117 m

h er flyvehøjden: 15 m

$\sigma_{rel\ ori}$ er spredningen på den relative orientering: 3,70 µm. Beregnes ud fra følgende formel:

$$\sigma_{rel\ ori} = \sqrt{{\sigma_c}^2 \cdot 2 + \left(\sigma_{målt\ pixel} \cdot pixelstr\right)^2 + {\sigma_{ref}}^2}$$

Hvor σ_c er spredningen på kamerakonstanten fra kalibreringsrapporten: 2 µm
$\sigma_{målt\ pixel}$ er hvor præcist punkterne til den relative orientering er blevet markeret ifølge PhotoModeler Scanner: 0,51 pixels
$pixelstr$ er pixelstørrelsen: 0,645 cm
σ_{ref} er refraktionsbidraget: 1 µm

Det effektive billedareal er beregnet ud fra det billedpar med det højeste b/h forhold ifølge PhotoModeler Scanner. Dette vælges, da dette giver det største effektive billedareal og dermed den største spredning. I scriptet forventedespredninger.m beregnes σ_{0maks} til 14,1 cm.

For at gøre resultaterne af sammenligningerne mere overskuelige opstilles de i følgende tabel:

	Forventet (cm)	**Beregnet (cm)**
Spredningen i højden	6,3	11,7
Spredningen i planet	2,3	7,1
Ortofotoets nøjagtighed	14,1	

Tabel 24 – Spredninger på endeligt ortofoto

8 Konklusion

I dette kapitel vil der blive konkluderet på de resultater, der er opnået gennem projektet. I kapitel 2 blev der opstillet følgende problemstilling, der ønskes besvaret:

> Hvilken kvalitet kan der opnås ved fremstilling af ortofotos i PhotoModeler Scanner, når billederne er taget fra en fjernstyret helikopter?

I kapitel 4 blev der foretaget en række indledende undersøgelser, men først blev det fastlagt at den helikopter Green Stick Studio har til rådighed ikke kan styres vha. GPS, den kan ikke flyve i så lang tid som producenten reklamerer med, og den er kun i stand til at flyve op til 100 m. Derudover er den meget følsom over for vind og vejr, hvilket gav anledning til at lavet en kort vejrundersøgelse. Af denne undersøgelse, der kun omhandler april måned for Nordjylland, fremgik det, at der er 22 dage, der egner sig til flyvning, hvis helikopteren kan flyve, når det blæser op til 8 m/s, og der falder under 1 mm nedbør på et døgn. Antages det, at helikopteren kun kan flyve i 6 m/s, er der kun 13 dage, der kan benyttes. Disse tal forholder sig kun til om helikopteren er i stand til at flyve. Om det også er muligt at tage billeder med en god kvalitet ved disse vindforhold, vides ikke. Det vil være nødvendigt at foretage yderlige undersøgelser for at belyse dette.
Det første kriterium der skal være opfyldt, inden det er muligt at fremstille et ortofoto af god kvalitet er, at luftfotoerne er af god kvalitet. For at opnå dette er det vigtigt at have kendskab til de tre parametre; blænde, ISO og lukkertid. For at øge kendskabet til disse samt deres betydning i forhold til at tage billeder fra en helikopter, blev der lavet en undersøgelse for hver af disse. Resultaterne viste, at indstillingerne skal være som følger:

Lukkertid	Afpasset til forholdene
ISO	Så lav som muligt
Blænde	Automatisk, men mindre end f/4

Tabel 25 - Endelige kameraparametre

I lukkertidsundersøgelsen blev det ligeledes konkluderet, at en lukkertid, hvor der ikke optræder rystelser i billedet, ikke nødvendigvis løser problemet omkring rystelser. Det blev konkluderet, at et billede, selv med en kort lukkertid, kan have forskellig ydre orientering for hver enkelt pixels i luftfotoet. Udover de tre parameterundersøgelser blev der også foretaget en undersøgelse af billedkvaliteten. Denne viste, at der ikke var afstande, der var mere favorable end andre.
Alt i alt konkluderes det, at parametrene skal tilpasses vejrforholdene på en given flyvedag, og det er nødvendigt allerede i marken at undersøge billedernes kvalitet.
I kapitel 6 blev der redegjort for, hvordan projektet ændrede sig under vejs. Samarbejdet med Green Stick Studio fungerede ikke optimalt, og det var svært at få det hele til at gå op i en højere enhed, hvilket vil sige, at det ikke var muligt at finde en dag, hvor der kunne tages luftfotos. Grundet dette ændrede projektet sig, således det mere kom til at dreje sig om, hvorledes et ortofoto fremstilles i PhotoModeler Scanner frem for at foretage en masse sammenligninger af

eksisterende ortofotos, højdemodeller og situationsplaner. Ortofotofremstillingen blev gennemført vha. billedmateriale samt kamerakalibrering fra en gruppe i Ballerup, der ligeledes skrev speciale om ortofotofremstilling i PhotoModeler Scanner med billeder fra en helikopter. Som det fremgår i kapitel 6, foretog Ballerup gruppen ikke kalibreringen på den måde, der blev beskrevet i kapitel 5. Billederne var næsten taget som til et almindeligt multi-sheet kalibreringsprojekt, men selve kalibreringen blev foretaget som en field kalibrering, hvilket vil sige, at kalibrering blev lavet som en underlig kombination at disse to. Resultaterne var dog heller ikke de bedste, men da samarbejdet med Green Stick Studio blev afbrudt, var det nødvendigt at anvende det materiale Ballerup gruppen var venlige at stille til rådighed. Til en anden gang er det vigtigt at placere kalibreringsfeltet, således det er muligt at tage billederne med tilstrækkeligt perspektiv, hvilket viste sig at være sværere end som så. Derudover er det vigtigt at få indstillet kameraet, så det ikke roterer billederne automatisk, da PhotoModeler Scanner ikke kan benytte roterede billeder.
I kapitel 7 blev hele arbejdsgangen for fremstillingen af et ortofoto i PhotoModeler Scanner gennemgået. Det blev for fremstillingen af højdemodellen konkluderet, at disse indstillinger blev valgt til den endelige højdemodel:

- Approximate surface skal vurderes og tilpasses
- Både register & merge skal anvendes
- Ved clean outliers skal cluster distance være 2 og den maksimale størrelse 5 %
- Point decimation udføres med 70 % udtynding
- Decimate triangles udføres med 70 % udtynding
- Fill holes funktionen gennemføres for at kunne farvelægge hele ortofotoet

Herefter blev det nævnt, hvilke farvelægningsmuligheder, for ortofotos, der er i programmet. Til det endelige ortofoto blev det valgt at dele den samlede højdemodel op i mindre områder, der definerede, hvilket billede ortofotoet skulle farvelægges fra under genereringen. Visuelt vurderes der at være farveforskelle mellem de forskellige mindre områder. Resultaterne af sammenligningerne blev opstillet i en tabel sidst i kapitlet.

	Forventet (cm)	Beregnet (cm)
Spredningen i højden	6,3	11,7
Spredningen i planet	2,3	7,1
Ortofotoets nøjagtighed	14,1	

Tabel 26 – Spredninger på endeligt ortofoto

Som det fremgår af denne rapport, er det altså muligt at fremstille ortofotos i PhotoModeler Scanner med ovennævnte kvalitet. Det er dog vigtigt, at det gøres klart fra start af, om der er brug for et ortofoto, eller om det er mere vigtigt, at området bliver afbildet med de korrekte farver. Hvis farverne er de vigtigste, er det måske tilstrækkeligt at tage luftfotos og anvende dem som det endelige produkt. Helikopteren kan benyttes, hvis der vælges en dag, hvor vejret er stille, så der ikke kommer rystelser i billederne. Erfaringerne fra dette projekt viser, at helikopteren er meget vindfølsom, og det er meget tvivlsomt, om helikopteren kan flyve i 8 m/s, som Green Stick Studio oplyser. Den kan muligvis godt flyve, men om billedkvaliteten kan blive tilfredsstillende vides ikke. Et mere realistisk bud vil være vindhastigheder på 4-5 m/s.
Teknologien er stadig ny, og ikke alle anvendelsesmuligheder er blevet fundet endnu. Ikke engang Sky-Watch, der selv fremstiller og sælger helikoptere, har lagt sig fast på, hvad helikopterne kan anvendes til. Siden starten på dette projekt i februar har firmaet ændret anvendelsesmulig-

heder på hjemmesiden. Når teknologien modnes, vil der være større erfaring omkring manøvrering af helikopteren med et kamera, og der vil være større erfaring omkring fornuftige kameraparametre. De, i dette projekt, opstillede kameraparametre er et forsøg på at kunne tage et problemfrit billede. Dette er dog ikke muligt, når kameraet monteres på helikopteren og letter. Der er for mange faktorer, der ikke kan fastholdes eller kontrolleres.

Når et ortofoto ønskes dannet i PhotoModeler Scanner, bør der tages mange billeder. Eftersom billederne fra helikopteren har risiko for at blive rystede, er det på denne måde muligt efterfølgende at sortere de værste fra, og stadig have brugbart billedmateriale. Hvis det er nødvendigt at flyve i flere striber, bør striberne have et overlap på ca. 50 % for at sikre, at billedstriberne bliver korrekt relativt orienteret. Desuden vil det store sideoverlap gøre det effektive billedareal mindre, hvorved en mere central del af hvert enkelt luftfoto kan anvendes til farvelægningen af ortofotoet. Inden yderligere ortofotoproduktion i PhotoModeler Scanner er det nødvendigt at opnå større viden omkring SmartMatch funktionen, der benyttes til den relative orientering af billederne. Som beskrevet i projektet var en del af modellen ikke dækket af disse punkter til den relative orientering. Det bør undersøges nærmere, hvordan denne problemstilling kan løses, da de manglende SmartPoints kan have en indflydelse på resultatet af det fremstillede ortofoto.

Hvis ortofotoet ønskes fremstillet kommercielt med samme pixelstørrelse som Cowis på 10 cm, vil der ikke opstå de samme farvelægningsproblemer, som der er ved en mindre pixelstørrelse. I afsnit 7.1.6 blev det konkluderet, at den automatiske farvelægning af ortofotoet var tilfredsstillende, når pixelstørrelsen var 10 cm. Fordelen ved en helikopter er dog, at det er muligt at flyve lavere end normalt, og derved opnå en mindre pixelstørrelse og efterfølgende bedre opløsning i ortofotoet.

9 Perspektivering

I dette afsnit perspektiveres til andre aspekter inden for samme områder, der kunne arbejdes videre med ved en senere lejlighed.

Idet der er flere muligheder for ændring af objektiv eller kamera, er der større sandsynlighed for, at der kan tages billeder ved en lavere belysning end det ønskes gjort ved traditionel ortofotoproduktion. Dette forlænger tidsrummet, hvori udstyret kan anvendes, og bidrager til at gøre et ortofoto billigere og hurtigere at fremstille.

I forbindelse med PhotoModeler Scanner findes det relevant at gennemføre en yderligere undersøgelse af kalibreringsfunktionen, da det lykkedes at fremstille en kalibrering, der beregner kameraparametrene korrekt, så de passer tilnærmelsesvist med EXIF dataene, fra starten. Dette indikerer, at billederne til kalibreringen er taget forkert eller, at kalibreringsfeltet ikke er optimalt. I henhold til PhotoModeler Scanner findes det ligeledes relevant at undersøge farvelægningsfunktionen ved ortofotoproduktionen nærmere. Her tænkes på, om det er muligt at fremstille sømlinjer, der følger terrænets konturer bedre, end de valgte fra trekantsmodellen. Ved at definere bedre sømlinjer, vil det være muligt at fremstille ortofotos, hvor forskydningerne mellem hvert enkelt område er mindre fremtrædende.

Helikopterens styringsfunktion er ligeledes et emne, der kan undersøges videre. Green Stick Studios helikopter kunne ikke navigeres vha. GPS, selvom producenten angiver det på hjemmesiden. Sky-Watch navigerer deres helikopter vha. GPS og hævder, at helikopteren kan opnå 0,5 m nøjagtighed i positionen. Dette findes interessant at undersøge, da der ikke er en modtager til fasekorrektioner monteret. Ved at montere en RTK-GPS på helikopteren forventes navigationen at blive mere nøjagtig, og en optimering vha. IMU eller filtrering i GPS-positionerne kan ligeledes undersøges. En bedre navigation vil løse et problem med at få taget billeder på det ønskede tidspunkt og sted. En undersøgelse af, om fastvingede fly er mere stabile end helikoptere, og dermed kan opnå et bedre billedresultat, vil være endnu en mulig undersøgelse i forhold til brugbare luftfartøjer.

Det bør undersøges, om den bedste anvendelse af helikopteren er et spejlreflekskamera, eller om det har bedre anvendelsesområder. Dette kunne være energi- og varmeeffektivisering ved montering af et termokamera, og derefter flyve på svært tilgængelige steder, hvor f.eks. fejl i en tagkonstruktion kan findes.

Hvis helikopteren kunne gøres mindre følsom overfor vind og vejr ville den være mere anvendelig under danske himmelstrøg. Det kunne ligeledes tænkes, at systemet kunne anvendes offshore, hvor den nuværende opsætning forventes at være for følsom til at kunne operere.

Litteraturliste

Aibotix. *Aibotix - Intelligent Autonomous Vehicles.* [Online] Aibotix. [Citeret: 13. Februar 2012.] http://aibotix.com/.

Brande-Lavridsen, Ole. 1990. *Fotogrammetri.* Aalborg : s.n., 1990.

Cameratest. 2011. youtube. *Slow motion camera shutter - Canon 5D Mark II 2,000 fps.* [Online] 9. 1 2011. [Citeret: 17. 5 2012.] http://www.youtube.com/watch?v=ptfSW4eW25g.

Canon. Camera museum. [Online] [Citeret: 23. 5 2012.] http://www.canon.com/camera-museum/camera/lens/ef/data/standard/ef_50_f1.2l_usm.html.

—. 2010. *Canon Eos 550D brugervejledning.* Tokyo : s.n., 2010.

—. 2008. *Canon Eos 5D Mark II brugervejledning.* Tokyo : s.n., 2008.

—. 2010. *Canon Eos 60D brugervejledning.* Tokyo : s.n., 2010.

Cederholm, Peter. 2000. *Udjævning.* 2000.

Dansk Journalistforbund. 1999. Fotografering og privatlivets fred. s.l. : Dansk Journalistforbund, 1999. ISBN 87-98145-2-5.

DMI. www.dmi.dk. [Online] [Citeret: 2. 6 2012.] http://www.dmi.dk/dmi/vejrarkiv?region=1&year=2011&month=4.

Don Fleming. Depth of field calculator. [Online] [Citeret: 7. 5 2012.] http://www.dofmaster.com/dofjs.html.

Eos Systems 1. Tutorial - Multisheet calibration. [Online] [Citeret: 8. 5 2012.] http://www.photomodeler.com/tutorial-vids/media/MultiSheetCalibration/MultiSheetCalibration.html.

Eos Systems 2. Tutorial - Field calibration. [Online] [Citeret: 8. 5 2012.] http://www.photomodeler.com/tutorial-vids/media/FieldCalibration/FieldCalibration.html.

Eos Systems 3. Knowledge base - What is Field Calibration and When Is It Used? [Online] [Citeret: 8. 5 2012.] http://www.photomodeler.com/kb/entry/62/.

Eos Systems 4. Knowledge base - After calibration how come my focal length doesn't match what my camera or manual says? [Online] [Citeret: 8. 5 2012.] http://www.photomodeler.com/kb/entry/44/.

Eos Systems 5. How It Works. [Online] [Citeret: 7. 5 2012.] http://www.photomodeler.com/products/scanner/how_it_works.htm.

Eos Systems 6. Knowledge base - How processing (bundle adjustment) finds, or sometimes does not find, a solution. [Online] [Citeret: 11. 5 2012.] http://www.photomodeler.com/kb/entry/102/.

Eos Systems 7. Knowledge base - Are parameter correlation warnings in the Project Status Report after a calibration something that needs further action? [Online] [Citeret: 22. 5 2012.] http://www.photomodeler.com/kb/entry/53/.

Esri. www.support.esri.com. [Online] [Citeret: 2. 6 2012.] http://support.esri.com/en/knowledgebase/techarticles/detail/17489.

GeoCAD. www.geocad.dk. [Online] [Citeret: 1. 6 2012.] http://www.geocad.dk/tekst/geonews.help.

Geoforum. 2005. Specifikation for ortofotos. *Orto2004.* 2005. 2.

Geoforums Ortofotoudvalg. 2011. Vejledning for ortofotos. *Orto2011.* 2011. 1.

Kraus, Karl. 2007. *Photogrammetry - Geometry from Images and Laser Scans.* Vienna : Walter de Gruyter, 2007. ISBN 978-3-11-019007-6.
Mortensen, Majbrit, et al. 2011. *PhotoModeler Scanner- a rival for traditional laser scanning.* Aalborg : s.n., 2011.
Museerne Vordingborg. Museerne.dk. [Online] [Citeret: 24. 5 2012.] http://kbp.museerne.dk/author/kbp/.
Sky-Watch. *Sky-Watch.* [Online] Sky-Watch A/S. [Citeret: 15. Februar 2012.] http://www.sky-watch.dk/.
Statens Luftfartsvæsen. BEK nr 10091 af 16/12/2009 - Bestemmelser om erhvervsmæssig fotograferingsflyvning. [Online] [Citeret: 8. 5 2012.] https://www.retsinformation.dk/forms/R0710.aspx?id=129669.
—. 2004. BL 9.4. Bestemmelser om luftfart med ubemandede luftfartøjer, som ikke vejer over 25 kg. [Online] 9. 1 2004. http://www.slv.dk/Dokumenter/dsweb/Get/Document-3353/9_4_ud3.pdf.
Transport Styrelsen (Sverige). Transport Styrelsen - Obemannade luftfartyg. [Online] [Citeret: 16. Marts 2012.] http://www.transportstyrelsen.se/sv/Luftfart/Luftfartyg/Obemannade-luftfartyg-UAS/.
—. 2009. Transportstyrelsens författningssamling. *Transportstyrelsens föreskrifter om obemannade luftfartyg (UAS).* 2009. TSFS 2009:88.
Transportministeriet. BEK nr 17112 af 01/07/1972 - Bestemmelser om mindste sikre flyvehøjde for IFR-flyvning i offentlige lufttrafik. [Online] [Citeret: 8. 5 2012.] https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=50543&exp=1.
Tybjerg tekst & foto 2. ttf Fotoskole ISO. [Online] [Citeret: 22. 2 2012.] http://www.ttf.dk/Dansk/Foto/ONLINE_FOTOSKOLE/ISO.aspx.
Wrotniak, Andrzej. Photo - How does your focal plane shutter work? [Online] [Citeret: 17. 5 2012.] http://www.wrotniak.net/photo/tech/fp-shutter.html.

Programmer

GeoCad	Version fra 29/5 2012
MatLab R2010b	Version 7.11.0.584 The MathWorks Inc. Copyright 1984 – 2010.
PhotoModeler Scanner	Version 2012.1.1.668 – final, full

Appendiks

1) Blændeundersøgelse Printet
2) ISO-undersøgelse Printet
3) Lukkertidsundersøgelse Printet
4) Kalibreringensvigtighed Printet
5) Kalibreringstest Printet

Bilagsliste på Cd'en

1) Mødereferat_Sky_Watch Printet
2) Mødereferat_Green_Stick_Studio Printet
3) Dagbog Printet
4) Blændeundersøgelse_app1
5) ISO-undersøgelse_app2
6) Lukkertidsundersøgelse
7) Kalibreringens_vigtighed_app4
8) Testkalibrerings_app5
9) Eos_mailkorrespondance Printet
10) 60D_kalibrering
11) Ballerup serie5
12) Generering af ortofoto
13) PM help file
14) Endeligt ortofoto Printet
15) Vurdering af ortofoto

Scripts
Kameramanualer
Rapport_7.sem_PMS a rival for traditional lasers canning.pdf
Udjævning_Cederholm.pdf
Orto2005_2.udg_version_1.pdf

Appendiks 1: Blændeundersøgelse

Dette appendiks er udarbejdet med henblik på at undersøge blændens indvirkning på billederne. Undersøgelsen udføres med universitetets kamera, idet der ikke er mulighed for at låne Green Stick Studios kamera. Herefter betegnes dette kamera uni-kameraet. Specifikationerne for dette kamera og objektiv kan ses i Tabel 1 og Tabel 2.

Billedchip størrelse	Ca. 36 x 23,9 mm
Opløsning	4256 x 2832 pixels
Pixelstørrelse	8,5 µm
Lukkertid	1/8000 til 30 s
ISO	200 til 6400
Lukker	Elektronisk styret spaltelukker

Tabel 1 - Kameraspecifikationer for Nikon D700 (Nikon s. 428-431)

Kamerakonstant	35 mm
Blænde	f/22 til f/2
Fokus	0.25 m til ∞ (Fikseret på ∞)
Billedstabilisator	Nej

Tabel 2 - Objektivspecifikationer

Undersøgelsen gennemføres ved at tage et billede, på trefod, for hver f-stop værdi: minimum til maksimum. Billede 1 viser et af billederne. Afstanden hen til skiltet på billedet er 20 m.

Billede 1 – Billedområdet, taget med f/22

Efterfølgende ses alle billederne igennem, hvor det konkluderes, at billederne er slørede ved de første f-stop værdier. Alle billederne kan findes i bilag 4: Blændeundersøgelse, på bilags Cd'en. Af udsnittene nedenfor fremgår det, at billederne bliver skarpe ved f/3,5 og derefter er en nævneværdig forskel svær at se. Det konkluderes, at linsen skal sættes til en blænde mindre end f/4

på en afstand af 20 m til et objekt. Det understreges, at undersøgelsen er gennemført med uni-kameraet og en tilsvarende undersøgelse med et andet kamera, muligvis vil give et andet resultat. Det forventes dog, at resultatet er sigende for en generel tendens.
På efterfølgende udsnittene ses forskellene med forskellige blændeåbninger.

Billede 2 - f/2,5

Billede 3 - f/3,5

Billede 4 - f/22

Appendiks 2: ISO-undersøgelse

Dette appendiks er udarbejdet med henblik på at undersøge ISO-værdiens indvirkning på billederne. Undersøgelsen indledes, idet billederne fra billedkvalitetsundersøgelsen havde problemer med overstråling, specielt på targets med retning mod solen. Det ønskes at fastslå om ISO-værdien har en indflydelse på, hvor meget overstråling der fremgår i billederne. Grundlæggende vil indflydelsen af forskellige ISO-værdier blive undersøgt, herunder støj, farver mv. Herudover ønskes det at definere en ISO, hvis ISO-800 ikke er det bedste valg i sammensætning med de andre kameraparametre.
Undersøgelsen laves i solskin, da det forventes at være under disse forhold flyvningen vil finde sted. Der vil blive taget et billede for hver af de 16 ISO-værdier, kameraet er i stand til. Billedet tages med solen i ryggen, da det er her, der er størst genskin. Til at undersøge overstrålingsproblemet, anvendes et target, der placeres 20 meter fra kamerastationen. Targetstørrelsen dimensioneres, så centerprikken er mindst 10 pixels.
Uni-kameraet anvendes til undersøgelsen, da det er dette, der er til rådighed. Billederne tages fra stativ for at fjerne fejlbidraget fra rystelser, og give billederne de samme forudsætninger.
Der udføres to undersøgelser:

- Ved den første fastholdes blænden på den mindst mulige for at mindske fejlbidraget fra blænden. Dette vil give et indtryk af ISO-værdiens indvirkning alene.
- I den anden fastholdes lukkertiden på 1/250 s, som er den valgte lukkertid ved flyvningen. Hermed bliver det muligt at bestemme om ISO-800 er et fornuftigt valg.

