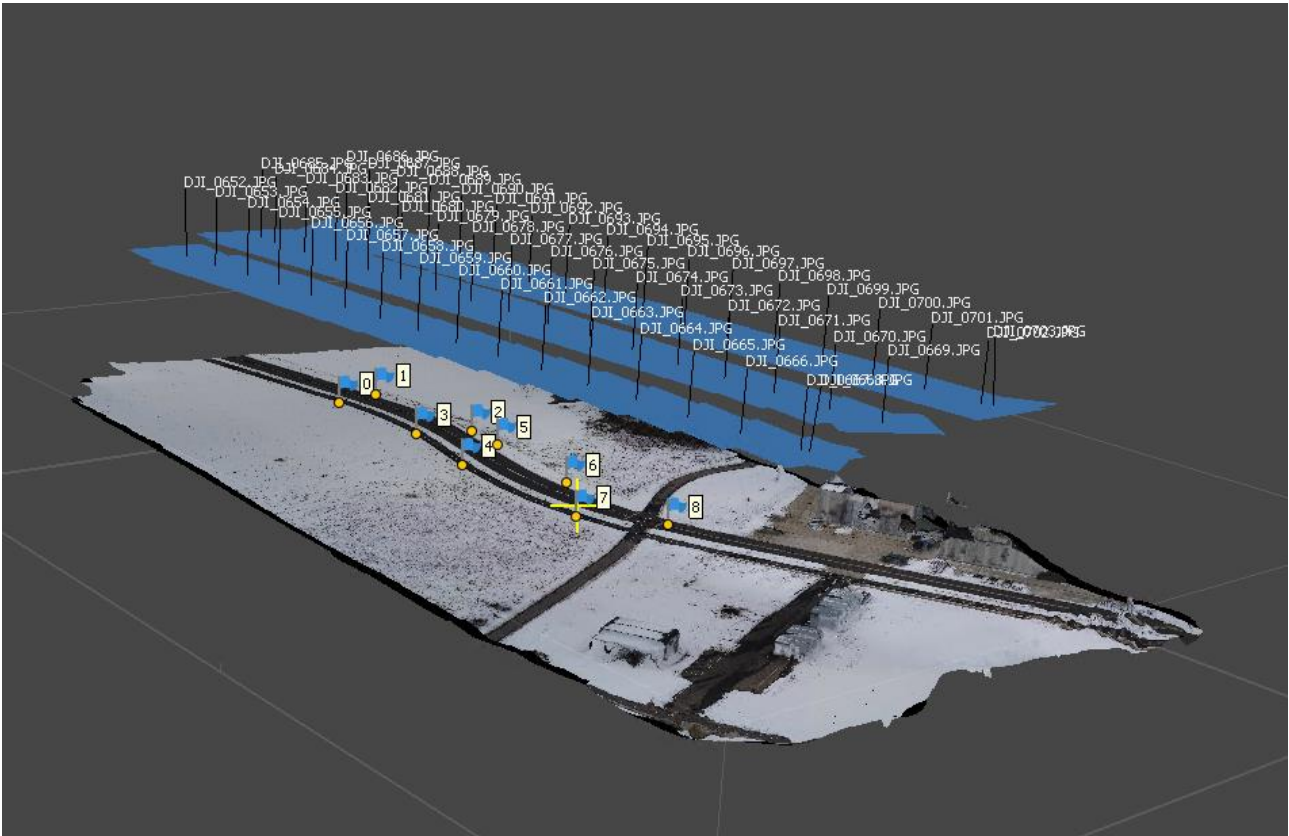


Kortlægning ved hjælp af fotogrammetri med dronebilleder.

Af Ronni Fjordvald Søe og Martin Kauffmann Pedersen



Indholdsfortegnelse

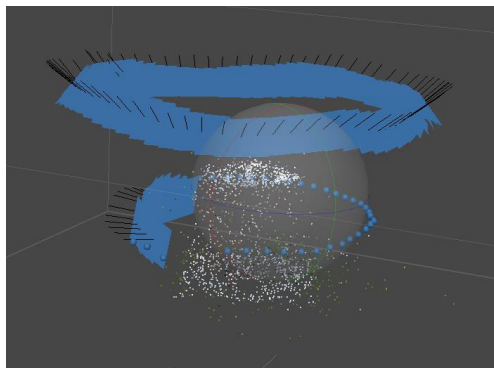
Forberedelse og flyvning	3
3D model	3
Konkret flyvning.....	4
Ortofoto og DSM	4
Overlap	4
GSD - Ground Sampling Distance	5
Valg af flyveretning og kameravinkel	7
Georeference og brug af paspunkter (GCP - Ground Control Points)	7
Billedkvalitet og retningslinjer	9
Kameratype og linse	9
Billedformat	9
Kameraets optageindstillinger	9
Praktisk eksempel I Drone Deploy.....	11
Brug af Agisoft Metashape	15
Brugergænseflade	15
Import af data – billeder og paspunktkoordinator	15
Behandling af billeder	20
Billede Alignment	20
Byg fortættet punktsky.....	21
Byg et Mesh	22
Byg teksture	23
Korriger ortofoto med paspunkter	24
Eksport af produkter.....	27
Byg en DEM	27
Byg et Ortofoto	28
Eksporter modellerne	29
Byg tiled model til Arcgis Pro.....	30
Eksporter en 3D model	31
Del en 3D model	32
Aktiv brug af Agisoft Metashape i flyveplanlægning.....	32
Referencer	36

Forberedelse og flyvning

Forberedelsen af en flyvning, hvor produktet skal bruges til fotogrammetri, dikteres af det ønskede produkt. Flyvmønstrene der bruges til ortomosaik (ortofoto) og 3D model er meget forskellige skønt formålet er det samme; at skabe en serie af billeder som er velegnet til sammenfletning. Følgende vil beskrive nogle af de overvejelser som indgår i flyvningerne.

3D model

3D modeller har mange anvendelsesmuligheder. Fra brug ved korrektion af ortofoto til modellering af bygninger og byrum samt som fundament for volumenberegninger af eksempelvis regnvandsbassiner og råstoflagere. Her beskrives kort den proces som efterbehandlingssoftwaren Agisoft Metashape (AP) anvender for at genererer en 3D model. Det gøres fordi det er samme proces der sker uanset om det ønskede produkt er et ortofoto, DHM (Digital Højdemodel) eller en 3D model. Samme fremgangsmåde benyttes af andre efterbehandlingsprogrammer. Det understøtter også vigtigheden af at de billeder som tages fra dronen bliver gode og har et tilstrækkeligt overlap.



Figur 1 Viser to cirkulære flyvninger omkring tårnet på Ejer bavnøhøj.

Agisoft Metashape laver som det første trin en automatisk justering af billederne ved at finde systemer af ens kendetegn i billederne ligesom også billedernes position og den bevægelse der sker herimellem registreres. På den baggrund laves en spredt punktsky og de brugbare billeder angives samt deres interne parametre (orientering o.a.) De enkelte punkter i punktskyen har en X,Y og Z placering i et 3D rum samt en farveregistrering. Jo skarpere billederne er samt jo mere overlap der er mellem billederne giver flere anvendelige punkter i modellen og dermed en bedre model. På baggrund af den spredte punktsky kan der godt laves et ortofoto eller 3D model men resultatet bliver ikke særlig detaljeret og kan bedst bruges som en forhåndsvisning for et endelige projekt. Ud fra den spredte punktsky er det muligt at skabe en fortættet punktsky. Punkterne her har samme information som i den spredte men punkttætheden er langt højere og mere præcise modeller kræver en fortættet punktsky. Med denne punktsky som udgangspunkt forbindes punkter i et netværk som skaber en model med overflade. Afslutningsvis får modellens overflader en tekstur som matcher de billeder der dækker området.

En 3D model kan genereres både ved hjælp af lod billeder og skråfoto. Hvis det ønskede produkt er en 3D model er det særligt vigtig at få skråfotos således der kommer informationer om de områder som eventuelt er dækket af et udhæng. Det er også med til at give den endelige model den korrekte form og udtryk. En kombination af både lod og skråfotos vil give et godt resultat og flere apps herunder Pix4D capture har en funktion som kombiner de to flyveformer i en flyvning. Hvis det ønskede produkt derimod er et ortofoto eller DHM kan lod fotos alene bruges da funktionen af den 3D model der genereres er at lave en ortokorrektion af det endelige produkt. (Greenwood, 2015)