De to undersøgelser gennemgås i afsnittene nedenfor.

Fast blænde

Alle billederne til den første undersøgelse kan ses i bilag 5: ISO-undersøgelse (fast blænde), på bilags Cd'en. Kameraopsætningen er som følger:

- ISO: 200 til 6400
- Blænde: f/22
- Lukkertid: automatisk

I denne undersøgelse fastholdes blænden, og det undersøges, hvilken indvirkning ISO-værdierne har på billedernes kvalitet. Derudover undersøges det, hvornår overstrålingsproblemet er mest fremtrædende. I Tabel 1 ses metadata for de enkelte billeder.

Billede	ISO-værdi	Blænde	Lukkertid (sek.)
1.TIF	200	f/22	1/60
2.TIF	250	f/22	1/80
3.TIF	320	f/22	1/125
4.TIF	400	f/22	1/160
5.TIF	500	f/22	1/200
6.TIF	640	f/22	1/250
7.TIF	800	f/22	1/320
8.TIF	1000	f/22	1/400
9.TIF	1250	f/22	1/500
10.TIF	1600	f/22	1/640
11.TIF	2000	f/22	1/800
12.TIF	2500	f/22	1/1000
13.TIF	3200	f/22	1/1250
14.TIF	4000	f/22	1/1600
15.TIF	5000	f/22	1/2000
16.TIF	6400	f/22	1/2500

Tabel 1 - Metadata for første undersøgelse med fast blænde

For at undersøge billedkvaliteten er der taget et udsnit af billederne. Udsnittet er lavet på himmelen, da forskellen er mest tydelig her. På Billede 1 nedenfor ses, hvor udsnittet er taget og efterfølgende er de enkelte udsnit sat op. Der er valgt 4 udsnit, således at de kan sættes op på en enkelt side. Der er ikke valgt flere, da forskellen mellem nabopar er minimal.

Billede 1 - Billedkvalitetsudsnit

16.TIF
ISO: 6400
Lukkertid: 1/2500

12.TIF
ISO: 2500
Lukkertid: 1/1000

8.TIF
ISO: 1000
Lukkertid: 1/400

1.TIF
ISO: 200
Lukkertid: 1/60

Af udsnittene ses det tydeligt, at en højere ISO-værdi gør billedet mere grynet, hvorfor det kan konkluderes, at ISO-værdien har en betydning for billedkvaliteten. Det vil sige, at ISO-værdien bør være så lav som muligt.

Herefter ses på overstrålingsproblemet med den faste blænde. Dette gennemføres ved at sammenligne det opstillede target fra de forskellige billeder. Targetet er markeret på Billede 2.

Billede 2 - Overstrålingsudsnit

Der blev udvalgt 6 udsnit af de 16 billeder, disse er opstillet nedenfor. På udsnittene ses det, at der ikke er nævneværdig forskel på overstrålingens betydning. Dette betyder, at ved den valgte kameraopsætning har ISO-værdien ingen indflydelse på mængden af overstråling i billedet. Dette skyldes, at lukkertiden ikke er fast og automatisk justeres i forhold til den faste blænde og den valgte ISO-værdi, så der opnås den samme eksponering.

Billede 3 – 1.TIF, ISO-200, 1/60 s

Billede 4 – 3.TIF, ISO-400, 1/160 s

Billede 5 – 6.TIF, ISO-640, 1/250 s

Billede 6 – 9.TIF, ISO-1250, 1/500 s

Billede 7 – 12.TIF, ISO-2500, 1/1000 s

Billede 8 – 16.TIF, ISO-6400, 1/2500 s

Fast lukkertid

Alle billederne til den anden undersøgelse kan ses i bilag 5: ISO-undersøgelse (fast lukkertid), på bilags Cd'en. Kameraopsætningen er som følger:

- ISO: 200 til 6400
- Blænde: automatisk
- Lukkertid: 1/250 s

I denne undersøgelse fastholdes lukkertiden, ligesom det vil være tilfældet ved flyvningen. Lukkertiden på 1/250 s skal sikre, at blænden ikke bliver for stor i henhold til resultatet af blænde-undersøgelsen i appendiks 1.

Det ønskes undersøgt, hvilken indvirkning ISO-værdierne har på billedernes kvalitet. Derudover vil det blive undersøgt, hvornår overstrålingsproblemet er mest fremtrædende. I Tabel 2 ses metadata for de enkelte billeder. Det fremgår, at den største blænde er f/13, hvilket er meget mindre end det forventede.

Navn	ISO-værdi	Blænde	Lukkertid (sek.)
21.TIF	200	f/13	1/250
22.TIF	250	f/14	1/250
23.TIF	320	f/16	1/250
24.TIF	400	f/18	1/250
25.TIF	500	f/20	1/250
26.TIF	640	f/22	1/250
27.TIF	800	f/22	1/250
28.TIF	1000	f/22	1/250
29.TIF	1250	f/22	1/250
30.TIF	1600	f/22	1/250
31.TIF	2000	f/22	1/250
32.TIF	2500	f/22	1/250
33.TIF	3200	f/22	1/250
34.TIF	4000	f/22	1/250
35.TIF	5000	f/22	1/250
36.TIF	6400	f/22	1/250

Tabel 2 - Metadata for anden undersøgelse med fast lukkertid

For at undersøge kvaliteten af billederne, er der udvalgt 4 af billederne, hvoraf det tydeligt ses, hvilken indvirkning ISO-værdien har på billederne, når lukkertiden fastholdes på 1/250 s. Når ISO-værdien kommer over 640, kan blænden ikke blive lille nok til at give den korrekte eksponering ved den valgte lukkertid. Dette betyder, at billederne bliver meget lysere end de skal være.

Billede 9 – 21.TIF, ISO-200, f/13

Billede 10 – 26.TIF, ISO-640, f/22

Billede 11 – 32.TIF, ISO-2500, f/22

Billede 12 – 36.TIF, ISO-6400, f/22

Med hensyn til overstråling er det tydeligt at se, når blændens grænse på f/22 nås. Herefter bliver billederne misfarvede, idet eksponeringstiden er for lang til den valgte ISO-værdi. Når dette sker, bliver overstrålingen ligeledes større. Dette kan ses på de efterfølgende udklip.

Billede 13 – 21.TIF, ISO-200, f/13

Billede 14 – 23.TIF, ISO-320, f/16

Billede 15 – 26.TIF, ISO-640, f/22

Billede 16 – 29.TIF, ISO-1250, f/22

Billede 17 – 32.TIF, ISO-2500, f/22

Billede 18 – 36.TIF, ISO-6400, f/22

På baggrund af disse to undersøgelser, kan det konkluderes, at ISO-værdien har en stor betydning for billedernes kvalitet og overstrålingen i dem. Undersøgelsen har vist, at det er vigtigt at have det rigtige forhold mellem kameraparametrene, så der opnås en korrekt eksponering.

Det er formentlig dette problem, der er opstået i kvalitetsundersøgelsen i rapport, hvor der er stor overstråling på flere targets. I denne undersøgelse blev billederne taget med en blænde på f/16, hvilket er objektivets grænse. Dette betyder, at kameraparametrene til billedkvalitetsundersøgelsen er forkerte og skal revurderes.

Supplerende fast lukkertid

De to ISO-undersøgelser leder frem til en supplerende ISO-undersøgelse, idet objektivets mindste blænde på f/22 blev nået efter 6 billeder i *Fast lukkertid-undersøgelsen*. Derfor gennemføres denne undersøgelse med en kortere lukkertid, så flere af billederne er korrekt eksponeret. Vejret denne dag var med høj sol fra en skyfri himmel.
Alle billederne til denne undersøgelse kan ses i bilag 5: ISO-undersøgelse (supplerende fast lukkertid), på bilags Cd'en. Kameraopsætningen er som følger:

- ISO: 200 til 6400
- Blænde: automatisk
- Lukkertid: 1/1000 s

Der ønskes undersøgt de samme elementer som ved *Fast lukkertid-undersøgelsen*. Blot ændres lukkertiden til 1/1000, da der ikke ønskes at få en for stor blænde. Denne værdi blev valgt i marken, hvor det var muligt at se, hvilken blænde billedet ville blive optaget med ved en given lukkertid og ISO-værdi. I Tabel 3 ses metadata for billederne. Heraf fremgår det, at det kun er de to sidste billeder nr. 55 og 56, der ikke er blevet eksponeret korrekt, idet den mindske blænde blev nået på billede 54. Disse to billeder vil derfor ikke blive taget med i de efterfølgende overvejelser og vurderinger.

Navn	ISO-værdi	Blænde	Lukkertid (sek.)
41.TIF	200	f/5	1/1000
42.TIF	250	f/5,6	1/1000
43.TIF	320	f/6,3	1/1000
44.TIF	400	f/7,1	1/1000
45.TIF	500	f/8	1/1000
46.TIF	640	f/9	1/1000
47.TIF	800	f/10	1/1000
48.TIF	1000	f/11	1/1000
49.TIF	1250	f/13	1/1000
50.TIF	1600	f/14	1/1000
51.TIF	2000	f/16	1/1000
52.TIF	2500	f/18	1/1000
53.TIF	3200	f/20	1/1000
54.TIF	4000	f/22	1/1000
55.TIF	5000	f/22	1/1000
56.TIF	6400	f/22	1/1000

Tabel 3 – Metadata for supplerende undersøgelse med fast lukkertid

For at undersøge billedkvaliteten, laves et udsnit som tidligere. Det valgte udsnit kan ses på Billede 19 og der vælges 4 af de optagede billeder. Disse udsnit vil i det efterfølgende blive sammenlignet.

Billede 19 - Billedkvalitetsudsnit

54.TIF
ISO: 4000
Lukkertid: 1/1000

50.TIF
ISO: 1600
Lukkertid: 1/1000

45.TIF
ISO: 500
Lukkertid: 1/1000

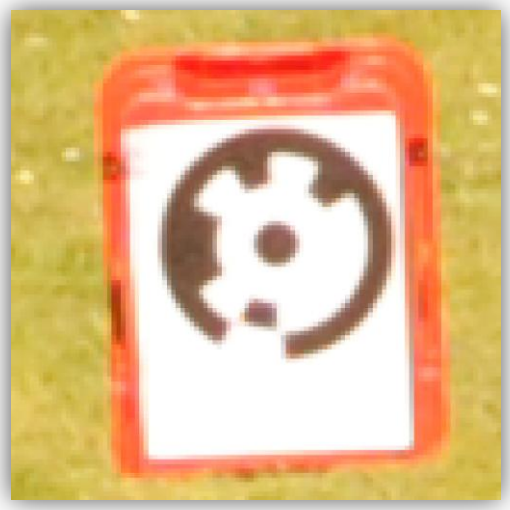
41.TIF
ISO: 200
Lukkertid: 1/1000

Af udsnittene fremgår det, at billeder med høj ISO som forventet er mere grynede. Desuden ses det, at farverne ændrer sig. Det ligner altså, at billederne er taget under forskellige forhold, selvom de er taget inden for 2 minutter.

Ligesom tidligere undersøges overstrålingsproblemet ved at se på udsnittet af et opstillet target. På de 4 billeder nedenfor ses det, hvordan eksponeringen visuelt er ens på alle sammen, da kameraet har mulighed for at tilpasse blændens størrelse. Det ses ligeledes, at overstrålingen er ens, hvorfor det konkluderes, at ISO-værdien ikke har indflydelse på overstrålingsproblemet i sig selv, men får det, hvis blændens grænse nås.

Billede 20 – 41.TIF, ISO-200, f/5

Billede 21 – 45.TIF, ISO-500, f/8



Billede 22 – 50.TIF, ISO-1600, f/14

Billede 23 – 54.TIF, ISO-4000, f/22

Det konkluderes slutteligt, at ISO-værdien skal være så lav som muligt ved de givne vejrforhold, da dette giver mindst støj i billederne.

Appendiks 3: Lukkertidsundersøgelse

Ligesom undersøgelserne af de andre kameraparametre; blænde og ISO, gennemføres en lukkertidsundersøgelse. Det er vigtigt at være opmærksom på den valgte lukkertid, da der er rystelser, når der flyves med helikopter. Disse rystelser kan skyldes dels helikopterens egne vibrationer og dels den ydre påvirkning fra vind og vejr. Problemet med rystelser i de enkelte billeder består i, at det ikke står skarpt, hvorved det ikke er muligt at definere objekter korrekt. Desuden er den ydre orientering ikke den samme for alle punkter i billedet. Hvis den ydre orientering af kameraet er forkert, vil efterfølgende anvendelse af stråleligningerne til beregning af ubekendte give forkerte resultater.

Det er svært at udføre en lukkertidsundersøgelse, der afspejler, hvordan forholdene er under en flyvning, når en helikopter ikke er til rådighed hele tiden og vejrforholdene ligeledes ændrer sig konstant. Derfor vil denne undersøgelse kun give et lille indtryk af, hvor stor indflydelse lukkertiden har på de billeder, der bliver taget fra en helikopter.

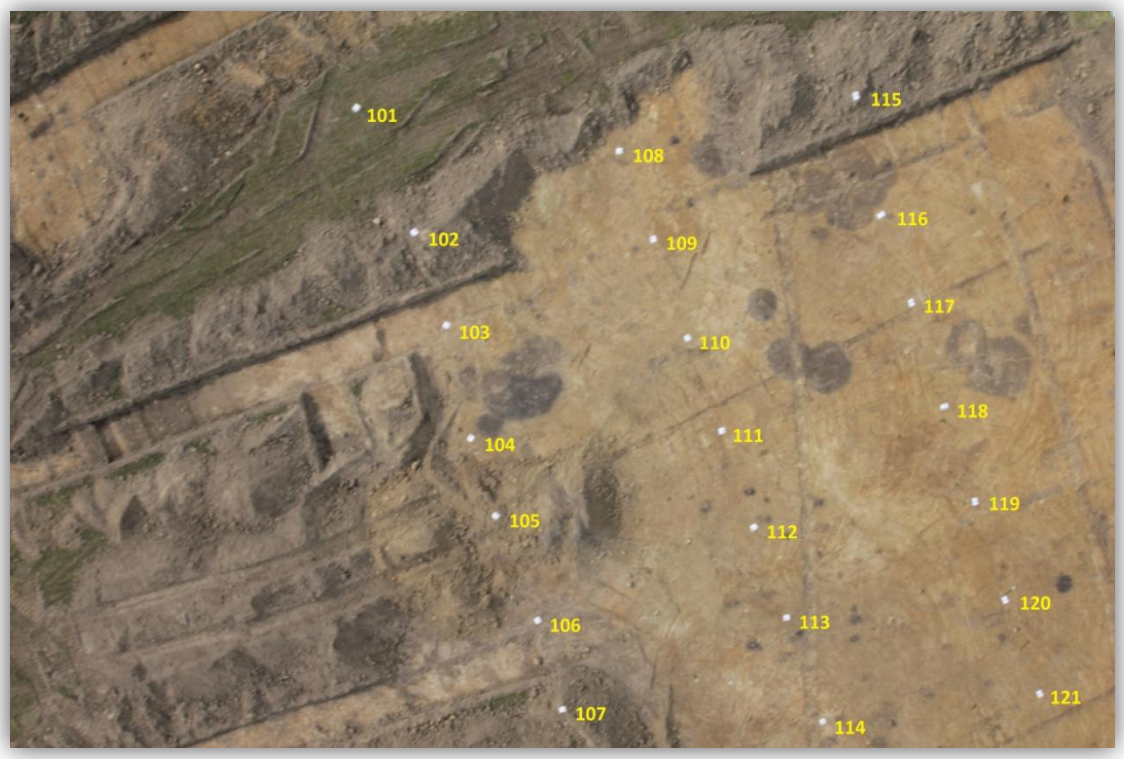
Der blev under et vejledermøde gjort opmærksom på, at en gruppe i Ballerup ved et uheld fik taget billeder med en forkert kameraopsætning i forhold til det ønskede, og dermed fik rystede billeder. Det er disse billeder, der vil blive anvendt i denne undersøgelse.

Der blev efter aftale tilsendt 10 billeder fra denne flyvning, billederne kan se i bilag 6: Lukkertidsundersøgelse, på bilags Cd'en. Alle billederne er taget med sammen opsætning:

- Lukkertid: 1/30 s
- Blænde: f/22
- ISO: 160

Ved at se på kameraparametrene, findes det ikke mærkeligt at billederne er rystet. Eftersom blænden og ISO-værdien er meget små, kræves der er lang lukkertid for at opnå korrekt eksponering af billederne.

For at illustrere, hvor stor forskel der kan være på billeder taget med den samme opsætning, vælges det at arbejde med de to billeder, der er rystet henholdsvis mest og mindst. Disse to billeder kan ses på Billede 1 og Billede 2. På billederne ses en arkæologisk udgravning med tre rækker af targets, identificeret med gule tal. Rystelserne har bevirket, at de enkelte targets ligger flere gange efter hinanden. Dette er tydeligst på Billede 2 og kan ses tættere på i Billede 4.



Billede 1 – Mindst rystede billede

Billede 2 – Mest rystede billede

Rystelserne af billederne beregnes ved manuelt at aflæse, hvor midten af target er i den ene ende og i den anden ende af det langtrukne target. Disse værdier omregnes i Excel til, hvor mange pixels hvert enkelt target er strukket.

Resultatet fremgår af Tabel 1, hvor de fremhævede værdier er de targets, der er strukket mindst for Billede 1 og mest for Billede 2. Ved rent tilfælde er begge disse ekstremiteter det samme target. Dette target kan ses på Billede 3 og Billede 4.

Det er ikke muligt at afgøre, om denne forkerte afbildning af de enkelte targets skyldes en vipning og/eller en forskydning af kameraet, mens lukkeren var åben. Hvis det antages, at den forkerte afbildning udelukkende skyldes en vipning, er der udarbejdet to scripts mindstrystet.m og mestrystet.m, der findes i scriptmappen på bilags Cd'en, som beregner, hvor mange grader billedet er vippet under eksponeringen. Resultatet af scriptene fremgår ligeledes af Tabel 1 for de to udvalgte punkter.

	Antal pixels	
Target nr.	Mindst rystet	Mest rystet
1	11	95
2	11	94
3	9	102
4	8	103
5	9	102
6	9	104
7	10	103
8	14	98
9	11	106
10	10	105
11	12	105
12	14	103
13	10	98
14	11	101
15	11	109
16	19	97
17	**7 pixels** **0,06° vipning**	**109 pixels** **1,04° vipning**
18	17	93
19	8	103
20	9	106
21	8	108
Min. til maks.	7 til 19	93 til 109

Tabel 1 - Antal pixels targets er strukket

Billede 3 - Mindst rystede punkt fra Billede 1

Billede 4 - Mest rystede punkt fra Billede 2

Når billederne er rystet, er det ikke muligt at definere det samme punkt i to billeder, hverken manuelt eller automatisk, eksempelvis i PhotoModeler Scanner. Derfor sættes en grænse på 1 pixel for, hvornår det ikke længere findes muligt at definere enkelte punkter. Dette tal er en vurdering og en undersøgelse til bestemmelse af den præcise pixelværdi, vil være nødvendig. Denne undersøgelse vil dog ikke blive gennemført.

Hvis det antages, at en dobbelt så hurtig lukkertid giver halvt så meget rystelse i billedet, er der stor forskel på, hvor hurtig lukkertiden skal være før billedet bliver strukket mindre end 1 pixel. Af Tabel 2 kan det ses, at det mindst rystede target blot kræver en lukkertid på 1/250 s, hvor det mest rystede kræver en på 1/4000 s, inden rystelserne påvirker billedet 1 pixel.

Lukkertid (sek.)	Mindst rystet (pixels)	Mest rystet (pixels)
1/30	7	109
1/60	3	55
1/125	2	26
1/250	**1**	13
1/500	0	7
1/1000	0	3
1/2000	0	2
1/4000	0	**1**
1/8000	0	0

Tabel 2 - Resultat af lukkertidsberegning

Disse beregnede værdier for, hvor mange pixels hvert enkelt target er strukket, er dog ikke det samme for alle kameraer, objektiver, flyvehøjder samt hvor i billedet det enkelte target er placeret.

Det erfares, at lukkeren bevæger sig med den samme hastighed om billedet tages med 1/30 s eller 1/4000 s. Forskellen er, hvornår det første lukkergardin* afdækker billedchippen til det andet tildækker chippen efterfølgende. Den normale lukkergardinhastighed er, som beskrevet i ordbogen, omkring 1/250 s, hvilket også konkluderes i videoen af projektkameraet (Cameratest, 2011). Ved en lukkertid på 1/4000 s fremstår billedet skarpt, men da lukkergardinhastigheden er 1/250 s, fremgår det af Tabel 2, at billedet reelt set er bevæget 13 pixels fra den ene ende af billedchippen til den anden. Dette er problematisk, idet den ydre orientering dermed er forskellig for hver enkelt pixel, hvilket vil give forkerte resultater, når billederne anvendes efterfølgende. Det er på baggrund af dette heller ikke optimalt at anvende så hurtig en lukkertid som mu-

ligt. I stedet bør der tages mange billeder med en lavere lukkertid i håbet om, at ikke alle billederne er rystede.

Det konkluderes, at den samme kameraopsætning giver vidt forskellige resultater i billederne. Det er ikke muligt at fastslå, hvad der er skyld i rystelserne, men det forventes at vind og helikopterens vibrationer har en indflydelse.
Idet to billeder kan have så forskellige rystelser med den samme opsætning, er det ikke muligt at konkludere, hvilken lukkertid, der er den optimale. Lukkertiden skal afpasses med forholdene på flyvedagen og afstemmes med de andre kameraparametre. Denne undersøgelse viser, at det ikke er muligt at konkludere, at det er bedst at tage billederne med den hurtigste lukkertid, da billederne vil være vippet, uden det er synligt, hvilket giver en forskellig ydre orientering for hver pixel, hvilket er problematisk ved efterfølgende beregning på baggrund af billederne.

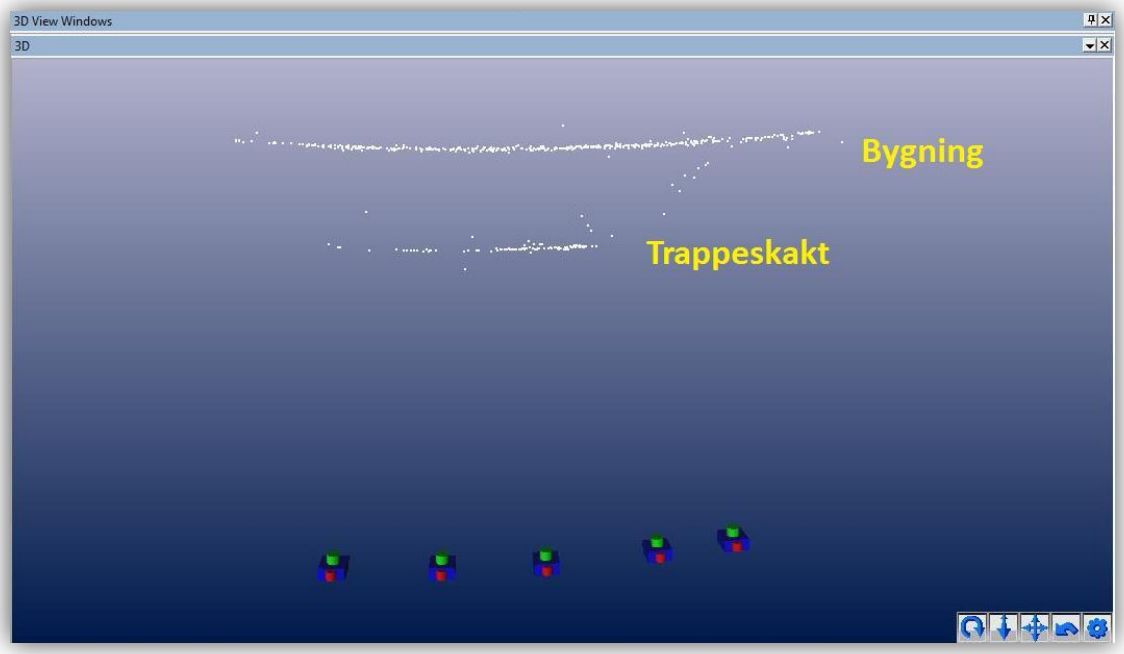
Appendiks 4: Vigtighed af kalibrering

Denne undersøgelse skal belyse forskellen på at orientere billeder med og uden en kalibrerings-rapport i PhotoModeler Scanner. Til undersøgelsen tages 5 billeder langs facaden på en bygning med uni-kameraet, disse kan ses i bilag 7: Kalibreringens vigtighed, på bilags Cd'en. Et af de 5 billeder kan ses nedenfor.

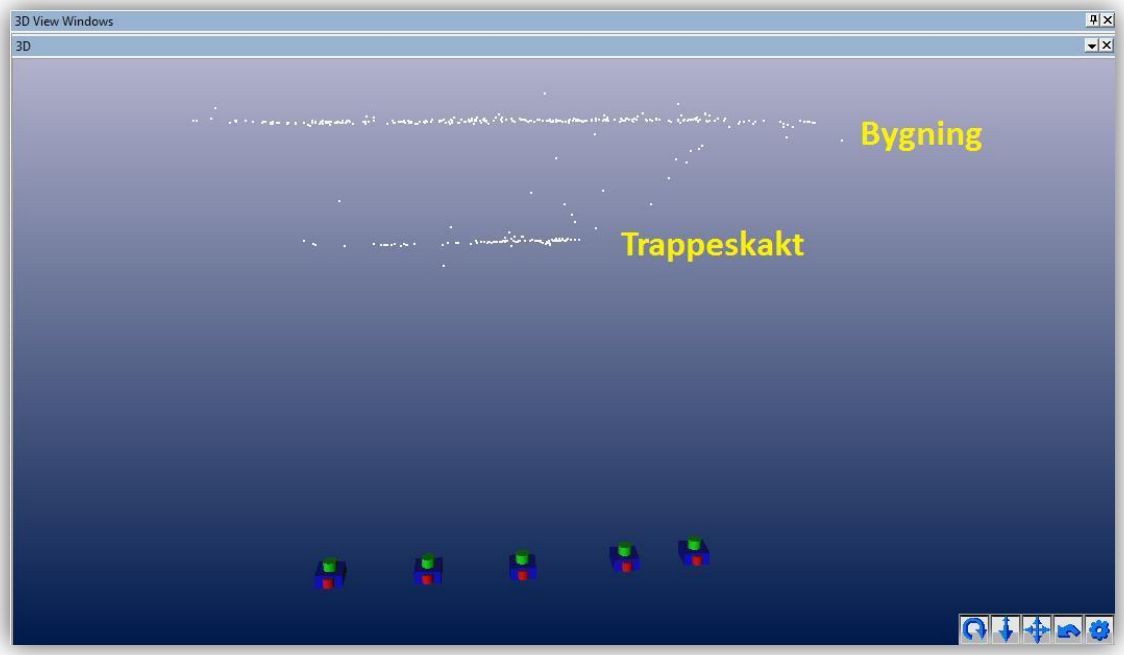
Billede 1 - Bygningsfacaden

I PhotoModeler Scanner oprettes to nye projekter med de fem billeder. I det ene projekt vælges ingen kalibreringsrapport og PhotoModeler Scanner arbejder kun med de EXIF-værdier, der er lagret i billederne. PhotoModeler Scanner er i stand til at anvende SmartMatch-funktionen og orientere billederne uden en kalibreringsrapport, men SmartPoints ligger i en buet form, illustreret på Screendump 1. Punkterne buer i højden. Da bygningens facade er lige, er der altså sket en forkert afbildning i PhotoModeler Scanner. Denne forskel forventes at stamme fra linsefortegningen, idet der ikke er anvendt en kalibreringsrapport, hvori fortegningsparametrene til at korrigere fortegningen er beregnet.

I det andet projekt anvendes kalibreringsrapporten, der blev fremstillet i forbindelse med projektet på 7. semester. SmartPoints ligger her på en mere ret linje, hvilket kan ses på Screendump 2.
På de to screendump fremtræder to linjer af SmartPoints. Disse er fra henholdsvis bygningsfacaden og trappenedgangen foran bygningen.

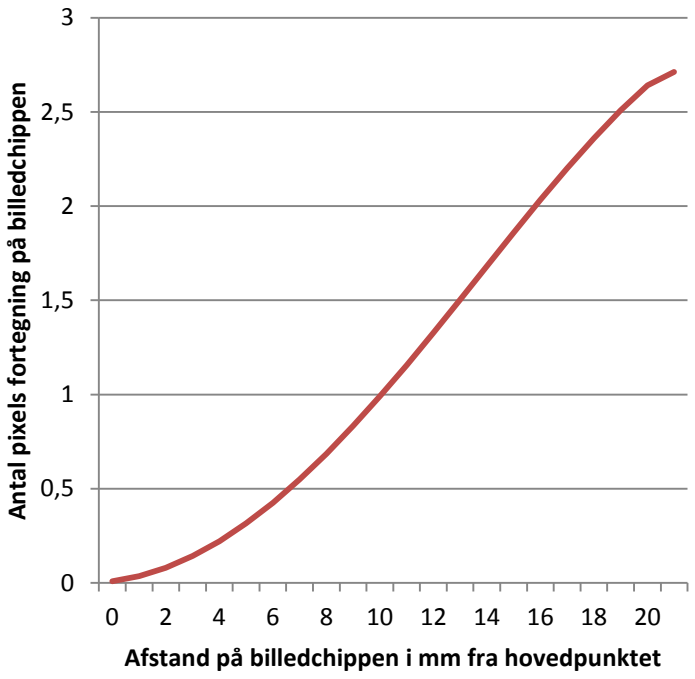


Screendump 1 - SmartPoints uden kalibreringsrapport set fra oven



Screendump 2 - SmartPoints med kalibreringsrapport set fra oven

Som tidligere nævnt kan disse forskelle skyldes linsefortegningen. For at illustrere hvilken betydningen radiale linsefortegningen har i forhold til at gengive en korrekt afbildning, er grafen til højre udarbejdet. Denne viser, hvor mange pixels linsen fortegner, set i forhold til afstanden fra hovedpunktet.



Af grafen fremgår det, at der i hjørnerne af billedet er en radial linsefortegning på over 2½ pixels. Med en beregnet pixelstørrelse på 8,5 µm, jævnfør scriptet NiconD700_uni.m, der findes i scriptsmappen på bilags Cd'en, svarer fortegningen til maksimalt 21,13 µm i billedet.

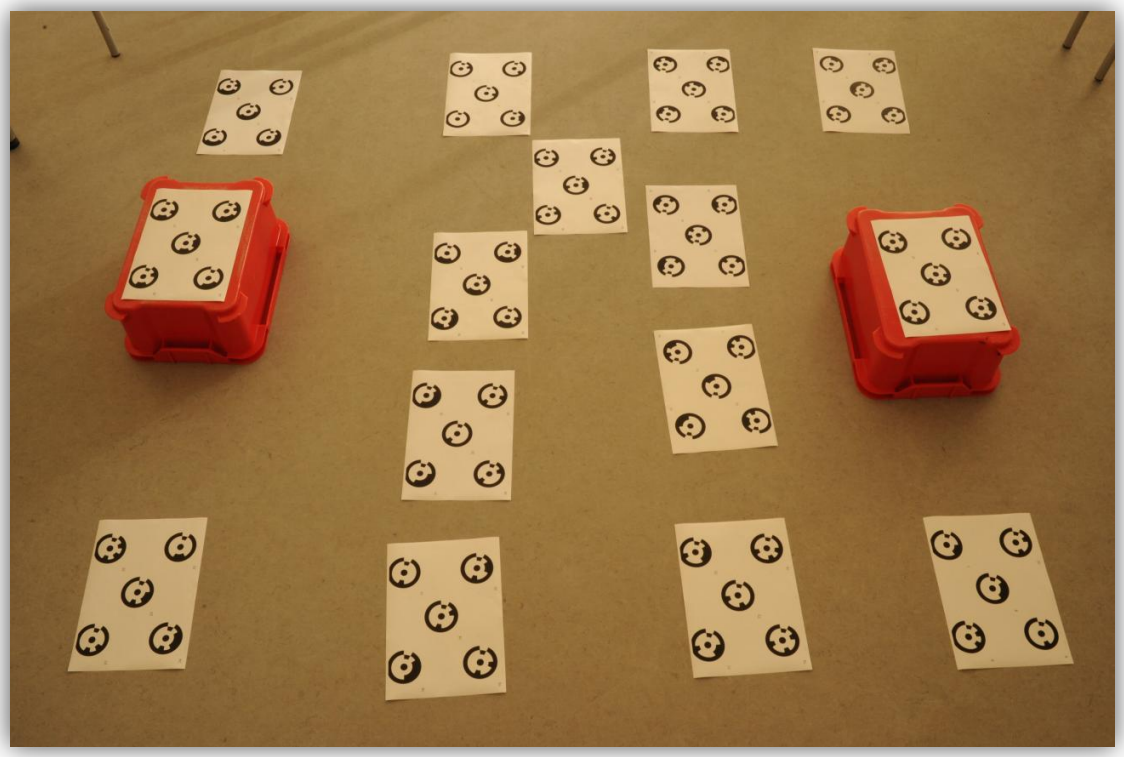
Undersøgelsen viser dermed, at det ikke er ligegyldigt om der anvendes en kalibreringsrapport, hvis der ønskes at opnå god nøjagtighed i projektet.

Appendiks 5: Testkalibrering

For at undersøge PhotoModeler Scanners multi-sheet kalibreringsfunktion, gennemføres denne undersøgelse. Undersøgelsen foretages med uni-kameraet, da det ikke har været muligt at låne kameraet, der skal anvendes under flyvningen. Undersøgelsen skal klarlægge, hvordan den endelige kalibrering skal gennemføres med kameraet, der skal anvendes til luftbillederne.
Kalibreringstesten udføres på baggrund af tutorial-videoen for multi-sheet metoden (Eos Systems 1) og de erfaringer, der er gjort på 7. semester.

Forberedelse

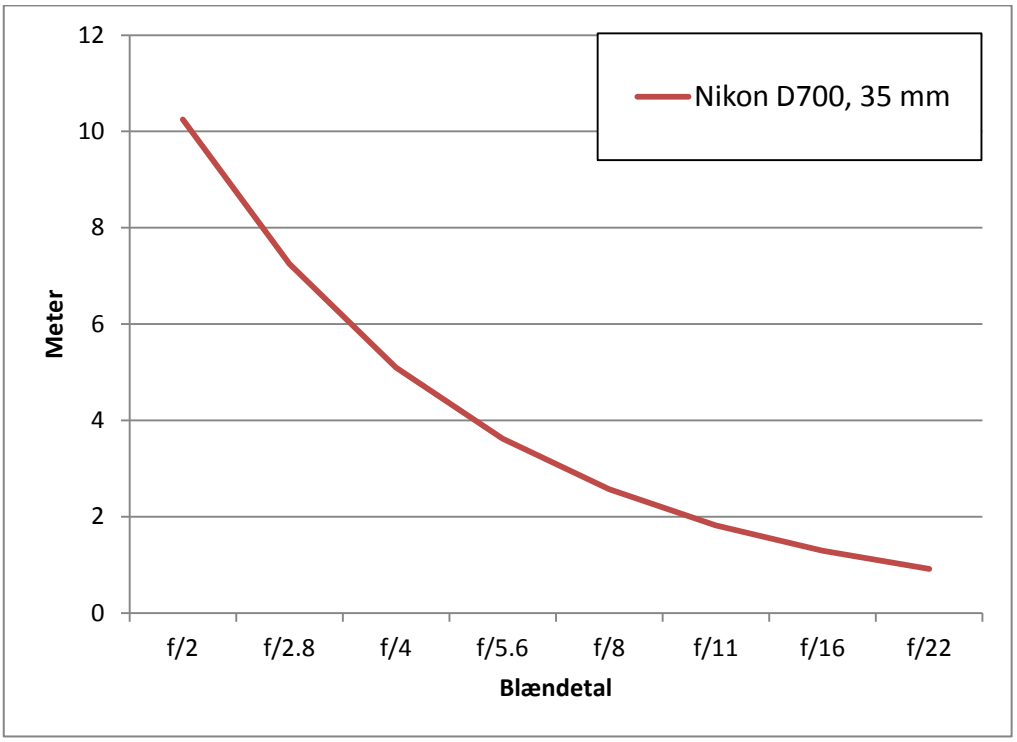
Der blev printet 15 A4-ark med 5 targets på hver. Der vælges 15 ark, da dette antal benyttes i tutorial-videoen. I (Mortensen, et al., 2011)fremgår det, at der skal være mindst 25 fælles punkter til kalibreringen. Det har ikke været muligt at finde ny dokumentation for, hvor mange punkter der kræves, når der foretages en multi-sheet kalibrering. Hvis dette krav om 25 punkter stadig er gældende, vil de 15 ark give flere overbestemmelser, når kalibreringen gennemføres. Som i videoen laves kalibreringsfeltet kvadratisk på gulvet, der er illustreret på Billede 1. Alle billederne findes som bilag 8: Testkalibrerings, på bilags Cd'en.



Billede 1 - Kalibreringsopsætning

To af arkene placeres på kasser for at give dybde til kalibreringsfeltet, hvilket anbefales af Eos Systems ved større kamerakonstanter. (Eos Systems 1) Højdeforskelle i kalibreringsfeltet hjælper til at bestemme kamerakonstanten korrekt. Billederne skal tages med rotation omkring den optiske akse, hvilket vil sig billeder i landskabs- og portrætformat. Rotationerne bruges til bedre at kunne bestemme hovedpunktets koordinater.(Luhmann, 2006 s. 450)
I PhotoModeler Scanner kan der kalibreres ved hjælp af 6 til 12 billeder. For at have flest mulige overbestemmelser, vælges det at tage 12 billeder. De 12 billeder tages på samme måde, som

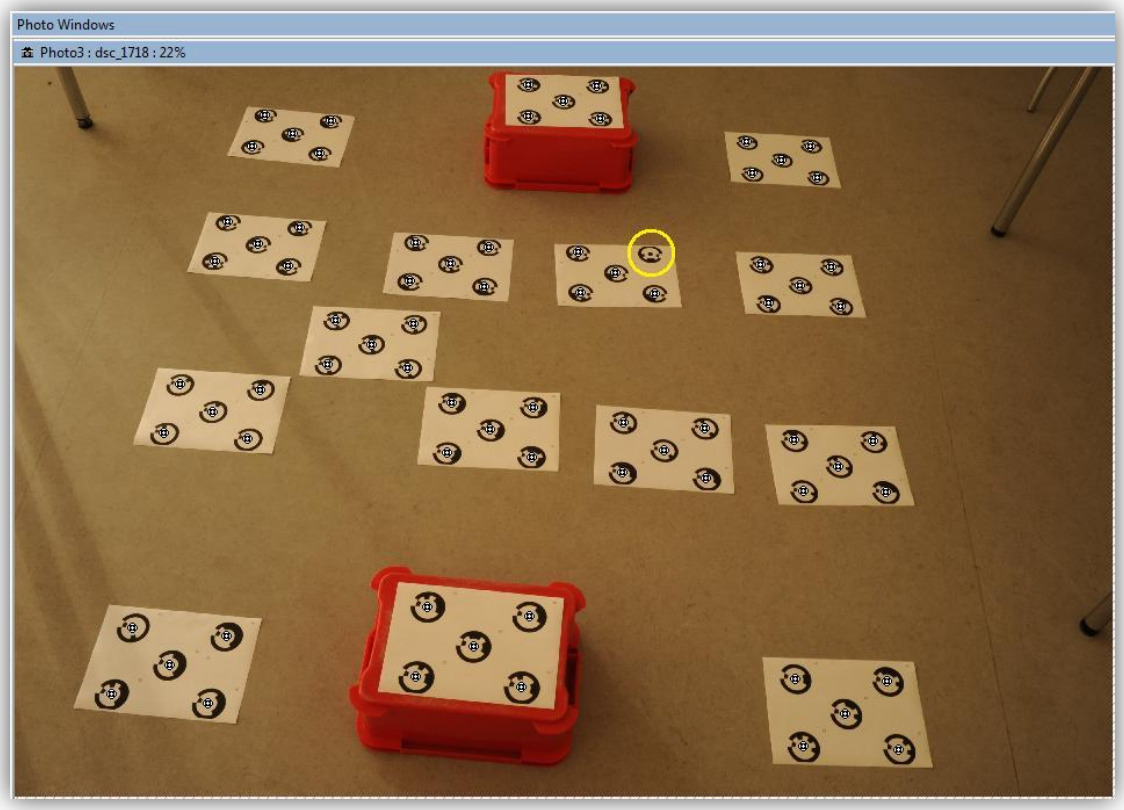
demonstreret i videoen, hvilket vil sige tre billeder for hver side af kalibreringsfeltet. Et billede i landskab, samt de to portrætformater drejet 200 gon i forhold til hinanden. Billederne tages, så mindst 80 % af det samlede billedområde er dækket.
Kalibreringsbillederne tages fra en trefod, hvorved det er muligt at vælge den mindste blænde på f/22, hvilket betyder, at dybdeskarpheden indtræffer ved 0,92 m, hvilket kan ses på Graf 1. Ved andre kamera- og objektivopsætninger, vil dette være anderledes, hvorfor det er nødvendigt at overveje, hvor det er muligt at etablere kalibreringsfeltet.



Graf 1 - Afstanden hvor dybdeskarpheden indtræffer ved forskellige blændetal (Don Fleming)

Udførelse og resultat

Når billederne er taget, indlæses de i programmet. Her vælges, at der ønskes at lave et kalibreringsprojekt.
Markeringen og identificeringen af targets i PhotoModeler Scanner sker automatisk. Af Screendump 1 fremgår det, at programmet er i stand til at identificere alle punkter på nær 1 i dette billede. Dette eksempel repræsenterer godt, hvor mange punkter der bliver markeret i billederne.



Screendump 1 - Automatisk markerede targets i PhotoModeler Scanner.
Gul cirkel viser det target der ikke er blevet markeret

Første gang kalibreringen beregnes, er det ikke muligt at vælge hvilke parametre, der ønskes beregnet. De værdier der kan beregnes i programmet er:

- F – kamerakonstant
- Xp – hovedpunkts x-koordinat
- Yp – hovedpunkts y-koordinat
- Fw – billedchip bredde
- Fh – billedchip højde
- K1 – radial linsefortegning, 1. parameter
- K2 – radial linsefortegning, 2. parameter
- K3 – radial linsefortegning, 3. parameter
- P1 – tangentiel linsefortegning, 1. parameter
- P2 – tangentiel linsefortegning, 2. parameter

Ved første kalibrering beregnes Fh og K3 ikke. Hvis der er enkelte parametre, der ikke ønskes beregnet, må beregningerne laves igen.
I rapporten fra 7. semester (Ørtved, et al., 2011 s. 23) konkluderes det, at flere af parametrene er korrelerede*. Hvis to korrelerede parametre forsøges beregnet samtidig, vil resultatet give meget høje spredninger i PhotoModeler Scanner. Det blev i denne rapport valgt at fastholde format height, samt ikke at beregne K3, P1 og P2, der er fortegningsparametrene med mindst indflydelse.(Ørtved, et al., 2011 s. 24) Som det fremgår af kalibreringsrapporten fra anden-beregning, se bilag 8: Testkalibrering, på bilags Cd'en, er der enkelte punkter, der har for store residualer (over 1,00 pixel), eller dårlige vinkler** (under 5 grader). Disse slettes for at fjerne de potentielt dårligt bestemte punkter og kalibreringen gennemføres en sidste gang.

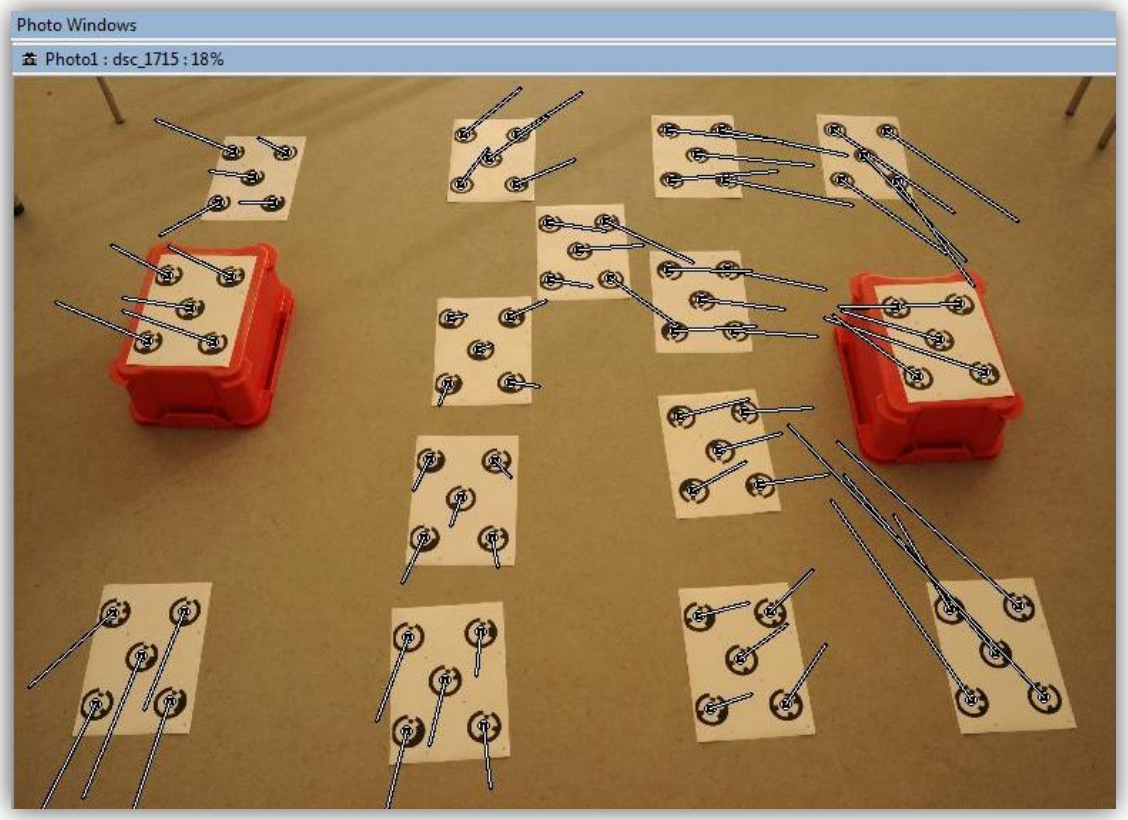
Det endelige resultat af denne testkalibrering kan ses i efterfølgende tabel samt i bilag 8: testkalibrerings på bilags Cd'en.