Konkret flyvning

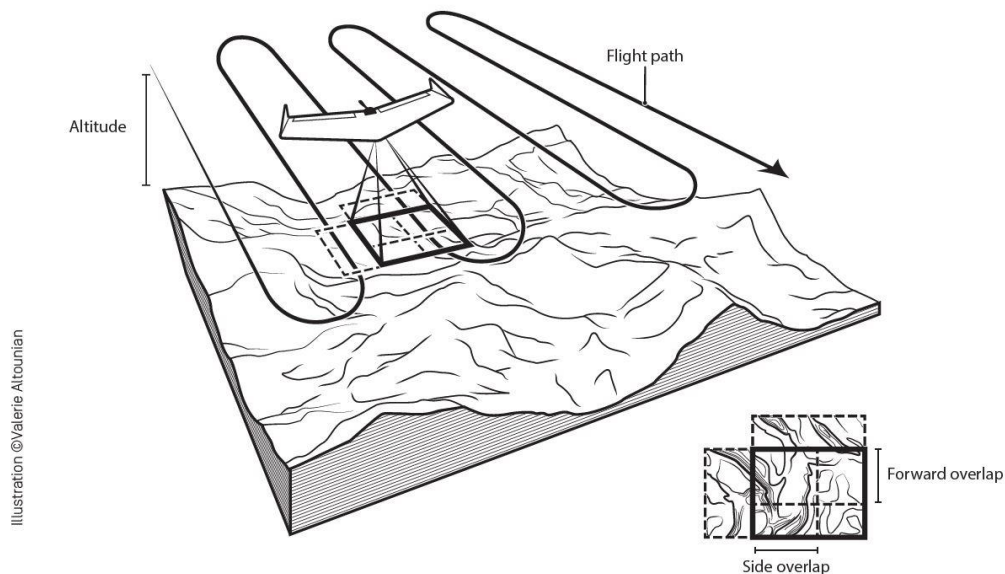
En konkret flyvning kan gribes an således. For at skabe kontekst i det endelige produkt og særligt for at lette den proces der skal ske i efterbehandlingsprogrammet kan den første del af flyvningen være en traditionel kortlægningsflyvning som bruges ved ortofoto. Efterfølgende flyves en serie af cirkler omkring den bygning eller objekt som skal 3D modelleres, se Figur 1. Til forskel fra kortlægningsflyvningen ændres kameraets vinkel fra lod til ca. 45 grader. For hver cirkel øges flyvehøjden så hele objektet dækkes. Vær opmærksom på om der er tilstrækkeligt overlap mellem billederne og øge eventuel billedfrekvensen. Jo mere overlap der er mellem billederne jo bedre bliver modellen. Vær særlig opmærksom på om der er områder som ligger skjult og dermed ikke beskrives af billederne. Afslut med at flyve i en cirkel om objektet med større afstand en hidtil således at hele objektet er synlig i billederne. Forsøg at undgå at få for meget himmel med i billederne da det ikke bidrager til efterbehandlingen og blot forvirrer algoritmerne. Disse cirkulære flyvninger kan være svære at lave manuelt men flyve apps som DJI GO 4 o.a. giver mulighed for en vis automatisering og flyvehøjden kan ændres under vejs. (Greenwood, 2015), (Drone Deploy, 2018)

Ortofoto og DSM

Hvad end flyvningens formål er at lave billeder til ortofoto eller en 3D model er en forståelse for den efterfølgende sammensætning af billederne vigtig for at kunne leverer de bedste billeder. Hvert billede som tages undervejs indeholder objekter som træer, bygninger og andet der klart adskiller sig fra sine omgivelser. Under flyvningen fotograferes objektet fra flere forskellige vinkler, hvilket gør den efterfølgende sammensmeltning mulig. I fotogrammetriprocessen laves et fotomatch hvor det samme objekt identificeres i de billeder hvor af det fremgår. Billederne lægges på en måde oven på hinanden og deres indbyrdes placering afgøres. For at dette kan lade sig gøre kræver det tilstrækkelig overlap til at den matematiske proces kan afgøre et match. (Greenwood, 2015) (Lillesand, Kiefer, & Chipman, 2014)

Overlap

For at sikre tilstrækkelig overlap, både sideværts og særlige fremad, kræves en systematiseret flyvning. Dette kan gøres manuelt, men det nemmeste er ved at bruge en app til automatiseret flyvning. Det kan være Pix4D Capture, Drone Deploy, PrecisionFlight for blot at nævne nogle få og gode. Uanset om man bruger en app eller ej er flyveprofilen den samme; en serie af transekter over det ønskede område. Se Figur 2. Langs disse transekter tages billeder med et givent interval. Intervallet kan være defineret enten af punkter som får kameraet til at tage et billede når dronen flyver gennem det, eller af et bestemt tidsinterval bestemt på forhånd (timelaps funktion). Det er, det ønskede overlap i længde og sideretning som afgør tætheden af transekter og optagepunkter (eller hastigheden af timelaps). Det er ved at justerer disse to faktorer, gennem dronens flyvehøjde, at appen bestemmer overlappet. Se Figur 2. (Greenwood, 2015)



Figur 2 Viser konceptet i transekter og overlap. (Greenwood, 2015)

GSD - Ground Sampling Distance

Et vigtigt begreb i Remote Sensing herunder kortlægning med droner er Ground Sampling Distance. Begrebet dækker over hvor stor en afstand på jordoverfladen én pixel dækker. En viden omkring dette er vigtig i forhold til planlægning en flyvning samt forståelsen for begrænsninger i dels kameraet og de automatiserede flyve apps.

Planlægnings appen bruger for eksempel GSD til at udregner tætheden af optagepunkter. Det gøres ved at kende området som dækkes af et foto på jordoverfladen. Hvilket kaldes et 'footprint' og afgøres af kameraets brændvidde, størrelsen af kameraets billedsensor (CCD el, CMOS) og flyvehøjden. Disse parametre kan bruges sammen i formlen (Lillesand, Kiefer, & Chipman, 2014):

$$GSD = \frac{H' p_d}{f}$$

Hvor:

GSD	'Ground sampling distance' dvs. Sidelængden af en pixel målt på jordoverfladen.
H'	Flyvehøjden over jordoverfladen.
p_d	Den fysiske pixelstørrelse på billedsensorens overflade.
f	Linsens brændvidden.

Formlen som den står ovenfor kan bruges til at udregne celledørrelsen i det billede som dronen tager i en given højde. Hvis vi bruger formlen i forhold til kameraet som sidder på en DJI Phantom 4 Pro (20mp) i en situation hvor vi flyver i 50 m højde vil ligningen se således ud.

Her er det vigtigt at alle målene er ensartet og her er det nemmest at regne i millimeter. H' er derfor 50000mm, f for et phantom 4 pro kamera er 9 mm. p_d er 0,002412mm. p_d findes ved at kende sensor størrelsen, som for et PH4Pro kamera er 1" hvilket vil sige 13,2mm x 8,8mm (bredde x højde). Billedet som

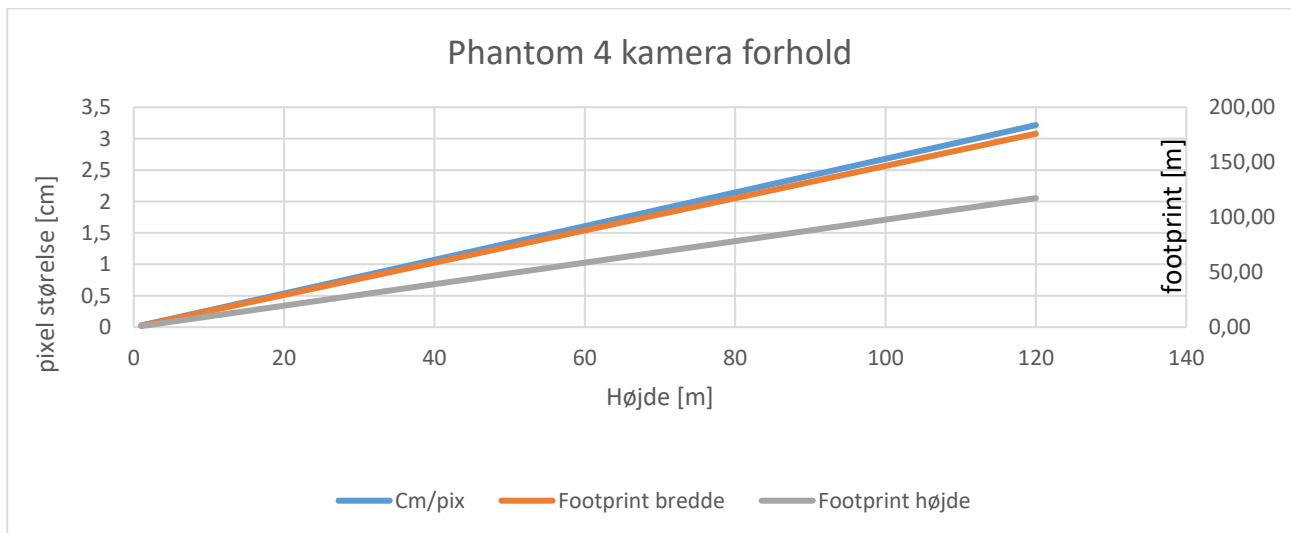
kameraet tager er 5472 pixel bred og 3648 pixel høj, Hvorfor en pixel er $13,2 \text{ mm} / 5472 \text{ pixel} = 0,002412 \text{ mm/pixel}$.

$$GSD \approx \frac{50000 \text{ mm} \times 0,002412 \text{ mm}}{9 \text{ mm}} \approx 13 \text{ mm} \approx 1,3 \text{ cm}$$

Ved at gange 13 mm med 5472 pixel, som er billedbredden, fås at et billede taget i 50 m højde dækker et område på 73m i bredden og 48m i højden. Se Figur 3 X - akser angiver dronens flyvehøjde. Y-aksen i venstre side viser den resulterende GSD. Y-aksen i højre side viser footprint i meter. Den blå linje angiver GSD i [cm/pix], den orange og grå viser henholdsvis footprintets bredde og højde..