Parametre	Resultat	Spredning	Fra specifikationer
Total error	1,958		
F	36,125 mm	0,003 mm	35 mm
Xp	18,013 mm	0,002 mm	
Yp	12,111 mm	0,003 mm	
Fw	36,000 mm	0,002 mm	36 mm
K1	7,622e-005	4,7e-007	
K2	-5,811e-008	1,3e-009	
Billeder anvendt	12 af 12		
Dækket billedområde	82 %		
Samlet RMS*	0,245 pixels		
Maksimal RMS	0,944 pixels		

Tabel 1 - Resultater fra testkalibrering bilag 8 kalibreringsrapport_D700_uni

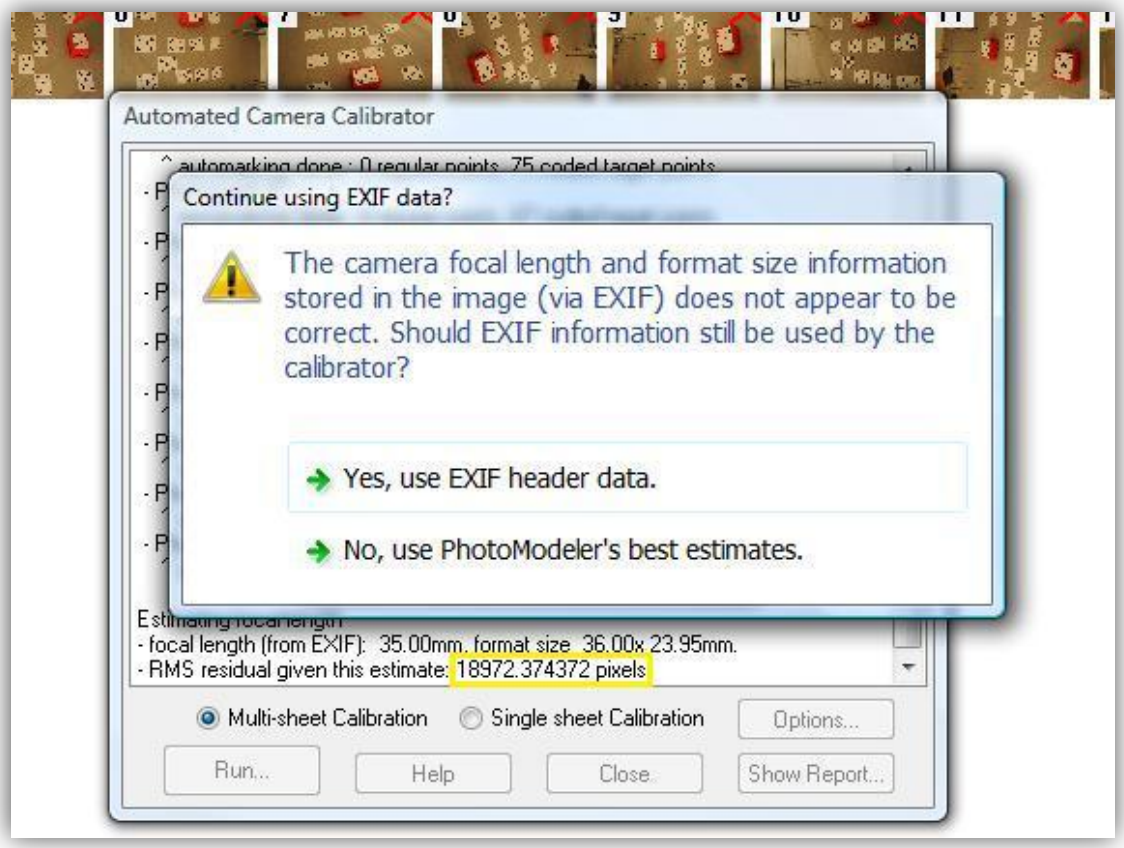
Vurdering

Da total error ikke er tæt på 1, som den bør være, når forventningerne stemmer overens med resultatet, er observationerne vægtet bedre end de reelt set er, hvorfor vægtningen af observationerne burde ændres. Dette kunne gøres ved en skalering af alle observationernes vægtning eller ved individuel ændring af vægtene. Ifølge kalibreringsrapporten er den første total error på 21.445, herefter blev 3 iterationer gennemført, hvorefter total error endte på 1.958. Man kunne forestille sig, at det er det bedste resultat PhotoModeler Scanner kan opnå ved at vægte observationerne ens og noget kunne tyde på, at enkelte observationer er vægtet forkert. Det er dog ikke muligt at vægte observationerne manuelt og derved nedbringe total error. Det er svært at sige, hvilken betydning denne lidt for høje total error har på resultatet af kalibreringen. Af Tabel 1 fremgår det, at alle spredninger er lave, den samlede RMS er under 0.5 pixel og maksimal RMS er under 1 pixel. Af Screendump 2 ses det, at residualbarerne ikke har en entydig retning. Derfor godkendes kalibreringen og rapporten gemmes i programmets kalibreringsbibliotek, og det kan konkluderes, at en kalibrering ved hjælp af multi-sheet metoden er mulig og denne vil blive anvendt i projektet.



Screendump 2 - Residualbarer skaleret med faktor 1000

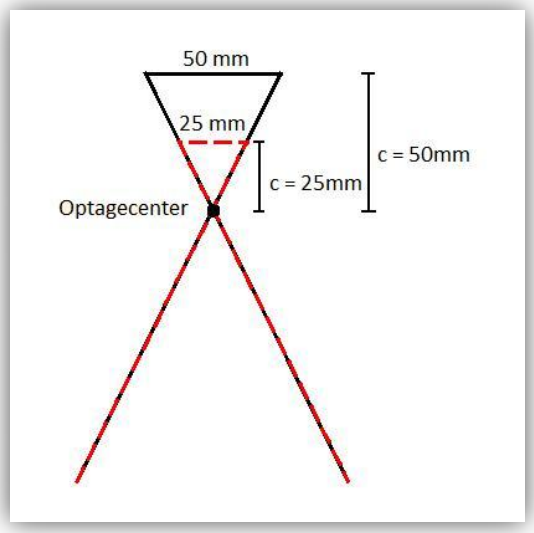
Når de endelige kalibreringsbilleder til projektet skal tages er det vigtigt at være opmærksom på at få dækket billedområdet med de 80 %. Dette kan sikres ved at targets går helt ned til bunden af billedet, uafhængigt af kameraets placering (landskab og portræt). Herudover er det vigtigt at tage billederne, så der er perspektiv**. Vigtigheden af dette blev først klarlagt i forbindelse med en mail-korrespondance med teknisk support ved Eos Systems, se bilag 9: Eosmailkorrespondance 23/3 2012. Korrespondancen blev indledt, idet en meddelelsesboks opstod under kalibreringen, se Screendump 3.



Screendump 3 - Meddelelsesboks under kalibrering

Eos Systems forklarer, at kamerakonstanten beregnes ved hjælp af perspektiv i billederne. Hvis der er dårligt perspektiv, bliver estimatet af kamerakonstanten misvisende og stemmer ikke overens med kalibreringsbilledernes EXIF**-oplysninger, hvilket resulterer i fejlmeddelelsen.

Hvis det vælges at fortsætte med PhotoModelers egne forslag, vil resultaterne af kalibreringen ikke ligne de specifikationer, der findes for kamera og linse. Dette vil dog ikke være et problem, idet forholdet mellem kamerakonstant og billedchipformat er det korrekte og der dermed blot er sket en skalering af kameraet. Et kamera med dobbelt så stort billedchipformat og kamerakonstant som et andet er matematisk ens og vil derfor dække det samme område i virkeligheden. Dette betyder, at de to fotogrammetriske modeller derfor vil være ens. (Eos Systems 4) Dette illustreres på Figur 1.



Figur 1 - Forholdet mellem kamerakonstant og billedchipformatet

Der burde derfor ikke være noget i vejen for at anvende PhotoModelers forslag, men siden vi har en brugervejledning på kameraet, der beskriver chippens størrelse til 36,0 gange 23,9 mm og linsens kamerakonstant til 35 mm, vælges EXIF dataene som indledende værdier.
Af Tabel 2 fremgår det, at forholdet mellem kamerakonstanten og billedchipformatet ikke er ens ved de beregnede værdier i PMS og de givne fra kameraspecifikationerne. Det fremgår dog ligeledes, at de tilpassede EXIF data har det samme forhold som PMS-værdierne. Dette betyder, at der ikke er forskel på, om der anvendes den ene eller den anden rapport. Idet der ikke er forskel på, om der vælges det ene eller det andet, findes det bemærkelsesværdigt, hvorfor advarslen giver mulighed for at vælge.

	Kamerakonstant (c) (mm)	**Billedchipformat diagonal (d) (mm)**	**Forholdet (c/d)**
EXIF (Nikon)	35	43,211	0,810
PMS	10,923	13,074	0,835
Tilpasset EXIF	36,125	43,242	0,835

Tabel 2 - Forskel på EXIF og PhotoModeler Scanners kameraparametre, beregnet i Forholdsberegning_app5.m

Selv om de to forhold til sidst bliver ens, er det svært at vurdere, om parametrene i kalibreringsrapporten er korrekte, idet kalibreringen er lavet ud fra billeder med for lidt perspektiv. Dette kunne undersøges ved at tage nye billeder med mere perspektiv og herefter sammenligne resultaterne. Eftersom det ikke er dette kamera, der vil anvendes i projektet, vil der ikke blive lavet yderligere kalibrering heraf. Det konkluderes, at billederne skal tages med mere perspektiv når projektkameraet anvendes.

Bilag 1 - Mødereferat, afholdt hos Sky-Watch, Støvring d. 2. februar 2012

Til stede var:
Repræsentant fra Sky-Watch: Michael Messerschmidt
Nellemann & Bjørnkjær: Morten Ørtved
Aalborg Universitet: Majbrit Mortensen og Jakob Ørtved

Resume fra mødet:
Michael Messerschmidt fortalte at:
Kameraet er et Full HD video kamera med fikseret fokus, hvor der kan tages frames ud. Som situationen er pt. er det ikke muligt at tage stilbilleder, men der arbejdes på denne løsning.
Helikopteren har indbygget en GPS og dennes præcision er på 0,5-1,3 m i 3 retninger.
Kameratilt registreres.
Systemet koster ca. 250.000 kroner i alt
Firmaet laver det hele selv, fra udvikling, software, fremstilling, marketing, salg og vedligeholdelse.
Systemet benyttes mest til inspektion, eksempelvis ved minerydning.
Sky-Watch har ikke tid til at komme ud til os for at kalibrere kameraet, men vi er velkomne til at komme ned til dem og gøre det.

Derudover fremlagde Morten Ørtved Nellemann & Bjørnkjærs tanker:
De forestiller sig, at man kunne benytte billederne til at lave ortofotos, som eksempelvist kommunerne kunne benytte i forbindelse med ny bebyggelse. Her vil det være muligt at se, hvor mange grunde der er blevet bebygget af en udstykning på et givet tidspunkt.

Vi bringer den danske lovgivning på bane, og Michael Messerschmidt bekræfter, at det ikke er tilladt at flyve tættere på bebyggelse end 150 m, og at der ikke må flyves højere end 100 m. Derudover nævner han, at Sverige har et bedre regelsæt omkring anvendelse af UAV og at tage billeder over offentlige arealer. Dette vil vi undersøge.

Det aftales at Michael Messerschmidt ordner:
Video sendes med det samme.
Billeder tages ud og sendes snarest.

Vi ordner:
Undersøg kalibrering – hvordan skal den udføres og hvor ønskes det gjort? (evt. bag Hydrema).

Referatet blev godkendt af Nellemann & Bjørnkjær af Morten Ørtved den 19/4 2012.
Referatet blev godkendt af Sky-Watch af Michael Messerschmidt den 20/4 2012.

Fra: Jakob Krogh Ørtved [mailto:joertv07@student.aau.dk]
Sendt: 19. april 2012 09:41
Til: mo@nb.dk
Emne: Godkendelse af referater

Hej,
Vi beklager den sene besked, men vi vil gerne have godkendt referaterne fra de møder vi har holdt med jer og helikopterfirmaerne, så vi kan dokumentere i rapporten, at de er afholdt og det vi henviser til er korrekt..
Vi vil derfor gerne bede dig om at læse dem igennem og svare tilbage, om de kan godkendes..

Venlig hilsen
Majbrit og Jakob
Aalborg Universitet

Fra: Morten Ørtved [mo@nb.dk]
Sendt: 19. april 2012 09:45
Til: Jakob Krogh Ørtved
Emne: SV: Godkendelse af referater

Referater godkendt

Hej Michael,
Selv om det er længe siden vi har afholdt mødet med dig angående jeres helikopter, vil vi nu meget gerne bede dig om at godkende vores referat, så vi kan henvise til det i vores projekt..

På forhånd tak
Venlig hilsen
Majbrit og Jakob
Landinspektørstuderende
Aalborg Universitet

Fra: Michael Messerschmidt [mmj@sky-watch.dk]
Sendt: 19. april 2012 14:48
Til: Jakob Krogh Ørtved
Emne: Re: Godkendelse af referat

Hej Morten,
Godt at høre fra dig igen, og du må undskylde jeg ikke har ladet høre fra mig men vi har umådeligt travlt i øjeblikket! Ang. referat har jeg to ændringer en lille og en stor

- vores GPS kan rigtigt nok godt komme ned på 0,5 men oftest ligger den mellem 0,5 og 1,3 m
- ang. kamera har vi stadig lidt problemer med at finde det helt rigtige kamera, men vi har arbejder hårdt på sagen!!!

Men ellers kan jeg godt godkende det.
Mange tak jeg vil holde dig opdateret med evt. ændringer som kunne have interesse for jer!

Med Venlig Hilsen / Best Regards
Sky-Watch A/S
Michael Messerschmidt
Business Development Manager
Tel.: (+45) 53717181
Skype: michael.messerschmidt.sky-watch

Bilag: 2 – Mødereferat, afholdt hos Nellemann & Bjørnkjær d. 13. januar 2012

Til stede var:
Repræsentant fra GreenStick Studio: Carsten Hansen
Nellemann & Bjørnkjær: Frank Kristensen, Morten Ørtved og Mads Hvolby
Aalborg Universitet: Majbrit Mortensen og Jakob Ørtved

Resume fra mødet:
Carsten Hansen fortalte at:
Det er maksimalt tilladt at flyve 100 m over terræn og der må ikke flyves inden for 150 m for bebyggelse uden tilladelse i henhold til lovgivningen.
Der er 3-4 mdr. ventetid på en tilladelse og gælder kun i et specifikt tidsrum.
Helikopteren er 90 cm i diameter og er en UAV af mærket Aibotix.
Kameraet er et Canon EOS 5D mark II med en 50 mm linse uden zoom. Med en blænde på 2.8.
8-9 m/s er max vind ved stillbilleder.
Der er monteret gyro på kameramountet, der hænger uafhængigt under UAV'en.
Den samlede løsning på helikopter og kamera koster ca. 250.000 kroner.
Indtil videre har de kun optaget videofilm, eksempelvis en reklamefilm for et indkøbscenter i Herning.
Det nævnes, at helikopterfabrikanten har problemer med at opfylde, hvad de lover.
Helikopteren er svær at styre, hvorfor GreenStick Studio lejer en pilot, når der skal flyves.

Derudover fremlagde Nellemann & Bjørnkjær deres tanker:
Det de gerne vil anvende systemet til er ortofotos og terrænmodeller, hvis kvaliteten er tilfredsstillende. De vil gerne kunne lave modeller af bygninger – 3D modellering (det er besværligt at komme i højden normalt).
De vil gerne have undersøgt om PhotoModeler Scanner er i stand til anvende billeder taget fra en helikopter. De nævner, at kollegerne ved LE34 er begyndt at anvende UAV, men mest til inspektion o.l.

Til sidst blev der snakket om hvilket område, der kunne være en mulighed for projektet. Her blev golfbanen nævnt, idet Universitetet har den til rådighed, samt nogle af bygningerne, der grænser op til.
Selve projektet kunne dreje sig om at sammenligne nøjagtigheden på de modeller, der bliver lavet ved hjælp af billeder taget i forskellige flyvehøjder.

Referatet blev godkendt af Nellemann & Bjørnkjær af Morten Ørtved den 19/4 2012.
Referatet blev godkendt af GreenStick Studio af Carsten Hansen den 20/4 2012.

Fra: Jakob Krogh Ørtved [mailto:joertv07@student.aau.dk]
Sendt: 19. april 2012 09:41
Til: mo@nb.dk
Emne: Godkendelse af referater

Hej,

Vi beklager den sene besked, men vi vil gerne have godkendt referaterne fra de møder vi har holdt med jer og helikopterfirmaerne, så vi kan dokumentere i rapporten, at de er afholdt og det vi henviser til er korrekt..

Vi vil derfor gerne bede dig om at læse dem igennem og svare tilbage, om de kan godkendes..

Venlig hilsen
Majbrit og Jakob
Aalborg Universitet

Fra: Morten Ørtved [mo@nb.dk]
Sendt: 19. april 2012 09:45
Til: Jakob Krogh Ørtved
Emne: SV: Godkendelse af referater

Referater godkendt

Hej Carsten,

Selv om det er længe siden vi har afholdt vores første møde med dig angående din helikopter, vil vi nu meget gerne bede dig om at godkende vores referat, så vi kan henvise til det i vores projekt..

På forhånd tak

Venlig hilsen
Majbrit og Jakob
Landinspektørstuderende
Aalborg Universitet

Fra: Carsten Hansen [carsten@greenstickstudio.com]
Sendt: 20. april 2012 10:22
Til: Jakob Krogh Ørtved
Emne: Re: Godkendelse af referat

Jeps - den er godkendt herfra :)

De bedste hilsner

Carsten Hansen
Mobil: +45 31343603
www.greenstickstudio.com

Bilag 3 – Dagbog

13/1 Møde i NB med Green Stick Studio

2/2 Møde i Støvring med Sky-Watch A/S

8/2 Aftale om prøveflyvning med Green Stick Studio. Aflyst pga. frostgrader og elektriske problemer som følge deraf.

9/2 Første vejledermøde fra 11.00 til 12.00

13/2 Prøvebilleder taget (med universitetets kamera) og undersøgt visuelt

14/2 Dagsorden: PM-dag i NB.

- Kan et projekt laves uden at have en kalibrering? Ja den gør det bare uden at beregne kamera konstant og forvrængnings parametre.

- Undersøgelse af skiltene og muren

- Field-kalibrering ud fra billederne - sammenligning med sidste års rapport.

  - afstanden er 20 meter i år

- Begynd på tutorials, hvis der er tid

15/2 Mail til trafikstyrelsen omkring lovgivning

15/2 Mail fra Morten: Kamera er sendt til kalibrering og kommer tilbage om et par uger.

28/2 Andet vejledermøde

29/2 Mail til Carsten om flyvning d. 2/3

1/3 Mail fra Carsten, hvor han skriver at holdet er i Vestjylland hele fredag d. 2/3
Herpå spørges om tirsdag d. 6/3 kan lade sig gøre, da der er ganske lidt vind. Ingen respons

10/3 Mail fra Carsten, hvor han skriver, at der er sket et uheld med helikopteren og kameraophænget et gået i stykker. Der er korrespondance i gang med helikopterproducenten om at få lavet et nyt hurtigst muligt og få den monteret. Carsten vurderer, at holderen skulle være færdig i slutningen af næste uge.

12/3 Det foreslås at flyve med et mindre kamera, som de har en fungerende holder til.

16/3 Besøg fra GreenStick i NB. Billeder til kalibrering taget og aftalt møde om flyvning torsdag d. 22/3

22/3 Besøg fra GreenStick på universitetet. Billeder til højdeundersøgelsen taget, billeder til kalibrering taget. Flyvning ikke gennemført, da der var for meget blæst. Det aftaltes at se hvornår vejret er bedre og GreenStick er i Aalborg området alligevel.

Til stede var: projektgruppen, vejledere og Peter Cederholm, Frank Kristensen og Morten Ørtved fra Nellemann & Bjørkjær, samt Carsten Hansen og pilot fra GreenStick Studio.

23/3 E-mail sendt til EOS omkring fejlmeddelelsen under kalibreringen ang. format og kamerakonstant.

Mail til Carsten, hvor vi spørger, hvornår den næste flyvning er.

26/3 Svar fra EOS. Nye spørgsmål rejser sig og ny mail sendt til EOS.

27/3 Svar fra EOS. Større forståelse af kalibreringen i PhotoModeler og vigtigheden af vinkler på billederne og dermed perspektiv.

Mail til Carsten, rykker hvor vi hører om han har fået vores mail og hvad han siger til vores forslag om at tage med ud, når de skal flyve.

4/4 Endnu en rykker til Carsten.

5/4 Carsten svarer, at han vil melde tilbage næste gang han får en opgave, der kan passe sammen med at køre omkring UNI.

9/4 Carsten skriver, at han har fået en opgave hjem, der skal foregå i Hjørring. Næste gang det er godt vejr vil de tage derop for efterfølgende at køre forbi UNI.

12/4 Tredje vejledermøde

13/4 Billeder fra Ballerup modtaget

19/4 Mail sendt til DMI angående date til vejrundersøgelse

19/4 Referater sendt til godkendelse

NB godkender

20/4 Både Sky-Watch og GreenStick Studio godkender referat

23/4 Rykkermail til Trafikstyrelsen

24/4 Svar fra Trafikstyrelsen - en mailadresse til Center for luftfart modtaget. E-mailen sendes videre til denne med det samme.

1/5 Fjerde vejledermøde. GreenStick Studio sættes på stand-by og det vælges at arbejde med billederne fra Ballerup.

2/5 Flere billeder fra Ballerup modtaget.

10/5 Svar fra DMI. Ingen vejrdata er lagret, graferne laves løbende. Derfor er det ikke muligt at få vejrdata tilsendt.

17/5 Spørgsmål sendt til PhotoModeler Tech Support omkring de ringe texturer

24/5 Femte vejledermøde.

Bilag 9 – Mailkorrespondance med Eos System support

23. marts 2012

Case 9261 original email:

Hi
We are a group of students at Aalborg University (Denmark). We are working with the PhotoModeler Scanner software on our final project in cooperation with a company that has bought the software. We are having some problems when we calibrate different cameras in the software.

The error message is as follows: "The camera focal length and format size information stored in the image (via EXIF) does not appear to be correct.
Should EXIF information still be used by the calibrator?" (see attached printscreen)

We get the same error regardless of camera used. This example is from a Canon EOS 60D with a 50 mm fixed lens. The multi-sheets have been placed on a wall and some chairs in front to create depth. The pictures have been taken at a distance of approximately 7 meters. We are aware that minimum 80 % of the image should be covered during the calibration and the result of this calibration shows a coverage of 91 %. We imported 11 images, but only 9 of them were used in the calibration. The images are in .jpg but the same error occurs in .tif as well.

We have also tried calibrating a Nikon D700 with a 35 mm fixed lens (the .tif images), which gave the same error.

Can you help us finding out why this error is occuring?

Have you heard of this problem before? Is it a new one? We didn't have these problems when working on PhotoModeler Scanner version 6 (fall 2010). In that project we calibrated the camera by manually marking points placed on a wall (called field calibration at that time).

We have spent a lot of time trying to figure out what the error is caused by. Our idea is that since the image is covered, the software should be able to calculate the correct image dimensions. The calculated information and the EXIF are listed below (see attached printscreen - 2).

Calculated:
Focal length: 38.6571
Format W: 17.7301
Format H: 11.1546

EXIF:
Focal length: 50
Format W: 22.9870
Format H: 15.1130

Please confirm that you have received our mail and are investigating the problem.
If you need further information please contact me via e-mail, mobilephone or Skype..
Ps. this is an urgent matter

Kind regards
Majbrit and Jakob
Stud. Geom. 10. semester Surveyor

---

23. marts 2012

Majbrit and Jakob,

First, please have a look at this article which explains why PhotoModeler's camera solution may not match the camera specification:
http://www.photomodeler.com/kb/entry/44/

Secondly, that message comes up at the beginning of calibration when there is a discrepency between values in the EXIF header. The warning message you see gives you the option to use the EXIF or use PhotoModeler's estimate. In your case it sounds like PhotoModeler's estimate is better than the EXIF based information.

PhotoModeler's focal length estimate is performed as a starting point for calibration. This estimate is refined during the PhotoModeler calibration process, along with solving the other camera parameters. It appears as though your calibration result was very good (low residual). Therefore, that initial focal estimate performed by PhotoModeler was more than good enough to get the calibration started and in the end you got a good result.

Still, it is somewhat unusual for the message to come up with both of your cameras. Would you mind sending us the calibration projects and images? Please use the Backup Project... tool on the File menu and upload the zip file to us via:
http://www.photomodeler.com/fileupload.htm

Looking forward to hearing from you.

Best Regards,
-Mark Savoy
PhotoModeler Tech Support

---

23. marts 2012

Fra: PhotoModeler Tech Support [support@photomodeler.com]

Jakob,
I was talking to my colleague about your project and he brought up a good point, that I think explains why you are seeing that warning message on each of your calibration attempts.

From the screen capture you sent, it looks like your photos are pointing quite straight down onto the target sheets. When your camera angles are so vertical, the focal length estimation can be deceiving, because the focal length calculation is based on perspective. Without much perspective, the focal length estimate may not match your EXIF data, hence the warning.
This also explains why your max residual is low, and in fact, it could be deceptively low.

Seeing your project would confirm this, but I would suggest that you retake your photos so that your camera angles aren't as vertical (ie move around the grid with the camera lower to the ground).

-Mark

---

26. marts 2012

Jakob,
See my replies in blue starting with ">>":

"Our considerations are that the black sheep is the focal length from the lens specifications.. The lens specification from the school's camera is 35 mm, but every calculation we've seen until now is approx. 36 mm.
If the true focal length is 36 mm then the error message will never go away - nomatter how we take the pictures.
This is because the relationship in the EXIF header allways is the same. Have we understood this correctly?"

>>PhotoModeler does a Focal Estimate at the beginning of the calibration and uses the perspective in the photos to do this. If this focal estimate differs from the focal based on EXIF information, you will see that warning. In most cases, the initial focal estimate comes close to the EXIF based estimate, but occasionally there is a discrepancy - either because the EXIF information is not quite accurate, or because the perspective in the images may be throwing off the initial estimate.

>>When you did a single sheet calibration using the Nikon D700, was the result similar, in terms of residual values etc?

We have sent/uploaded the following projects:
- "Calibration" is the project with the Canon 60D camera

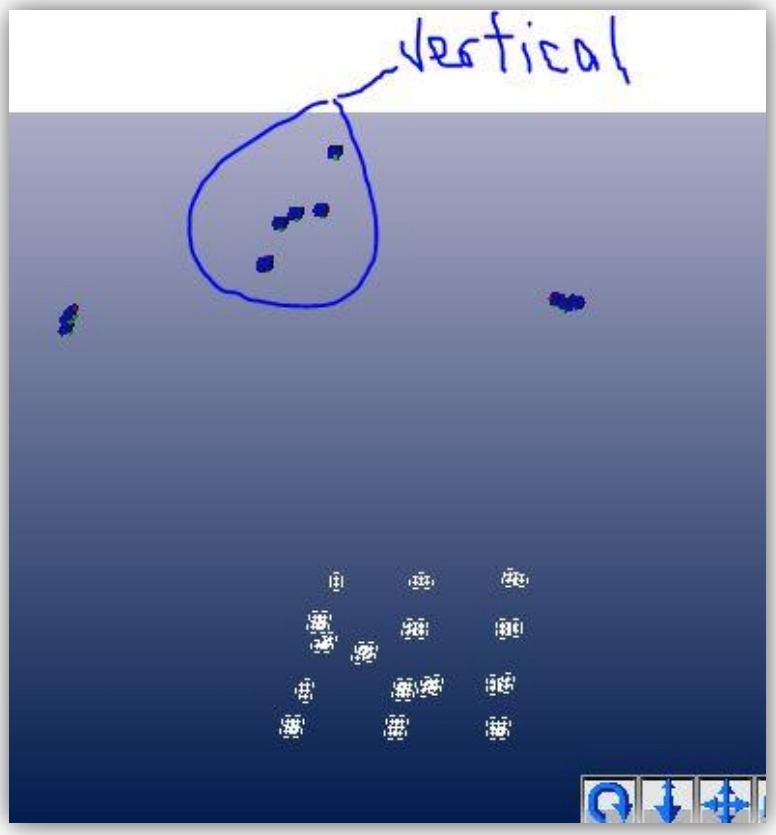
>>The photos in this calibration were taken quite vertically, as you can see from the Angle values in the Point table:

Point table - Quality

st ual	Photos (used)	X Precisi...	Y Precisi...	Z Precisi...	Tightn... (project units)	Angle (deg.)	Use In Proces...	Frozen	Photos (mark...
	1,2,3,6,...	5.1963...	5.4287...	1.4818...	3.3503...	56.102...	yes	no	1,2,3,6,...
	1,2,3,4,...	4.4939...	5.0688...	1.5801...	2.3252...	56.048...	yes	no	1,2,3,4,...
	1,2,3,4,...	4.8012...	5.5655...	1.7263...	2.4562...	55.995...	yes	no	1,2,3,4,...
	1,2,3,4,...	4.7965...	5.3462...	1.6484...	1.4882...	55.967...	yes	no	1,2,3,4,...
	1,2,3,4,...	4.8131...	5.1831...	1.5794...	2.9139...	55.940...	yes	no	1,2,3,4,...
	1,2,3,6,...	5.3333...	5.5184...	1.5000...	3.0194...	55.905...	yes	no	1,2,3,6,...

>>The largest camera angles are about 56degs, while you should try to make them closer to 90 degrees (as in your other calibration attempts).

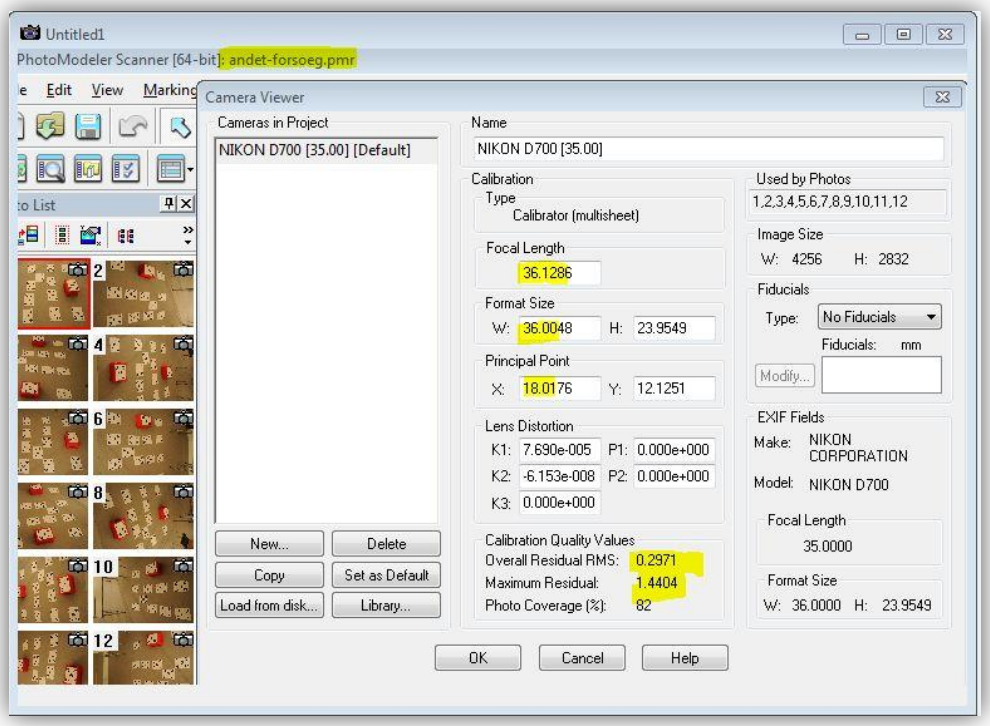
>>You also have a few photos taken from directly above the targets, which may be throwing off the initial focal length estimate:

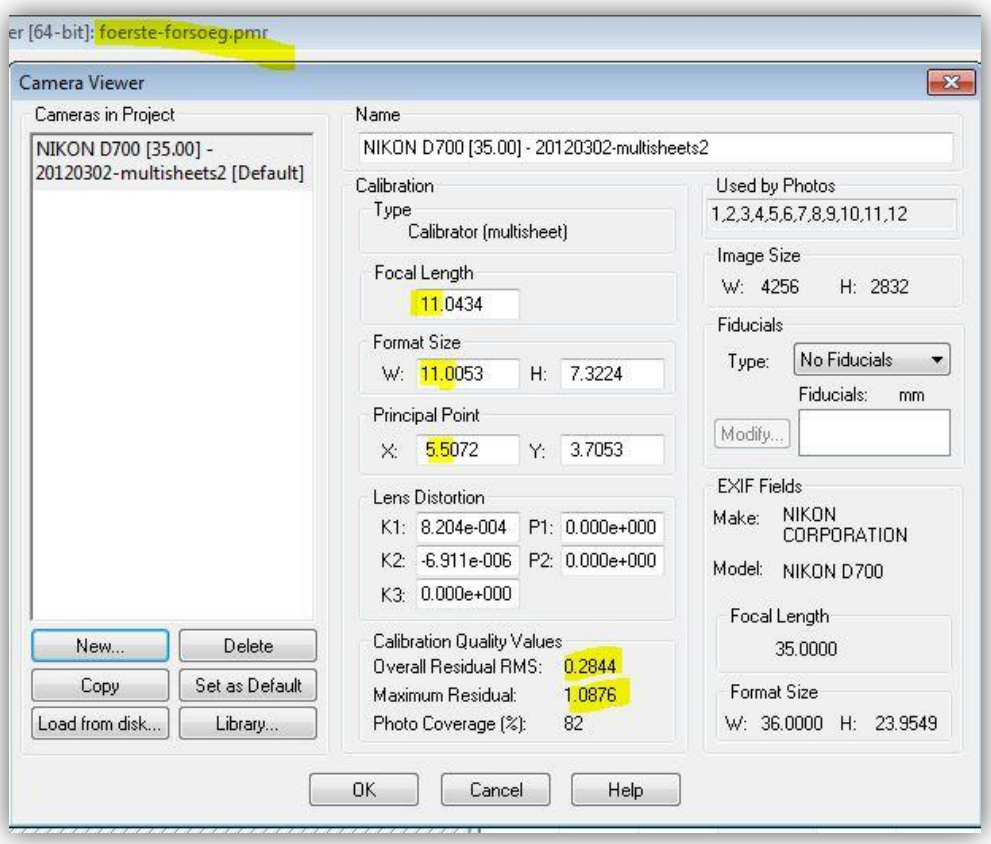


>>Still, the result is quite good with a low max overall residual.

The following are with the Nikon D700:
- "foerste-forsoeg" is the first time we tried calibrating - using PhotoModeler Scanner best estimate
- "andet-forsoeg" is the second time we tried calibrating - this time we chose use EXIF data. The focal length determined here looks like the one we got when we calibrated the same camera and lens last year on singlesheet and fieldcalibration.

>>As you can see, the relative values between the focal length and format size etc in the calibrations are very similar, and the Overall RMS values are very close as well:





>>The Max Residual of the 'andete' calibration is slightly higher, and the P1/P2 parameters didn't solve, but they are both quite useable calibrations. For best accuracy in your model project though, you'll likely want to fine tune the calibration using Field Calibration: http://www.photomodeler.com/kb/entry/62/

>>Also note that nota ll cameras calibrate equally well. It depends on the quality of the lens, and stability of the internal mechanics.

>>It also important to consider that the calibration is one of several factors affecting project accuracy. Even if you have the perfect calibration, your model accuracy may suffer if the model project has a low point count, poor camera angles, etc:
http://www.photomodeler.com/kb/entry/63/

What effect will it have to choose the PhotoModeler specifications instead of the EXIF header data? Will the two calibrations create different end results in DSM and orthophoto?

>>I would think the result would be similar from the two calibrations. With similar relative values and similar quality indicators, and if you Field Calibrate as well, I would think that your results would be very similar. Remember that the initial focal estimate is just a preliminary calculation that gets refined in the main component of calibration, so as long as it solves reasonably well, the main stage of calibration will fine tune that solution and then Field Calibration will fine tune it further, provided your model project is set up appropriately.

We've concluded that with our settings (use EXIF header data, don't calculate format H) in the calibrator, the relationship from "best estimates from PhotoModeler" will be used and the final relationship between focal length and format is the same as Photomodeler's estimate. Does this look right?

>>Yes, you are correct. Note that the H value will never be solved when the W is solved. Either H or W must be kept constant in order to solve the other.

-Mark

---

27. marts 2012

Hi again Mark
Thank you for your answers..

We have one last question (for the time being) about the angles: How is the angle calculated? Is it an average of all the angles between the camerastations?

The dot-calibration is sent as a bonus to look at ;)

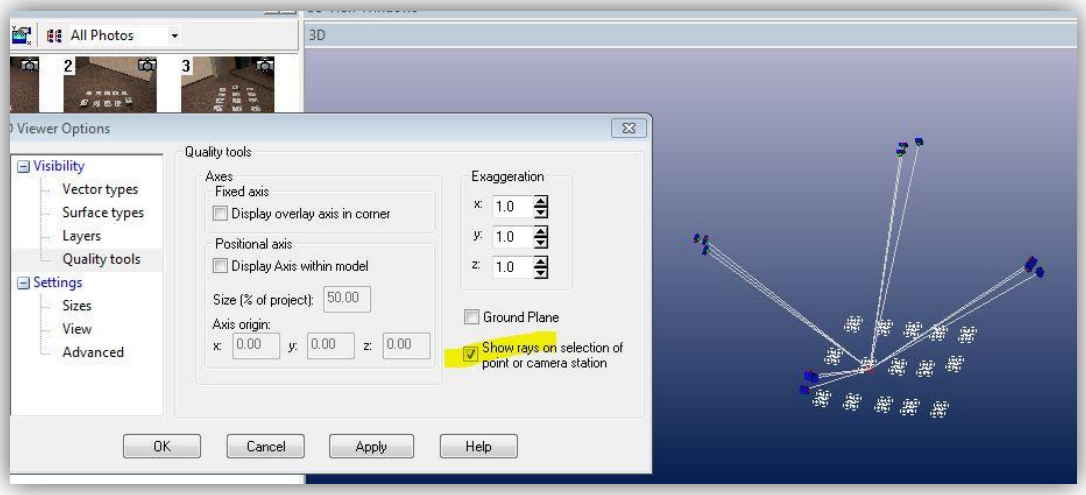
We did not realize how important the perspective was. We thought that it was suffiecient to put some targets in front of the wall on some chairs and thereby having some depth.
We will try taking a new set of pictures with greater angles and thereby more perspective in the pictures.
Thank you very much for your time!
It's a pleasure to work with a company with such short support-response time..
Regards
Majbrit and Jakob
Stud. Geom. Aalborg University, Denmark

---

27. marts 2012

Majbrit and Jakob,

You can visualize camera angles using the 3D Viewer, with Rays on Selection turned on:



The "Angle" data shown in the Point Table shows the maximum angle between the point and the camera stations, ie the angle between all camera pairs is measured, and the maximum angle is shown in the Point Table Angle Column.

On the Photo Table, there are two Angle columns - Max and Average. The max angle shows the angle of the point with the highest angle between camera stations. The average angle is the average of the max angle of all points marked on that photo.

The angle values are a good indication of how well a point is marked, relative to the camer-as/photos it is marked on. I would think the Photo Tables Average angle is the best indicator of how a point is marked in a project.

As for the calibration you sent, the solution looks reasonable, but the camera positioning is not right. You do not have 'rolled' cameras at various locations, and your camera angles are relative-ly low. Please follow the recommended camera positioning as shown in the Help document, Tutorials and the screen capture attached.

I hope this helps.

Best Regards,
-Mark Savoy

---

17. maj 2012

Hi again Mark
We've now come a bit further in our project an are experiencing some other difficulties.
We would like to create an orthophoto but when we use quality textures on the entire model (13 images), the software crashes. Is this just because we need a faster pc or is there another issue perhaps?

We've also tried using only 4 images. With this the pc doesn't crash but we think the quality tex-tures are rather poor in comparison with the images (they seem blurry)..
How does PhotoModeler Scanner determine the colour to put on the triangulated model? Is it pixel by pixel, by triangles, surfaces or how?
The two attachments: picture2-reality.jpg and quality-textures.jpg are screendumps from the software. They illustrate the problem we are trying to explain..
Why are the targets depicted so strangely (yellow cirle) even though they are visible in all four images used to create the quality-texture? Is there some kind of meshing between the images going on?

A backup of both projects and images are uploaded on the webpage:
texture-test-2 is the project with 4 images
13-fill-holes is the project with all the pictures

Our submission date is closing in and we would very much like a fast response as usual ;-)

Best regards
Majbrit and Jakob

---

18. maj 2012

Jakob,
Thanks for sending the files.

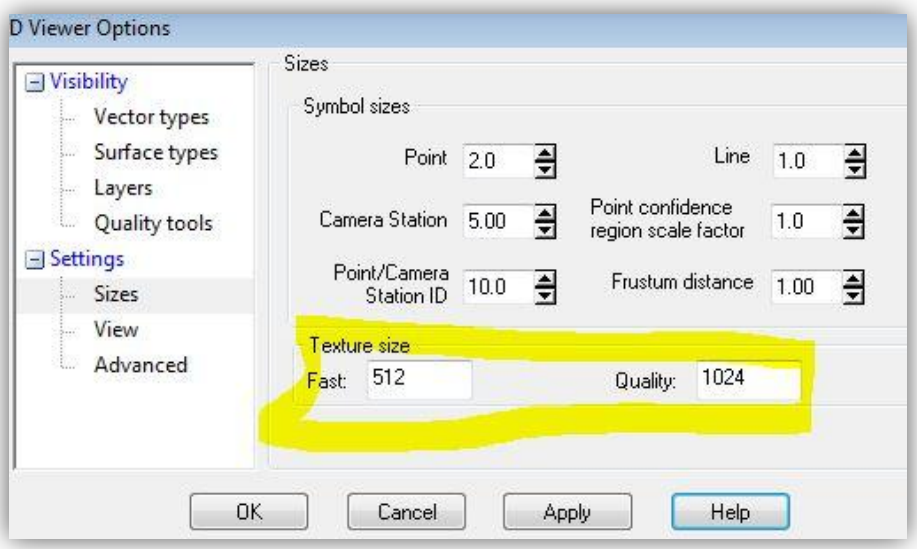
First, please update to the latest version. Either download the patch installer here:
http://www.photomodeler.com/support/upgradepatches/default.htm
or click Check for Updates... on the PhotoModeler Options menu.

Even though there were no recent changes directly related to ortho exports or photo texturing, it's best if you ran the latest version.

Here are some suggestions:

- try splitting up the pointmesh and applying a single photo texture to the smaller pointmeshes. Using the PointMesh Edit Mode, then Region Select, then the Split PointMesh tool. Split the pointmesh at the boundary that a single photo texture projects onto the surface. Shoing Camera Stations in the 3D Viewer with the Frustum option enabled (in latest version) helps define these regions.

- in those original screen captures showing the photo texture in the 3D Viewer, you can control the texture map size and help increase the resolution of the texture by adjusting these settings:



Let me know if you have any other questions.
Best Regards,
-Mark Savoy

Bilag 13 - Definitioner fra PhotoModeler help file.

Affine Transformation

A mathematical transformation of all the coordinates in the model that does not affect the shape of the model. In PhotoModeler these transformations can affect only the size, position, and rotation of the model. These transforms in PhotoModeler are strictly 'Helmert Transforms' (a transform that does not change the shape of nor warp the model). A Helmert Transform is an Affine Transform with no shear or differential scale components.

A transform can be setup using a scale, rotate, translate or with multiple points using the Multipoint Transform or the Geographic Multipoint Transform.

Because this transform will not adjust the model shape, it is extremely rare that a model will line up exactly with the measurements defining the transform. The difference between the entered measurements and the affined project can be seen on the Check Distances Table or the Check Points Table.