En konsekvens af dette er at appen kan nægte at lave en flyvning som ikke overholder begrænsningerne i ovenstående. Dette kan f.eks. ske i en situation hvor man ønsker meget detaljerede billeder af en eng som skal kunne bruges af biologer til artsbestemmelse af engvegetation. I den situation vil man flyve lavt for eksempel 10m over jorden. Da man vil have et ortofoto ønsker man et overlap på 80% i begge retninger. For at opnå det bliver dronen nødt til at sænke farten og man kommer ned og rammer nogle nedre begrænsninger for hvor langsomt dronen kan flyve under en mission i forhold til at nå området igennem samt at kunne differentiere mellem to optage punkter samt hvor mange billeder der kan være på SD-kortet.

En anden begrænsning som kobler sig til afstanden mellem optagepunkter er SD-kortets skrivehastighed. Hvis dronen flyver gennem et optagepunkt før de forrige billede er færdig med at blive gemt kan der ikke tages et nyt og der kan blive huller i billeddækningen. Normalt er dette ikke et problem, men hvis man flyver i kraftig vind direkte bagfra kan dronen blive skubbet fremad hurtigere end planlagt og således ikke være klar til at tage billedet. Det kan på den baggrund anbefales at men, ved flyvning i stærk vind, flyver med vinden fra siden således at dronen kan læne sig mod vinden. Dette er måske særlig vigtig ved fastvinge droner og ældre droner, men værd at have en mente anset hvilken drone man flyver. (Greenwood, 2015)



Figur 3 X - akser angiver dronens flyvehøjde. Y-aksen i venstre side viser den resulterende GSD. Y-aksen i højre side viser footprint i meter. Den blå linje angiver GSD i [cm/pix], den orange og grå viser henholdsvis footprintets bredde og højde.

En anden anvendelse af GSD er som guide for fastlæggelse af optimal flyvehøjde. Den flyvehøjde som vælges til en flyvning er en afvejning af hvor mange detaljer der kommer med samt hvor lang tid missionen tager. Hvis man ønsker billeder hvor et konkret landskabselement er synlig kan grafen, Figur 3 være med til at

identificer en øvre grænse for flyvehøjden. Eksempelvis ønsker vi at lave en flyvning hvor formålet er at registrerer stubbe på en majsmark. Vi ved at stubbene har en diameter på 1 cm. Det giver således ingen mening at flyve højre end at dette kan honoreres. Hvis man skal skelne mellem små objekter skal disse ligeledes være adskilt af et par pixels for at man med sikkerhed kan skelne to objekter fra hinanden. Dette er også vær at have en mente når man lave billeder af hustage da pixelstørrelsen udregnes ud fra flyvehøjden over startstedet og ikke højden over det hus man overflyver.

Valg af flyveretning og kameravinkel

I appen kan flyveretningen defineres og linjerne i det område man flyver ændres dynamisk og man kan se på tidsangivelsen at nogle retninger giver lang flyvetid og andre en kortere. Hvis vi ser bort fra vinden som indflydelse på valget, vil en kortere tid ofte være at fortrække. I nogle tilfælde kan man øge billedernes anvendelighed i forhold til efterbehandling, ved at flyve det samme område i gennem to gange men i forskellige højder. Hermed øger man chancerne for at programmet man bruger til at skabe ortofoto får match mellem billederne. Dette er særligt anvendeligt hvis kortlægningsområdet indeholder høje objekter. En anden metode til at øge sandsynligheden for et fotomatch er ved at lave to flyveruter for området som ligger vinkel på hinanden således får man alle områder fra fire vinkler i stedet for to.

Hvis den kortlægning man ønsker lavet er af et vandløb eller stiforløb, kan den form som bedst dækker det ønskede område blive en kringlet mangelkant. Og man skal her være opmærksom på at få tilstrækkelig overlap især i sideretningen. Dette kan sikres ved at dreje flyveretningen således at alle områder dækkes af flere transekter.