Photo Texture Settings

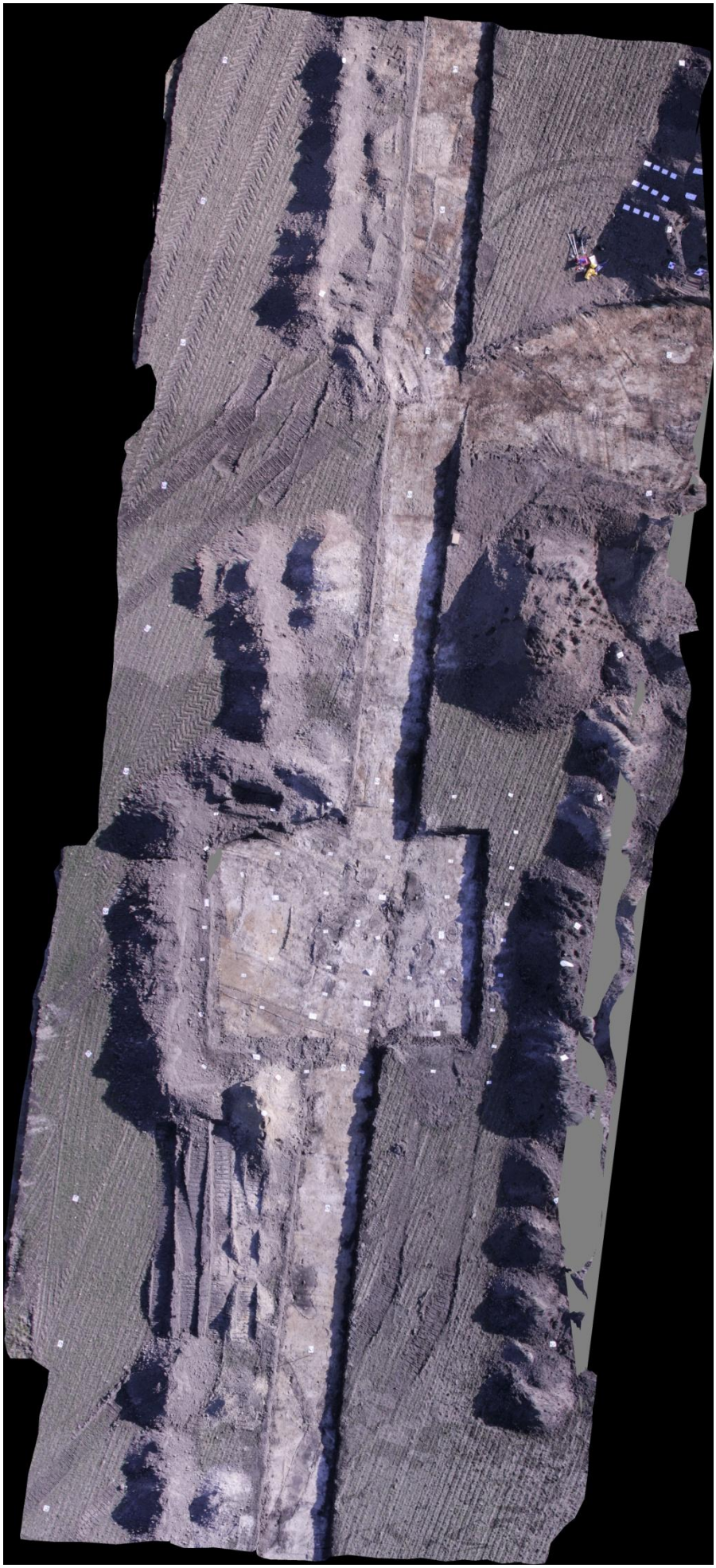
The first texture setting controls when a photograph is valid as a source of texture for a particular part of a surface. These values apply when the Texture setting in the Materials Dialog is set to Multiple-Photo Texture.

A surface normal angle setting of 80 degrees says this, "if a part of a surface has a normal (the perpendicular direction away from the surface) that subtends an angle with the light ray from the photo to that part of the surface that is 80 degrees or less, then that photo is a valid source of texture for that part of the surface". So for example if you had two surfaces in the model and one pointed towards photo 1 (an angle of 20 degrees let's say) and the other was at a very sharp angle to photo 1 (an angle of 90 degrees (so the photo 1 camera is seeing the surface edge-on)) then photo 1 will be used as a source of texture for the first surface but not the second.

If a surface does not face any photo within this angle tolerance then it will get no textures. If a surface faces more than one photo within this tolerance then the photo textures will be blended based on the Multiple-Photo Texture Blending Factor control.

The setting "When a surface normal points away from all photos in the set _ try flipping the normal 180 degrees" controls what to do when there is no appropriate photographic data to texture a surface or part of a surface. This would happen when no photographs were taken at a suitable angle to that part of the model. If no texture is available then the surface normal is rotated 180 degrees and the photos are checked again as possible sources of texture. This can produce some strange results but in some cases with symmetric objects and simple textures the result can look better than no textures.

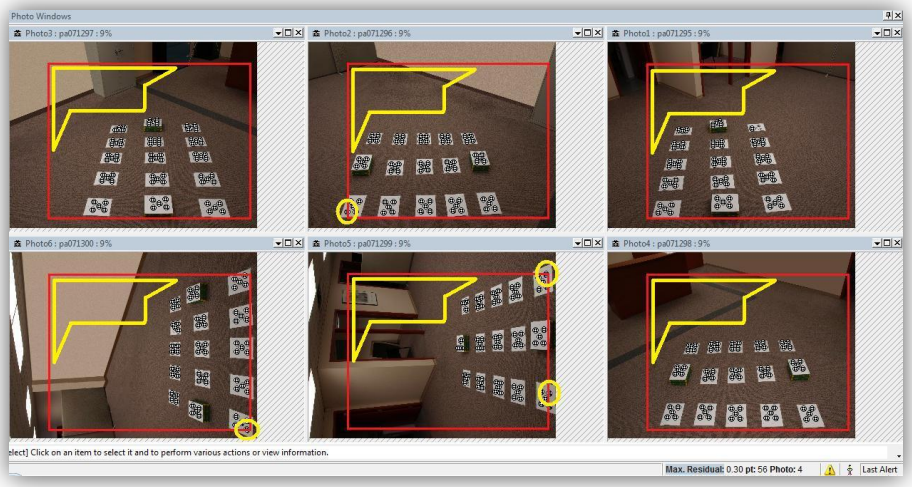
Bilag 14 - Endeligt ortofoto



Fotogrammetrisk ordbog, *

Denne ordbog er udarbejdet til at beskrive de generelle fotogrammetriske begreber, der anvendes i rapporten. Den første kolonne består af selve begrebet og anden kolonne af en beskrivelse af begrebet. Ved nogle begreber vil der ligeledes komme en forklaring i forhold til PhotoModeler Scanner. Hvis der ved beskrivelser af begreber indgår andre begreber, vil der blive henvist til dem med henholdsvis * for denne ordbog og ** for PhotoModeler Scanner ordbogen.

Begreb	Beskrivelse
Absolut orientering	En 3D konform transformation*, der benyttes til at transformere et sæt koordinater fra et referencesystem til et andet. Her benyttes punkter med kendte koordinater til at orientere modellen. En 3D konform transformation indeholder 7 parametre: - 3 flytninger i forhold til X, Y og Z - 3 drejninger i forhold til omega (ω), phi (ϕ) og kappa (κ) - 1 skalering For at kunne gennemføre den absolutte orientering er det nødvendigt at kende minimum 2 planpaspunkter samt 3 højdepaspunkter, idet der er 7 parametre, der skal bestemmes. Parametrene løses vha. mindste kvadraters metode*. Når den absolutte orientering gennemføres i PhotoModeler Scanner, foretages en 3D konform transformation. I bilag 13: PM help file, på bilags Cd'en, kaldes transformationen affine, selvom vinklerne bevares. PhotoModeler Scanner kan orientere modellen absolut ved hjælp af koordinater. Udover at orientere modellen absolut er det muligt at gøre den målfast ved at angive dimensioner.
Aerotriangulation	Metode til bestemmelse af den ydre orientering* med få paspunkter*. Bestemmelse af 3D koordinater til punkter, hvor punkterne er observeret i mindst to billeder. Ved at kende absolutte koordinater til få punkter flere billeder imellem, kan koordinater i hele modellen beregnes.
A posteriori varians	A posteriori varians, $\hat{\sigma}_0^2$, er et udtryk for, hvor godt udjævningen er forløbet og beregnes som: $\hat{\sigma}_0^2 = \frac{\hat{r}^T C \hat{r}}{m-n}$ (Cederholm, 2000 s. 39) Hvor $\hat{r}$ er residualerne opstillet i en n*1 søjlevektor C er vægtmatricen m er antal observationer n er antal ubekendte Hvis udjævningen er forløbet som forventet er a posteriori varians nær 1. Hvis a posteriori varians er under 1, er resultatet bedre end forventet, er den over, er resultatet dårligere end forventet. PhotoModeler Scanner har et begreb, der hedder total error**, hvilket forventes at svare til a posteriori varians. Hvis værdien er meget stor, f.eks. 10 eller mere, kan det skyldes en grov fejl; eksempelvis at der er uskarpe billeder eller at targets er blevet flyttet mellem de enkelte billeder. (Eos Systems 1) Det er svært at vurdere total error, idet a priori varians* ikke kendes.

A priori varians	A priori varians, σ_0^2, er spredningen* kvadreret og sættes ofte lig 1. (Cederholm, 2000 s. 15) A priori kan isoleres af vægtrelationen, der ser ud som følger: $$c_i = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_i^2}$$ (Cederholm, 2000 s. 13)
Basis (b)	Afstanden mellem de to optagecentre
Basis-højde forhold	Beskriver forholdet mellem basis* og højden*. Forholdet beregnes b/h. Hvis forholdet bliver for lille, vil højdebestemmelsen blive dårlig. Bliver forholdet for stort, er der ikke tilstrækkeligt overlap til at danne en højdemodel. Basis-højde forholdet angives for hvert billedpar*. Ifølge PMS skal det være mellem 0,1 og 0,5. (Eos Systems 5)
Billedchip-størrelse	Den faktiske størrelse på billedchippen i mm. I PhotoModeler Scanner betegnes dimensionerne som Fw og Fh, der står for format width og format height.
Billed-koordinater	Matematisk koordinatsystem med origo i billedmidtpunktet. Koordinaterne betegnes x' og y'.
Billedområde	Billedområdet betegner hele billedchippen. Ved kalibrering i PhotoModeler Scanner er det vigtigt, at 80 % er dækket, hvilket ikke betyder i hvert enkelt billede, men totalt på alle de anvendte billeder. Dette illustreres på Screendump 1, hvor den røde ramme illustrerer det dækkede billedområde, der er 67 % i dette tilfælde. De gule cirkler viser de targets, der anvendes til at danne rammen. Eksemplet viser, hvordan PhotoModeler Scanner beregner det dækkede billedområde. Den røde ramme illustrerer reelt set ikke, hvor der findes targets i billedområdet, hvorfor det findes mærkeligt at lave beregningen ved hjælp af fire yderpunkter. Det område der ikke er dækket af targets er markeret med den gule polygon, hvorfor den reelle dækningsprocent er lavere end den beregnede i eksemplet.  **Screendump 1 – Eksempel på dækket billedområde, rød linje genereret af PhotoModeler Scanner, der illustrerer 67 %, det gule område har projektgruppen fremstillet og viser manglende dækning af targets**
Billedpar	Består af to billeder med overlap.
Billedplanet	Billedchippen i kameraet, hvor virkeligheden afbildes.

Billedstabilisator

En funktion på flere objektiver, hvor linsen forsøger at fjerne rystelser i billedet under optagelsen. Stabilisatoren findes både som mekanisk og digital. De objektiver, der anvendes i projektet, har ikke stabilisatorer.

PhotoModeler Scanner anbefaler ikke at anvende billedstabilisator, hvis det er muligt, da den indre orientering* ændres en smule under stabiliseringen.

Blænde

En betegnelse for, hvor stor åbning er, hvor der kommer lys ind gennem linsen. Blænden består af et antal lameller, der laver en tilnærmelsesvist rund åbning. Størrelsen på åbningen beskrives ved en f-stop værdi, der er forholdet mellem kamerakonstanten* c og åbningsdiameteren D. f-stop = c/D. Dette betyder, at en lille f-stop værdi betyder en stor åbningsdiameter (stor blænde), hvilket ses af eksemplet nedenfor. (Wikipedia 1)

Eksempel:

c/D = f-stop

50mm/12,5mm = 4

50mm/2,5mm = 20

Blændeåbning	Blændetal	Dybdeskarphed
Stor ↓ Lille	f/4 ↓ f/20	Lille ↓ Stor

Fordelen ved en lille blænde (f/20) er, at der kan opnås en stor dybdeskarphed*. Det vil sige, at billedet er skarpt fra ~2 m til uendelig, hvis der vel at mærke fokuseres på uendeligt. Fokuseres der på 1 meter kan det godt blive skarpt her. Ved fokusering på uendelig bliver billeder, taget med en stor blænde (f/4), først skarpe længere ude.

Ved en stor blænde kan billedet også blive uskarpt ved at de forskellige dele af lysspektret afbøjes forskelligt i linsen.

Dybdeskarphed

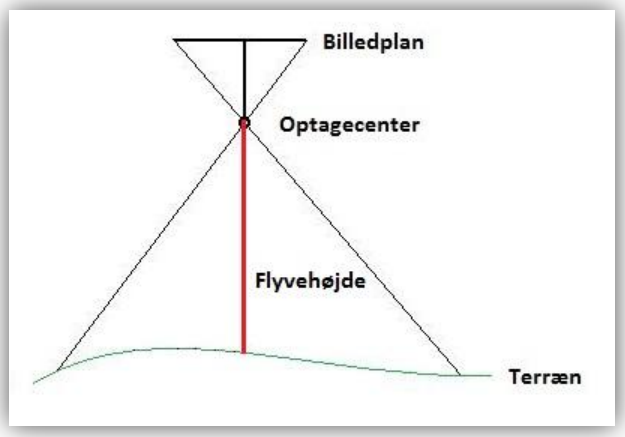
Beskriver hvor meget af motivet, der kommer i fokus*. Dybdeskarpheden afhænger bl.a. af kamerakonstanten*, hvor en lille kamerakonstant giver en større dybdeskarphed. Blændens* størrelse har også betydning for dybdeskarpheden, hvor en lille blænde giver en større dybdeskarphed. (Tybjerg tekst & foto 1)

EXIF

Står for EXchangeable Image Format og er et format, de fleste digitale kamera anvender til at lagre metadata i de optagede billeder. (Tybjerg tekst & foto 4)

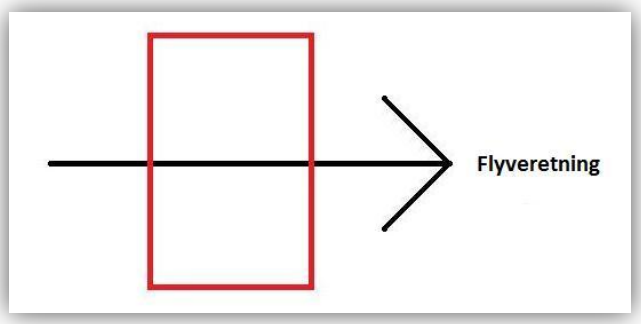
Farvelægning

Betegnelse for når ortofotoets pixels får en farveværdi fra et luftfoto.

Flyvehøjde (h)	Den lodrette afstand fra optagecentret til terræn.  **Figur 1 - Definition af flyvehøjde**
Fokus	Ved at fokusere på noget, stilles der skarpt. Hvis der tages flere billeder fra samme sted, kan der stilles skarpt på forskellige afstand i objektivet, hvorved forskellige ting står skarpt i billederne. (Tybjerg tekst & foto 1) Fotogrammetrien kræver konstant indre orientering* og fokus ændrer denne. Derfor vælges det ofte at holde fokus på ∞, da dette gør det muligt tilnærmelsesvist at finde samme fokus, hvis den skulle blive ændret. PhotoModeler Scanner kræver, at fokus ikke ændres mellem hverken kalibrerings- eller projektbilleder.
Hovedpunkt (H')	Optagecenteret* projiceret vinkelret ned på billedplanet*. I nogle tilfælde er den sammenfaldende med billedcentret, men oftest er der en mindre forskydning. Koordinaten betegnes x'_0 og y'_0. I PhotoModeler Scanner betegnes hovedpunktets koordinater Xp og Yp.
Indre orientering	Bestemmelse af kameraets indre parametre (Luhmann, 2006 s. 115): - Hovedpunktets koordinater, betegnet x'_0 og y'_0 - Kamerakonstant, betegnet c - Linsefortegningsparametre - Billedchipstørrelsen Parametrene beregnes vha. mindste kvadraters metode*.
ISO	Denne værdi er en betegnelse for, hvor lysfølsom billedchippen er. I moderne digitalkamera kan denne værdi ændres i kameraet. På ældre analoge kamera ændrede man lysfølsomheden ved at sætte forskellige film i kameraet. Værdien er forskellig fra kamera til kamera. Nyere og dyrere kamera kan typisk tage billeder med en højere ISO-værdi og stadig opnå et godt resultat. (Tybjerg tekst & foto 2) På (Tybjerg tekst & foto 5) anbefales det aldrig at overlade valget af ISO-værdi til automatikken, men i stedet være opmærksom på de lysforhold, billedet skal tages under.
Kamerakonstant (c)	Tilnærmelsesvist afstanden fra optagecentret til hovedpunktet I PhotoModeler Scanner betegnes denne Focal Length (F). Andre steder betegnes den principal distance.

Kamera-kalibrering	For at kunne opnå en korrekt afbildning er det nødvendigt at kende det anvendte kameras indre orientering*. Når denne kendes er det muligt at korrigere for fortegninger, hvorved det fremstillede fotogrammetriske produkt bliver bedre.
Korrelation	Begreb der benyttes i flere sammenhænge. I dette projekt beskrives det i forhold til kamerakalibrering. Korrelationen er et udtryk for, hvor meget to parametre er indbyrdes afhængige/korrelerede. Korrelationskoefficienterne står udenfor diagonalen i kovariansmatricen jf. mindste kvadraters metode*. Korrelationskoefficienterne kan benyttes til at vurdere kalibreringsresultatet. Korrelationskoefficienterne går fra -1 til 1, hvor -1 betyder at de to parametre er modsat korrelerede og 1 at de er direkte korrelerede. Ved en koefficient på 0 er parametrene ukorrelerede. I PhotoModeler Scanner optræder korrelation mellem flere parametre under kalibrering og udtrykkes i procent fra -100 til 100 %. Alle parametre er til en vis grad korrelerede og det er ikke unormalt, at der optræder en besked om korrelation. Hvis korrelationen bliver over 95 % bør der tages stilling til, om der skal foretages ændringer med hensyn til, hvilke parametre der ønskes beregnet. Ved en korrelation på 100 % er værdierne fuldstændigt korrelerede og programmet giver det samme resultat om den ene eller den anden værdi ændres. I et sådan tilfælde kan en af parametrene fjernes fra beregningen og køres på ny. (Eos Systems 7) Det er dog nødvendigt at være opmærksom på, hvilken indflydelse den fjernede parameter kan have på den efterfølgende anvendelse af kalibreringen.

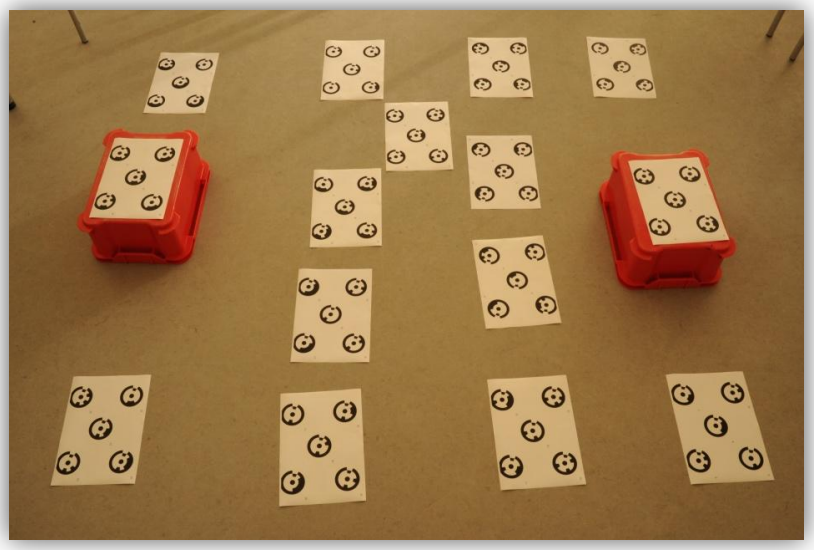
Når kameraet er orienteret med den længste billedside ortogonalt på flyveretningen. Dette illustreres på Figur 2.



Figur 2 - Landskabsformat i forhold til flyveretningen

Landskabsformat

Ved kalibreringsbilleder er den længste billedside parallel med jorden. På Billede 1 ses et eksempel på landskabsformat.



Billede 1 - Kalibreringsbillede i landskabsformat

Linsefortegning

Er et fælles begreb for de fortegninger, der opstår, når lyset passerer gennem linsen. $\Delta x'$ og $\Delta y'$ er summen af fejlbidragene for henholdsvis x- og y-retningen i billedet.

Der findes flere forskellige fortegninger. Radial* og tangentiel* beregnes i PhotoModeler Scanner.

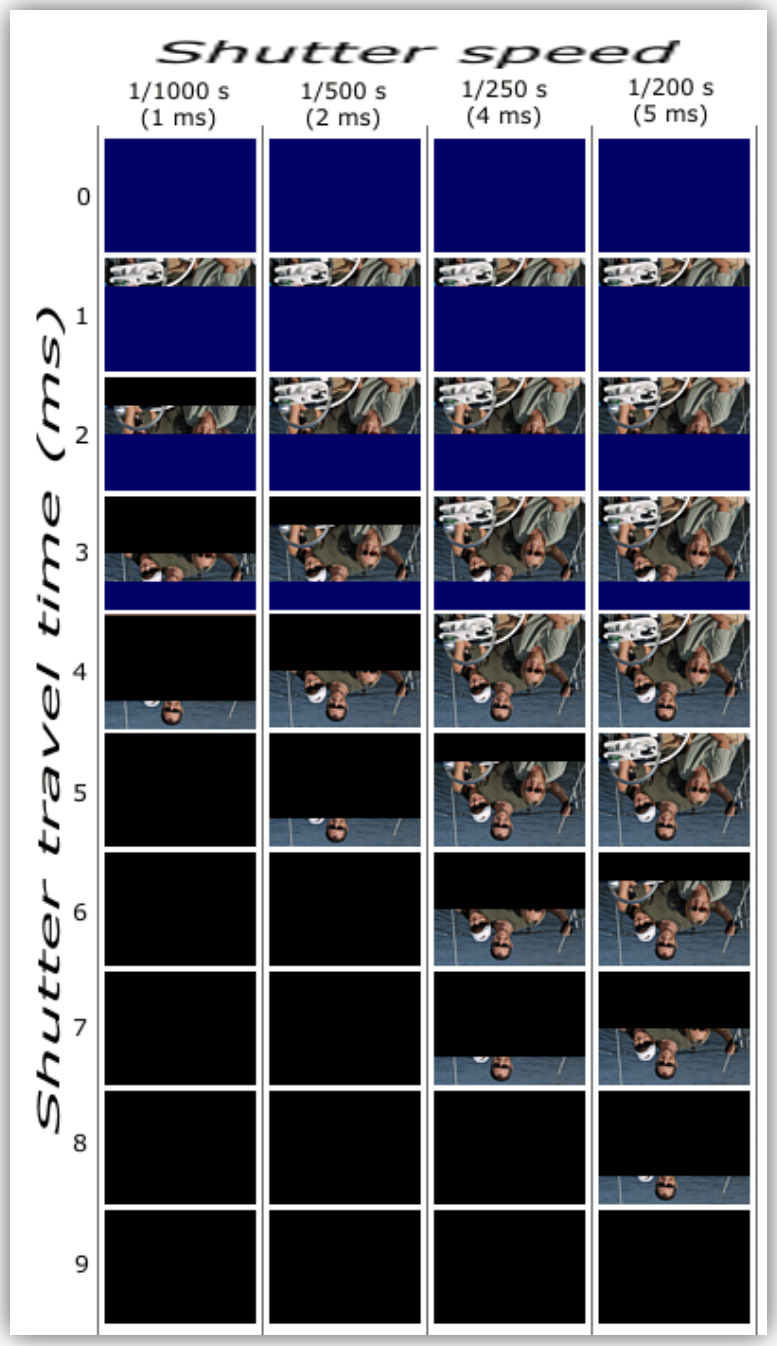
Lukker

Der findes mange forskellige lukkertyper, men de i projektet anvendte kameraer har alle spaltelukkere. En spaltelukker er placeret foran billedchippen og fungerer ved at eksponere chippen ved af lade et gardin trække til side og efterfølgende trække et andet bagefter for at stoppe eksponeringen igen.