Den normale kameravinkel er lod – 90 grader. Det kan dog i nogle situationer være fordelagtigt at vælge en lavere kameravinkel for at få mere kontekst med i billederne således der at sandsynligheden for et fotomatch øges. Dette kan være særlig anvendelig i områder hvor overfladen er meget ensartet som en vandoverlade eller en græsmark.

Georeference og brug af paspunkter (GCP - Ground Control Points)

Formålet med at lave et georefereret produkt er at kunne skabe et ortofoto eller DSM som man kan måle i. De fleste nyere droner laver billeder som indeholder oplysninger om position i optageøjeblikket. Disse informationer hentes ofte automatisk ind i det program som bruges til at lave ortofotos osv. Den absolutte præcisionen af disse positioner er ofte ikke bedre end +/- 10m. Det giver samlet set et lidt upålideligt kort som behøver korrektion hvis det skal anvendes i et GIS. Det er også informationer som bør videregives til brugeren af kortet således de kan tage de rette forbehold i deres tolkning. De fleste efterbehandlingsprogrammer kan genererer en rapport som viser informationerne. Særligt er den vertikale placering af kortet (DSM) meget unøjagtig. Det skyldes at, for DJI droner, det datum som dronen registrerer z koordinatet i forhold til er WGS84 som er et globalt datum og således ikke specielt præcist på en konkret position i Danmark. Den GNSS (global navigation satellite system) position som kommer med billederne er dog tilstrækkelig god til at efterbehandlingsprogrammet kan placere billederne i forhold til hinanden og således lette et fotomatch og placering af billedinformationerne. (Greenwood, 2015) (Hackney & Clayton, 2015)

For at øge præcisionen af georeferencen kan man få mere nøjagtige GNSS enheder til dronen. Det kan eksempelvis være en RTK (Real Time Kinematic) GPS giver en placering på centimeter-niveau ved at måle på faser i det microbølge signal som GNSS satellitten udsender. Denne teknologi er dog forholdsvis dyr og koster for eksempel 40000DKK ekstra til en matrice 600 (marts 2018). Her til kommer at RTK systemet sidder på dronen og kan ikke på en nem måde bruges af andre droner.

For alligevel at opnå kortprodukter af høj geometrisk præcision kan man anvende paspunkter. Et paspunkt er et objekt, eksempelvis en hvid plade med et sort kryds, som er let erkendelig i dronebillederne. Se Figur 4.



Figur 4 viser et ortofoto hvor et paspunkt er fremhævet.

Paspunkterne placeres i kortlægningsområdet før flyvningen og deres præcise position noteres. Efterfølgende kan man, i efterbehandlingsprogrammet, koble den præcise position med et konkret punkt i billederne. Størrelsen af paspunkterne afgøres af GSD, se GSD - Ground Sampling Distance, side 2. Det præcise målepunkt skal kunne erkendes på billederne for at opnå den bedste nøjagtighed. (Hackney & Clayton, 2015) (Greenwood, 2015) Paspunkterne skal placeres jævnt ud over det område der skal kortlægges. Det er vigtigt at undgå at paspunkterne klynges sammen i dele af området. Man skal særlig være opmærksom på at have en række punkter langs områdets kanter. Dette skyldes at efterbehandlingsprogrammet kan skabe et fænomen kaldet linse wrap eller doming. (Hackney & Clayton, 2015) Kortet man får ud af det vil være buet og z værdierne ubrugelige. Effekten er særlig udtalt i kortets rand hvorfor det er vigtigt med paspunkter her. Antallet af paspunkter som skal anvendes afhænger af formålet med produktet. Ønsker man et oversigtskort som kan anvendes som baggrundskort i et GIS kan man nøjes med et lille antal dog sjældent færre end seks paspunkter. Hvis man ønsker et produkt med hvor selv små højdeforskelle og topografiske detaljer skal opfanges er et mere omfattende netværk af paspunkter nødvendig. (Hackney & Clayton, 2015) En god analogi for konceptet paspunkter og deres placering er at forstille sig en sammenrullet plakat som rettes ud og skal fastgøres på et underlag med knappenåle. Jo flere nåle der bruges jo bedre ligger plakaten på overfladen og

hvis man udelader at sætte nåle i kanterne krøller siderne op. (Greenwood, 2015) Et alternativ til at udlægge paspunkter kan være at bruge eksisterende punkter i terrænet som kan erkendes på billederne efterfølgende. (Greenwood, 2015) Det kan eksempelvis være hjørnet af et nedløbsrist eller hjørnet af afstribning på en vejbane. Punkterne skal være synlige fra alle retninger så punkter som dækkes fra en retning af eksempelvis græs kan ikke anvendes. Den præcise position af paspunkterne kan fastslås med en differentiell GPS (dGPS). Hvis det ikke er muligt at opmåle paspunktet med en dGPS kan en løsning være at udpege særlige kendetegn i landskabet på eksisterende ortofoto og opmåle deres XY position i GIS samt deres z position på en eksisterende DTM (Digital Terrain Model). (Greenwood, 2015)