Ulempen ved at anvende kameraer med spaltelukkere i fotogrammetrisk sammenhæng er, at kameraet kan have forskellig ydre orientering i hver ende af billedet. Dette kan skyldes, at kameraet er i bevægelse og billedchippen bliver eksponeret fra den ene ende til den anden. (Wikipedia 2)

Lukkergardin-hastighed

Hastigheden hvormed lukkermekanismen bevæger sig over billedchippen. Det vil sige den tid fra det første gardin starter til det når den anden ende af billedchippen. Ifølge (Wrotniak) er den normale lukkergardinhastighed omkring 1/250 s. I klippet fra youtube (Cameratest, 2011), der er en slowmotion video af lukkerfunktionen på et Canon EOS 5D Mark II, ses, hvordan lukkergardinet starter i toppen af billedchippen og bevæger sig nedad. Aflæsning af lukkergardinhastigheden bliver omkring 1/250 s, som det også blev defineret på (Wrotniak).
Figur 3 viser, hvordan de to lukkergardiner sørger for, at eksponeringen af billedet bliver den valgte.



Figur 3 - Lukkergardinsfunktion ved forskellige lukkertider. Blå er det første gardin, sort det andet. I eksemplet er lukkergardinhastigheden 1/250 s (Wrotniak)

Lukkertid

Tiden fra det første lukkergardin* starter til det andet starter og dermed det tidsrum, der lukkes lys ind på billedchippen. (Tybjerg tekst & foto 3)

Metode til at bestemme en entydig løsning til et overbestemt problem: *"Summen af de kvadrerede residualer* skal være minimum"* (Cederholm, 2000 s. 5)
Idet punktet er overbestemt ved flere observationer, opstilles en ligning for hver af disse observationer. Efterfølgende ses observationsligningerne skrevet på matrixform:

$$b = A\hat{x} - \hat{r}$$ (Cederholm, 2000 s. 11)

Hvor A er designmatricen, der indeholder koefficienterne til elementerne i en m*n matrix.

$\hat{x}$ er de ubekendte elementer opstillet i en n*1 søjlevektor

$\hat{r}$ er residualerne opstillet i en m*1 søjlevektor

Dernæst opstilles normalligningerne på følgende form:

$$A^T b = (A^T A)\hat{x}$$ (Cederholm, 2000 s. 21)

Da det er de ubekendte $\hat{x}$, der ønskes bestemt, isoleres de således:

$$\hat{x} = (A^T A)^{-1} A^T b$$ (Cederholm, 2000 s. 21)

Såfremt observationerne ikke forventes at have samme nøjagtighed, er det nødvendigt at opstille en vægtmatrix C og den vægtede løsning ser således ud:

$$\hat{x} = (A^T C A)^{-1} A^T C b$$ (Cederholm, 2000 s. 22)

Mindste kvadraters metode

Vægtmatricen kan beregnes som:

$$C = \sigma_0^2 \sum_b^{-1} = \sigma_0^2 \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma_1^2} & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & \frac{1}{\sigma_m^2} \end{bmatrix}$$ (Cederholm, 2000 s. 15)

Hvor σ_0^2 er a priori varians*

$\sum_b^{-1}$ er kovariansmatricen med korrelationerne* uden for diagonalen

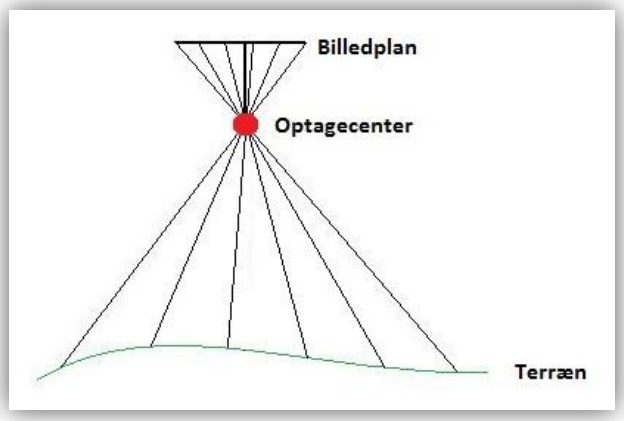
σ_m^2 er variansen til den m'te observation

For at vurdere om udjævningen er forløbet som forventet, beregnes a posteriori estimat for variansfaktoren, $\hat{\sigma}_0^2$. Hvis ikke dette resultat kan accepteres, må vægtene ændres.

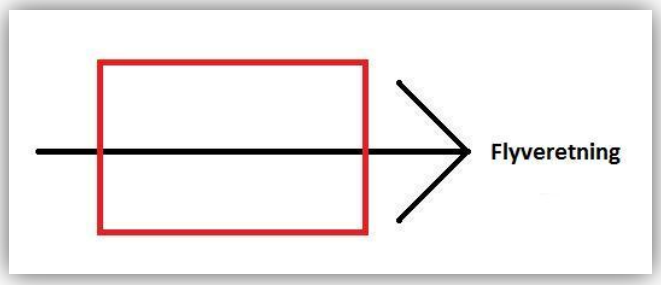
En anden måde at vurdere udjævningen på er ved at se på de normaliserede residualer*, der kan beregnes, når normalligningen er blevet løst.

Ved stråleudjævning anvendes mindste kvadraters metode. Her anvendes stråleligningerne* som observationsligninger, hvor designmatricen A indeholder stråleligningerne afledt med hensyn til de ubekendte.

PhotoModeler Scanner anvender bundle adjustment, der er den engelske betegnelse for stråleudjævning, i sine beregninger. (Eos Systems 6)

Normaliseret residual	Anvendes til at bestemme om residualerne fra udjævningen har de forventede størrelser og beregnes ud fra følgende formel: $r_i' = \frac{\hat{r}_i}{\sqrt{\sigma_{r_i}^2}}$ (Cederholm, 2000 s. 48) Hvor $\hat{r}_i$ er det beregnede residual til den i'te observation $\sigma_{r_i}^2$ er det i'te diagonalelement i vægtmatricen Det normaliserede residual skal ligge mellem ±3. Hvis det ligger uden for dette interval, er observationen at betragte som en grov fejl.
Opløsning	Antal pixels et digitalt billede består af i både x- og y-retningen.
Optage-centeret (O)	En del af den ydre orientering* og defineres som punktet i linsen, hvor alle lysstråler i centralprojektionen går igennem. Betegnes X_0, Y_0, Z_0.  **Figur 4 – Definition af optagecenteret** Optagecenteret kaldes andre steder brændpunkt eller projektionscenter. Optagecenterets koordinater bestemmes vha. mindste kvadraters metode* og anvendes når 3D koordinater skal bestemmes.
Orientering	Opdeles i indre* og ydre* orientering.
Overlap	Det procentvise område, der er afbildet i begge billeder i et billedpar*.
Paspunkt	Synligt punkt i flere luftfotos med kendt koordinat. Paspunkter anvendes til den ydre orientering* af luftfotos, samt absolut orientering af modellen.
Pixel	*"PICture ELement, der er det mindste element i et digitaliseret billede*." (Tybjerg tekst & foto 4)

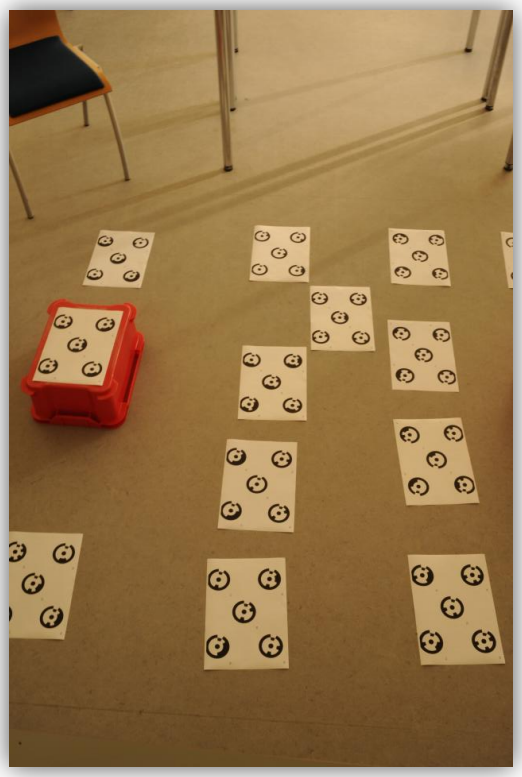
Når kameraet er orienteret med den længste billedside parallelt med flyveretningen. Dette illustreres på Figur 5.



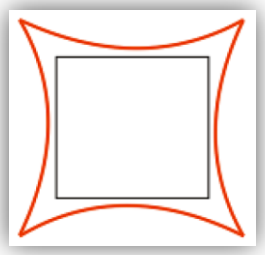
Figur 5 - Portrætformat i forhold til flyveretningen

Ved kalibreringsbilleder er den korteste billedside parallel med jorden. På Billede 2 ses et eksempel på portrætformat.

Portrætformat



Billede 2 - Kalibreringsbillede i portrætformat

Radial linsefortegning	Fortegningen opstår, idet indgangsvinklen på lysstrålerne ikke er den samme som udgangsvinklen. Fortegningen er tilnærmelsesvist symmetrisk ud fra hovedpunktet. (Luhmann, 2006 s. 116) Denne fortegning bidrager med den største korrektion og er den vigtigste at bestemme for at opnå et godt resultat. En illustration af fortegningen kan ses på Figur 6.  **Figur 6 – Radial linsefortegning (Mortensen, et al., 2011 s. 25)** Den radiale linsefortegning beregnes i PhotoModeler ud fra følgende formel: $$\Delta r' = K_1 \times r'^2 + K_2 \times r'^4 + K_3 \times r'^6$$
Relativ orientering	Orientering af to eller flere billeder i forhold til hinanden. Orienteringen består af en bestemmelse af: - Koordinater til optagecenteret* i et relativt koordinatsystem - Rotationer, betegnet omega (ω), phi (ϕ) og kappa (κ), i forhold til et relativt koordinatsystem Den relative orientering løses vha. mindste kvadraters metode*. Laves den relative orientering i forbindelse med en kalibrering, er der flere ubekendte, da den indre orientering* endnu ikke er bestemt. Laves orienteringen i forbindelse med modellering, hvor en kalibreringsrapport foreligger, er der derfor færre ubekendte at bestemme.

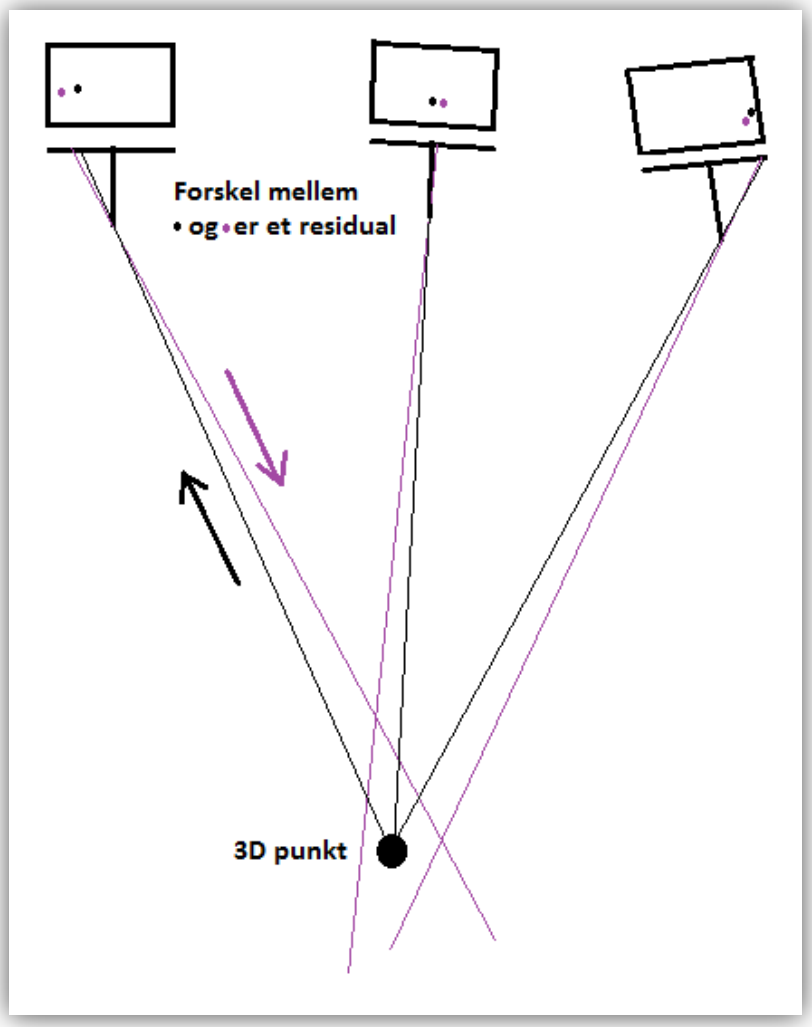
En ukendt korrektion, hvoraf summen skal være mindst mulig for at få en entydig løsning, jf. mindste kvadraters metode*.

I PhotoModeler Scanner betegnes residualet som forskellen mellem et observeret 2D-punkts beliggenhed i billedet og et genereret 3D-punkts beliggenhed. Residualet bruges til at vurdere, hvor godt punkterne i projektet er observeret i forhold til det sted PhotoModeler Scanner forventer punktet skal være.

Princippet bag residualberegningen fremgår af Figur 7 og er som følger:

1. Det samme punkt observeres i flere billeder og på baggrund af dette, beregnes 3D positionen til punktet vha. mindste kvadraters metode*
2. 3D positionen omregnes til billedkoordinater i de anvendte billeder vha. strålelingingerne
3. Forskellen mellem det observerede billedkoordinat og det beregnede billedkoordinat fra 3D positionen er residualet. Et punkt har ligeså mange residualer som antallet af anvendte billeder. Den største af disse residualer betegnes som maksimal residual for punktet

Residual



Figur 7 - Illustration af hvordan residualer beregnes

Fortsættes næste side

Ifølge (Eos Systems 1) er der nogle forskellige vurderingsmuligheder i forhold til residualerne:

- Maksimal residual: højst 1,5 pixels, men under 1, hvis der ønskes god kvalitet i projektet. Des mindre residual, des bedre. En høj maksimal residual kunne indikere grove fejl.
- Samlet RMS** residual: højst 0,5 pixels i et godt projekt. Samlet RMS er et udtryk for det samlede projekts nøjagtighed.
- Residualbar: Residualerne i hvert enkelt billede kan illustreres ved hjælp af residualbarer, hvorved det er muligt at konstatere om der er en entydig tendens. På Screendump 2 ses et eksempel på residualbarerne forstørret med faktor 2000.

Screendump 2 - Residualbarer skaleret med faktor 2000

RGB

Forkortelse for Red-Green-Blue og benyttes til at definere en farveværdi til for eksempel et punkt.

RMS

Står for root mean square, hvilket vil sige kvadratroden af gennemsnittet af de kvadrerede forskelle. RMS beregnes ud fra følgende formel:

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{m} r^2}{m}}$$

Hvor r er residualet*

m er antallet af observationer

I PhotoModeler Scanner beregnes RMS for hvert enkelt punkt således:

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum\left((X_{beregn} - X_{obs})^2 + (Y_{beregn} - Y_{obs})^2\right)}{n}}$$

Hvor X_{beregn} og Y_{beregn} er billedkoordinater fra det beregnede 3D punkt, jf. Figur 7

X_{obs} og Y_{obs} er billedkoordinater fra det observerede punkt

n er antallet af billeder, punktet er observeret i

Rotations-matrix

Er en del af den ydre orientering* og definerer kameraets rotationer om koordinatsystemets meddrejede akser. Rotationerne betegnes i forhold til en flyvemaskines retning på følgende måde:

- Omega (ω): tværhældning om x-aksen/flyveretningen
- Phi (ϕ): rotation om den meddrejede y-akse
- Kappa (κ): rotation om den dobbelt-meddrejede z-akse

Rotationerne på matrixform ser ud som følger:

$$R = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} \cos\varphi \cdot \cos\kappa & -\cos\varphi \cdot \sin\kappa & \sin\varphi \\ \cos\omega \cdot \sin\kappa + \sin\omega \cdot \sin\varphi \cdot \cos\kappa & \cos\omega \cdot \cos\kappa - \sin\omega \cdot \sin\varphi \cdot \sin\kappa & -\sin\omega \cdot \cos\varphi \\ \sin\omega \cdot \sin\kappa - \cos\omega \cdot \sin\varphi \cdot \cos\kappa & \sin\omega \cdot \cos\kappa + \cos\omega \cdot \sin\varphi \cdot \sin\kappa & \cos\omega \cdot \cos\varphi \end{bmatrix}$$

(Brande-Lavridsen, 1990 s. 102)

Rotationerne bestemmes vha. mindste kvadraters metode* og anvendes når 3D koordinater skal bestemmes.

Spredning

Spredningen for en observation er kvadratroden af variansen og angiver, hvor godt en observation er bestemt. Antages det, at observationerne er normalfordelte, betragtes gennemsnittet af de observerede værdier som den sande, N(μ, σ^2). Da spredningen er kvadratroden af variansen, kan den beregnes på følgende måde:

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{\hat{r}^T C \hat{r}}{m - n}}$$

Spredning betegnes i PhotoModeler Scanner som deviations.

Stråleligninger

Fotogrammetriens grundformel, der beskriver sammenhængen mellem billedkoordinater (x', y', c) og terrænkoordinater (X, Y, Z) (Brande-Lavridsen, 1990 s. 100)

$$x' = x'_0 - c\frac{a_{11}(X - X_0) + a_{21}(Y - Y_0) + a_{31}(Z - Z_0)}{a_{13}(X - X_0) + a_{23}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)} + \Delta x'$$

$$y' = y'_0 - c\frac{a_{12}(X - X_0) + a_{22}(Y - Y_0) + a_{32}(Z - Z_0)}{a_{13}(X - X_0) + a_{23}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)} + \Delta y'$$

Efter (Kraus, 2007 s. 22) og (Luhmann, 2006 s. 234)

Hvor a-elementerne stammer fra rotationsmatricen*

x'_0 og y'_0 er hovedpunktets* koordinater

X_0, Y_0, Z_0 er optagecenterets* koordinater

X, Y, Z er terrænkoordinaten

$\Delta x'$ og $\Delta y'$ er fejlbidragene fra linsefortegningen*

Afhængig af hvilke ubekendte, der ønskes bestemt, kan stråleligningerne udvides og benyttes i mindste kvadraters metode* til at bestemme de ubekendte.

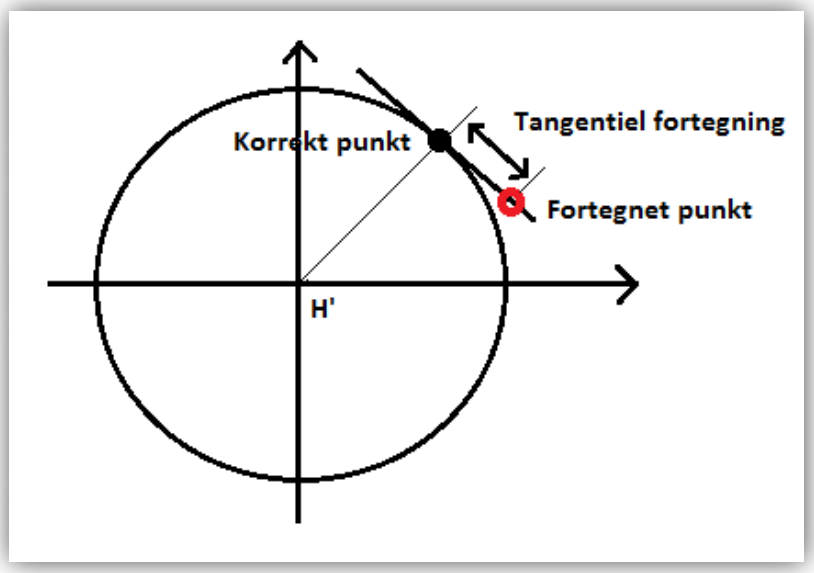
Stråleudjævning

Se mindste kvadraters metode*.

Tangentiel linsefortegning

Denne fortegning opstår, hvis de individuelle linseelementer i objektivet ikke står helt lige eller i center. Bidraget fra denne fortegning er meget mindre end den radiale linsefortegning* og der ses ofte bort fra den. Specielt på dyre objektiver er fejlbidraget minimalt. (Luhmann, 2006 s. 118)

På figur illustreres, hvordan den tangentielle linsefortegning forskyder punktet tangentielt på en radius til punktet.



Figur 8 - Tangentiel linsefortegning

Den tangentielle linsefortegning beregnes i PhotoModeler ud fra følgende formel:

$$\Delta x'_{tan} = P_1\left(r'^2 + 2x'^2\right) + 2P_2x'y'$$

$$\Delta y'_{tan} = P_2\left(r'^2 + 2y'^2\right) + 2P_1x'y'$$

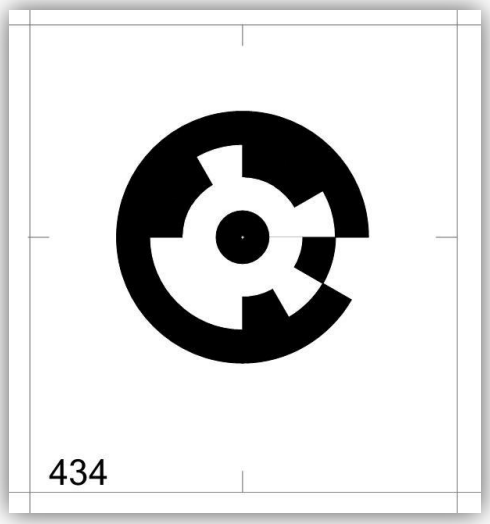
Transformation	Ændring af koordinater fra et referencesystem til et andet. Der findes mange forskellige former for transformation. Konforme transformationer er vinkelbevarende, affine er ikke. Transformationer består af flytninger, drejninger og skalering, der kan kombineres på forskellig vis og navngives forskelligt derefter.
Ydre orientering	Bestemmelse af kameraets ydre parametre. Kan bestemme ved en relativ* og en absolut* orientering. Punkterne der anvendes til den ydre orientering, skal så vidt muligt omkranse det område, der ønskes at arbejde i.