Billedkvalitet og retningslinjer

En række ting kan gøre at billedkvaliteten ikke er tilstrækkelig til brug for efterbehandling. Nogle af disse nævnes her samt forslag til løsninger. Nedenstående er baseret på materiale fra (Drone Deploy, 2018) og (Agisoft LLC, 2019).

Uskarpe billeder kan gøre at efterbehandlingsprogrammet ikke kan erkende paspunkter og andre nøglepunkter i billedet. Her er det vigtigt at autofokus er slået til og at linsen er fri for støv og andet der kan hindre fokus.

Som dronepilot er der en række forhold omkring dataindsamling som bør tages med i forberedelsen af en opgave. Disse forhold kan øge billedkvaliteten og dermed chancen for succes.

Kameratype og linse

Det kamera som anvendes bør ikke anvende et vidvinkel, som det for eksempel er tilfældet med et GoPro kamera. Årsagen er den at algoritmen som blandt andet Agisoft metashape anvender til korrektion af linseforvrængning fungerer dårligt på denne type linser. Det mest optimale er en brændvidde på 50mm. Hvis kameraet har mulighed for zoom, som eksempelvis DJI Mavic 2 Zoom tilbyder, bør zoom indstillingen være den samme under hele flyvningen og enten på det maksimal eller det minimal zoomniveau.

Billedformat

De billeder der tages bør være af højest mulig kvalitet. Det betyder at kameraet skal indstilles på den højeste opløsning samt bruge det billedformat som giver mindst billedstøj. I de fleste tilfælde bør kameraet optage i RAW format og billederne bør herefter konverteres til TIFF inden de importeres i efterbehandlingsprogrammet. Billederne bør ikke manipuleres inden de importeres i efterbehandlingsprogrammet. Det betyder at billederne ikke bør gøres lysere, mørkere eller skarpere i et billedbehandlingsprogram.

Kameraets optageindstillinger

Kameraets ISO bør sættes til den lavest mulige værdi for på den måde at undgå støj i billederne. Herudover bør blænden være stor nok til at give billedet dybde og skarphed. Lukketiden er en tredje parameter som er vigtig for skarpe billeder. Er lukketiden for langsom introduceres bevægelsessløring. Dette kan skabes af turbolens hvis der flyves i kraftig vind, stor flyvehastighed eller de vibrationer som dronen laver under flyvningen. Alt efter årsagen kan man forsøge at flyve langsommere eller at flyve højere.

Motiv

Motivets beskaffenhed har ligeledes betydning for sandsynligheden for en succesfuld efterbehandling. Det bør således undgås at motivet har en ensartet overflade. Dette kan for eksempel være en hvis pudset mur på et hus eller en græsmark. I så fald kan man forsøge at vinkle kameraet således at billedet kommer

til at indeholde omgivelser med tekstur som giver bedre muligheder for anvendelse. Derudover kan overflader som reflekterer omgivelserne eller er gennemsigtige gøre det meget svært for algoritmen at lave en korrekt model. Det kan eksempelvis være vinduer og vandoverflader. Herudover kan objekter i bevægelse gøre at billederne ikke kan bruges i modelleringen.