Litteraturliste

Brande-Lavridsen, Ole. 1990. *Fotogrammetri.* Aalborg : s.n., 1990.
Cameratest. 2011. youtube. *Slow motion camera shutter - Canon 5D Mark II 2,000 fps.* [Online] 9. 1 2011. [Citeret: 17. 5 2012.] http://www.youtube.com/watch?v=ptfSW4eW25g.
Cederholm, Peter. 2000. *Udjævning.* 2000.
Eos Systems 1. Tutorial - Multisheet calibration. [Online] [Citeret: 8. 5 2012.] http://www.photomodeler.com/tutorial-vids/media/MultiSheetCalibration/MultiSheetCalibration.html.
Eos Systems 5. How It Works. [Online] [Citeret: 7. 5 2012.] http://www.photomodeler.com/products/scanner/how_it_works.htm.
Eos Systems 6. Knowledge base - How processing (bundle adjustment) finds, or sometimes does not find, a solution. [Online] [Citeret: 11. 5 2012.] http://www.photomodeler.com/kb/entry/102/.
Eos Systems 7. Knowledge base - Are parameter correlation warnings in the Project Status Report after a calibration something that needs further action? [Online] [Citeret: 22. 5 2012.] http://www.photomodeler.com/kb/entry/53/.
Kraus, Karl. 2007. *Photogrammetry - Geometry from Images and Laser Scans.* Vienna : Walter de Gruyter, 2007. ISBN 978-3-11-019007-6.
Luhmann, Thomas. 2006. *Close Range Photogrammetry - Principles, Methods and Applications.* Dunbeath Mains Cottage, Dunbeath, Caithness KW6 6EY, Scotland, UK : Whittles Publishing, 2006.
Mortensen, Majbrit, et al. 2011. *PhotoModeler Scanner- a rival for traditional laser scanning.* Aalborg : s.n., 2011.
Tybjerg tekst & foto 1. ttf Fotoskole Fokus. [Online] [Citeret: 2. 5 2012.] http://www.ttf.dk/Dansk/Foto/ONLINE_FOTOSKOLE/Fokus.aspx.
Tybjerg tekst & foto 2. ttf Fotoskole ISO. [Online] [Citeret: 22. 2 2012.] http://www.ttf.dk/Dansk/Foto/ONLINE_FOTOSKOLE/ISO.aspx.
Tybjerg tekst & foto 3. ttf Fotoskole Lukkertid. [Online] [Citeret: 22. 2 2012.] http://www.ttf.dk/Dansk/Foto/ONLINE_FOTOSKOLE/Lukkertid.aspx.
Tybjerg tekst & foto 4. ttf Fotoskole Ordliste. [Online] [Citeret: 2. 5 2012.] http://www.ttf.dk/Dansk/Foto/ONLINE_FOTOSKOLE/Ordliste.aspx.
Tybjerg tekst & foto 5. ttf Fotoskole Typiske Fejl. [Online] [Citeret: 2. 5 2012.] http://www.ttf.dk/Dansk/Foto/ONLINE_FOTOSKOLE/Typiske_fejl.aspx.
Wikipedia 1. F-number. *Wikipedia F-number.* [Online] [Citeret: 22. 2 2012.] en.wikipedia.org/wiki/F-number.
Wikipedia 2. Lukker. *Wikipedia Lukker.* [Online] [Citeret: 6. 5 2012.] http://da.wikipedia.org/wiki/Lukker.
Wrotniak, Andrzej. Photo - How does your focal plane shutter work? [Online] [Citeret: 17. 5 2012.] http://www.wrotniak.net/photo/tech/fp-shutter.html.

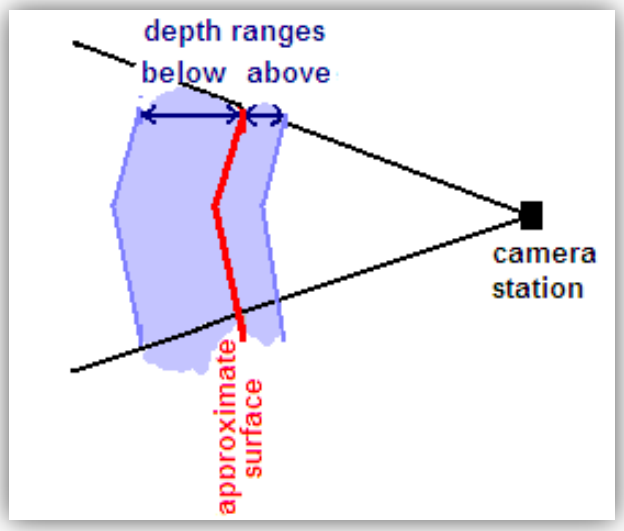
PhotoModeler Scanner ordbog, **

Denne ordbog er udarbejdet for at give et indblik i, hvilke funktioner der findes i programmet og hvad de hedder. Hvis der ved beskrivelser af begreber indgår andre begreber, vil der blive henvist til dem med henholdsvis * for den generelle ordbog og ** for denne ordbog.

Begreb	Beskrivelse
Approximate surface	En grov overflademodel, der angiver, hvor der skal søges efter punkter, når DSM** genereres. Jo tættere denne overflade er på den virkelige, jo mindre kan depth range** sættes til med et vellykket resultat. Det er muligt at definere overfladen ved hjælp af; - Coded targets** - Manuelt refererede punkter - SmartPoints** I (Mortensen, et al., 2011 s. 65) konkluderes det, at approximate surface er meget vigtig, da det er ud fra denne DSM'en laves efterfølgende.
Coded tagets	Referencepunkter til automatisk genkendelse i PhotoModeler Scanner. Dette var den automatiske metode før SmartMatch** metoden blev udviklet. Den yderste ring gør hvert enkelt target unikt, så PhotoModeler Scanner kan identificere det samme target i forskellige billeder. Centerprikken definerer punktet og skal have en diameter på 8-10 pixels i billedet for at PhotoModeler Scanner automatisk kan finde punktet. Tallet og stregerne yderst er til manuel genkendelse, og har ingen betydning for den automatiske registrering af punktet i PhotoModeler Scanner. (Eos Systems 1)  **Figur 1 - Coded target nr. 434**

Depth range

Beskriver det område omkring approximate surface**, hvor der skal søges efter identiske punkter, når DSM** skal genereres. Der kan indstilles forskellige afstande over og under approximate surface illustreret ved Figur 2.



Figur 2 - Depth range og approximate surface illustreret (Mortensen, et al., 2011 s. 57)

DSM

I daglig tale betegnes dette som en punktsky. Forkortelsen står for Dense Surface Model og betegner den overflademodel, der genereres automatisk ud fra et valgt billedpar*. Billed-parret vælges på baggrund af basis-højde forholdet*. For at skabe den bedste model, skal optageakserne tilnærmelsesvist være parallelle, teksturen skal være varierende. Materialer med god, varierende tekstur er; *sten, jord, hud, træ, mursten osv.*(Eos Systems 8) Dårlige overflader er eksempelvis; malede overflader, glas, nylagt asfalt osv.

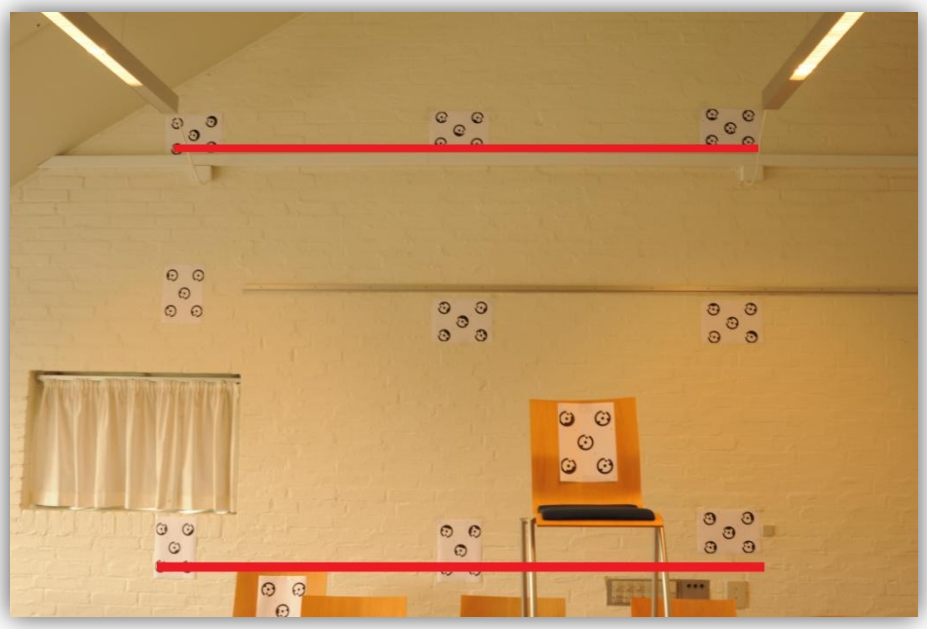
Når modellen fremstilles, kan der indstilles nogle parametre;

- sampling interval**
- sampling interval units: meter osv.
- extents from: trim**/whole photo
- depth range**

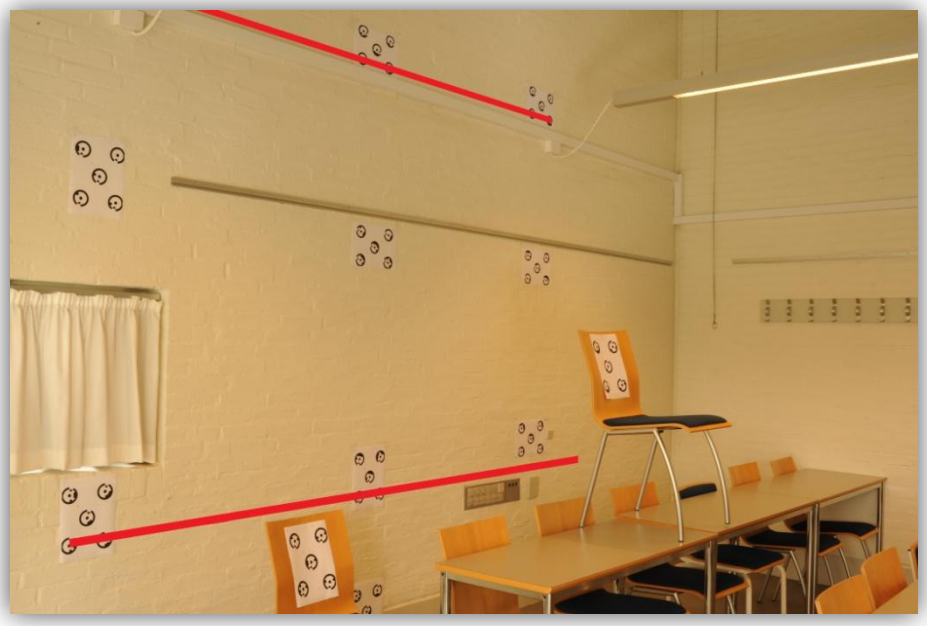
Efterfølgende kan punktskyen modificeres, se punktskysmodificering**.

Når der tages billeder til kalibrering er det vigtigt, at der er perspektiv i billeder, da Photo-Modeler Scanner anvender dette perspektiv til at beregne kamerakonstanten*. Et godt perspektiv kan opnås, når billederne tages skråt på kalibreringsfeltet. Nedenfor er vist to billeder; et uden perspektiv og et skråfoto med perspektiv. De røde streger hjælper til at illustrere, hvordan forskellen i perspektivet er mellem de to billeder.

Perspektiv



Figur 3 - Billede taget lige for - ingen perspektiv



Figur 4 - Skråbillede med perspektiv

Punktsky Se DSM**.

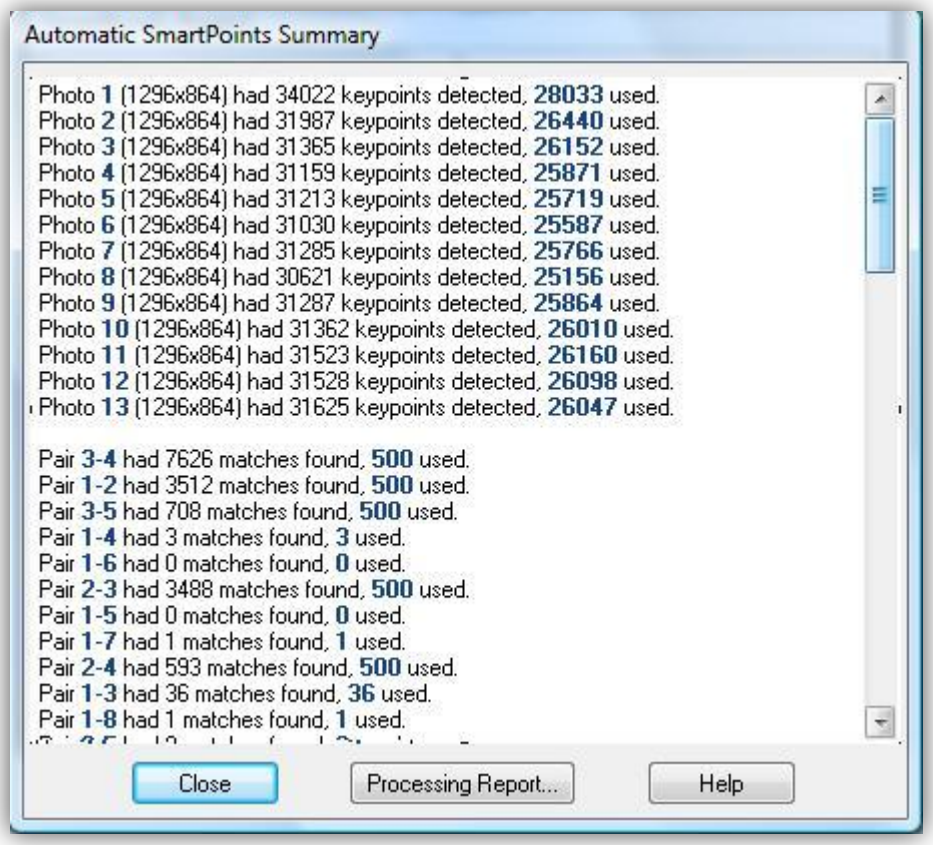
Punktskys-modificring	Der findes en række funktioner i PhotoModeler Scanner til efterbehandling af de genererede punktskyer**. Hvis disse funktioner sammenlignes med funktionerne listet op i (Mortensen, et al., 2011 s. 60-63), er der sket en del ændringer. Nogle af funktionerne er de samme, andre er ændret, nogle er nye og nogle er forsvundet. Derfor beskrives funktionerne på ny i det følgende. De første fem funktioner omhandler 3D punkter, hvorefter de genereres til flader. **1. Register and Merge** Herunder kan det vælges, om de genererede punkskyer kun skal slås sammen til en enkelt, hvilket kaldes Merge only, eller om der også skal reduceres i punkterne, hvor der er overlap, hvilket kaldes Register and Merge. **2. Clean outliers** Fjerner punkter der ligger langt fra resten, og som derfor formentlig er støj. Punkterne der skal fjernes, defineres ved hjælp af to værdier: minimum cluster distance og maximum cluster size. Den første beskriver, hvor langt væk en gruppe skal ligge fra resten af punktskyen, før den slettes. Den anden beskriver, hvor stor en gruppe skal være før den ikke slettes. **3. Clear redundancy** Fjerner punkter der ligger for tæt på hinanden i forhold til en valgt afstand. **4. Smooth points** Glatter punktskyen ud, men det vides ikke hvordan. **5. Point decimation** Fjerner en procentdel af punkterne i punktskyen, men bibeholder faconen på modellen. - **6. Triangulation** Genererer en sammenhængende flade ved at triangulere mellem punkterne i punktskyen. **7. Decimate triangles** Fjerner en procentdel af trekanterne, men bibeholder faconen på modellen. **8. Smooth triangles** Glatter trekanterne ud, men det vides ikke hvordan. **9. Fill holes** Fylder hullerne i trekantsmodellen ud. Dette gøres op til en maksimal størrelse på hullet, der kan indtastes manuelt. **10. Contours** Genererer højdekurver med en valgt ækvidistance i enten X, Y eller Z-retningen.
Sampling interval	Tilnærmelsesvist den afstand, der genereres mellem punkterne i hver punktsky**.

SmartMatch

Metode til automatisk registrering af fællespunkter, SmartPoints**, i billederne. Punkterne dannes som det første i et PhotoModeler Scanner projekt, og benyttes til den relative orientering*.

PhotoModeler Scanner undersøger hvert enkelt billede for naturligt genkendelige punkter. Efterfølgende matcher programmet de fundne punkter i de forskellige billeder med hinanden. Hvis et billedpar har flere fællespunkter end henholdsvis 250 ved lav punkttæthed og 500 ved høj, anvendes kun dette antal punkter. Det er disse punkter, der fremstår i modellen som SmartPoints.

Et eksempel på hvor mange punkter, der findes i hvert billede og hvor mange, der anvendes senere, kan ses på Screendump 1.



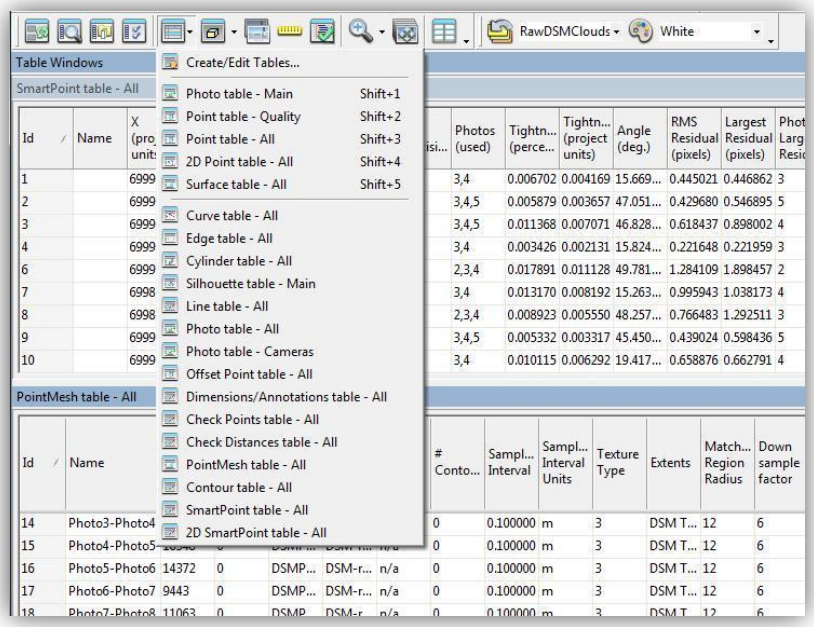
Screendump 1 - SmartPoints ved høj tæthed

SmartPoints

Punkterne der findes ved SmartMatch**. Hvis objektet, der afbildes er godt dækket med SmartPoints, kan disse være modellen i sig selv og en generering af DSM** er overflødig.

Table

Engelsk ord for tabel. I PhotoModeler Scanner findes en række tabeller, hvori der findes informationer om eksempelvis enkelte punkter eller billeder.



Screendump 2 - Eksempler på PhotoModeler Scanner tables

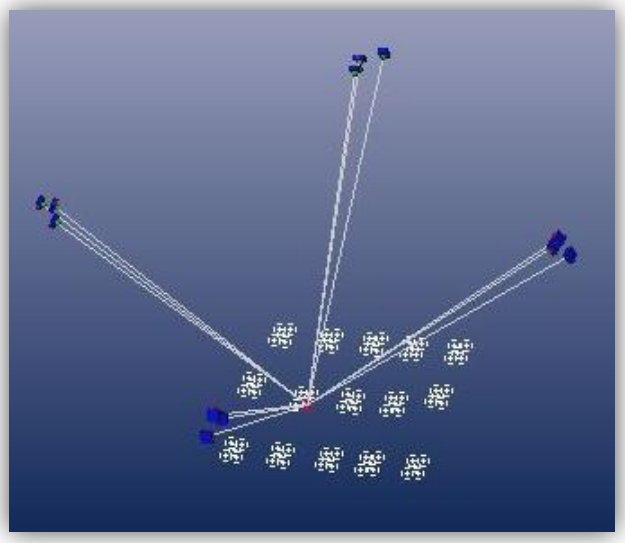
Total error Se a posteriori varians*.

Trim

DSM trim angiver for hvilket område, der skal laves en DSM**. Der spares tid og computer-ressourcer, ved kun at skulle generere punkter for et udvalgt område og ikke for hele billedområdet i de valgte billedpar. Der kan laves flere trim i hvert billede eller trim i nogle billeder, men ikke i andre. Desuden kan det vælges om DSM skal laves inden for eller uden for trim. På Screendump 3 er der vist et eksempel på et trim. I PhotoModeler Scanner angives trimmet med en stiplet linje.

Screendump 3 - Eksempel på trim

I PhotoModeler Scanners terminologi betegnes vinklerne som den vinkel, der er mellem to optagecentre og et punkt. Som det ses på Screendump 4 kan et punkt have mange forskellige vinkler.



Screendump 4 - Stråler fra de forskellige kamerastationer til et observeret punkt

Vinkler

Det gradtal, der fremgår af Point table, se table**, er den maksimale vinkel mellem de kamerastationer, der har optaget det observerede punkt. Et eksempel på disse vinkler kan ses på Screendump 5.

Point table - Quality

st ual	Photos (used)	X Precisi...	Y Precisi...	Z Precisi...	Tightn... (project units)	Angle (deg.)	Use In Proces...	Frozen	Photos (mark...
	1,2,3,6,...	5.1963...	5.4287...	1.4818...	3.3503...	56.102...	yes	no	1,2,3,6,...
	1,2,3,4,...	4.4939...	5.0688...	1.5801...	2.3252...	56.048...	yes	no	1,2,3,4,...
	1,2,3,4,...	4.8012...	5.5655...	1.7263...	2.4562...	55.995...	yes	no	1,2,3,4,...
	1,2,3,4,...	4.7965...	5.3462...	1.6484...	1.4882...	55.967...	yes	no	1,2,3,4,...
	1,2,3,4,...	4.8131...	5.1831...	1.5794...	2.9139...	55.940...	yes	no	1,2,3,4,...
	1,2,3,6,...	5.3333...	5.5184...	1.5000...	3.0194...	55.905...	yes	no	1,2,3,6,...

Screendump 5 - Point table fra PhotoModeler Scanner

Hvis der optræder punkter med en vinkel på mindre end 5°, vil PhotoModeler Scanner give en fejlmeddelelse, hvor der står at punktet muligvis ikke er godt bestemt. Et punkt med dårlige vinkler fremkommer, hvis det kun er blevet observeret fra kamerastationer, der ligger tæt ved hinanden. Eksempelvis hvis et punkt kun er observeret i to billeder, henholdsvis i landskab* og portrætformat* fra samme opstilling.

Ved kalibrering bør alle punkter have en vinkel på ca. 90°. Denne vinkel kan opnås ved at have tilstrækkeligt perspektiv** i billederne.

Litteraturliste

Eos Systems 1. Tutorial - Multisheet calibration. [Online] [Citeret: 8. 5 2012.] http://www.photomodeler.com/tutorial-vids/media/MultiSheetCalibration/MultiSheetCalibration.html.

Eos Systems 8. PhotoModeler Scanner How It Works. [Online] [Citeret: 30. 5 2012.] http://www.photomodeler.com/products/scanner/how_it_works.htm.

Mortensen, Majbrit, et al. 2011. *PhotoModeler Scanner- a rival for traditional laser scanning.* Aalborg : s.n., 2011.