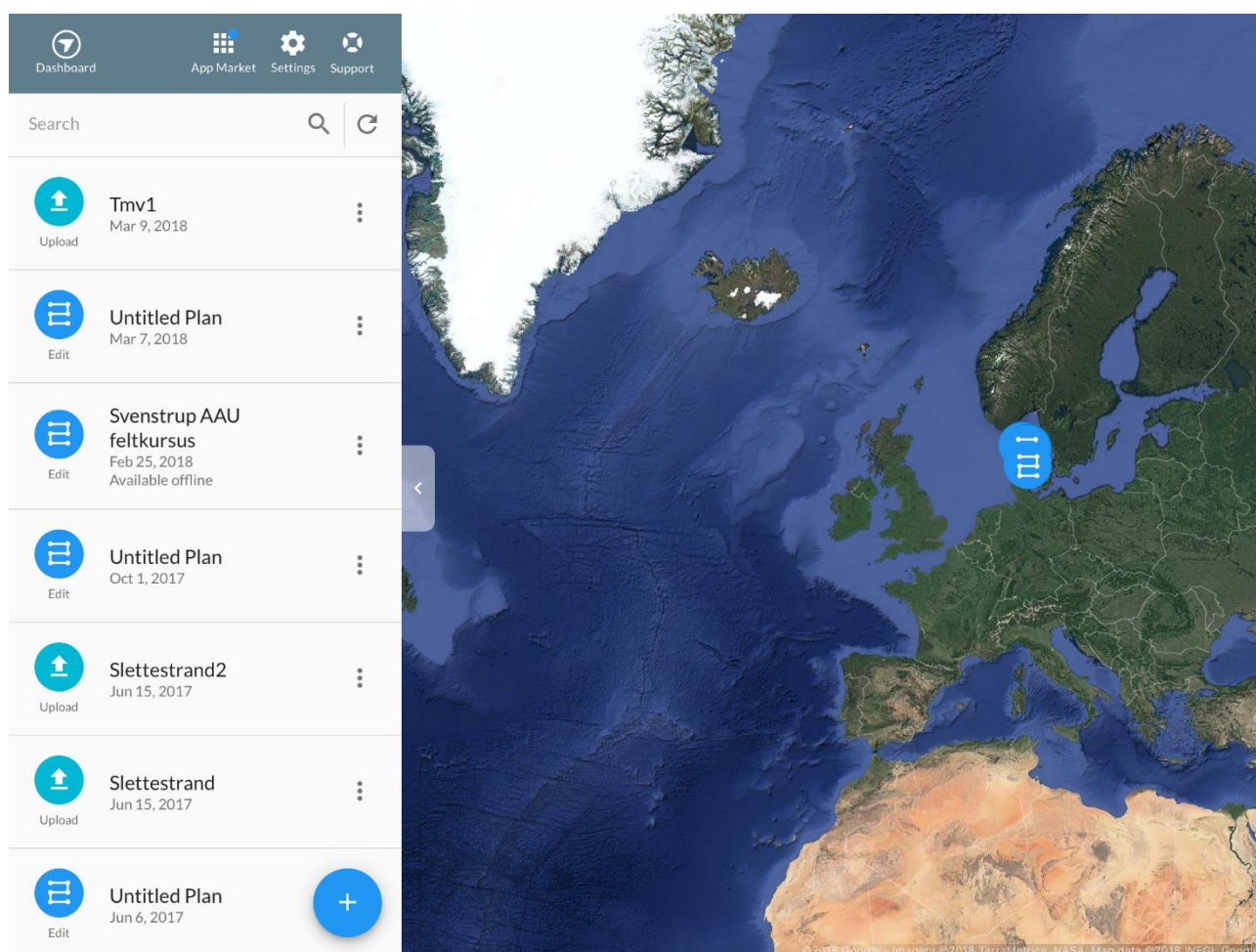
Objekter i forgrunden som ikke er relevante for modellen bør også undgås, motivet bør i det hele taget fylde mest i billedet selv om det ikke er nødvendigt at have hele motivet i billedet på en gang, bare de manglende områder er dækket af andre billeder. Blinde vinkler gør det umuligt for efterbehandlingsprogrammet at lave en korrekt model for de usynlige områder. Alle områder af modellen skal, for at kunne modelleres, kunne ses på mindst to billeder. For mange billeder er bedre end for få, man kan altid sortere nogle fra.

Belysning af motivet er af betydning for billedernes kvalitet. En god belysning giver skarpe billeder, men man bør ikke bruge blitz for at kompensere for et dårligt lys. Kraftigt sollys giver dybe skygger uden billedinformation og kan gøre det meget svært at modellere disse områder. Det samme er tilfældet med overbelyste områder. Det mest optimale er derfor at optage billederne når der er let overskyet. Det gør samtidig at områder med skindende overflader bedre modelleres. Situationer hvor drivende skyer kaster skygger på dele af scenen, skygger som ikke er stationære bør undgås da erfaring viser at det resulterer i dele af terrænet, som er helt eller delvist forskudt eller løftet. Det ønskede produkt har dog indflydelse på hvad der kan lade sig gøre. Således kan ortofoto og DSM produkter godt laves på baggrund af billeder taget på dage hvor der er helt skyfrit. Vær dog opmærksom på hvor skyggerne er og om områder af særlig interesse ligger i disse. Fly ligeledes på et tidspunkt hvor solen står højt på himlen så skyggerne er mindst mulige. Hvis produktet er 3D modeller af bygninger og lignende er det særlig vigtigt med en ensartet belysning, jævnfør ovenstående.

Praktisk eksempel I Drone Deploy

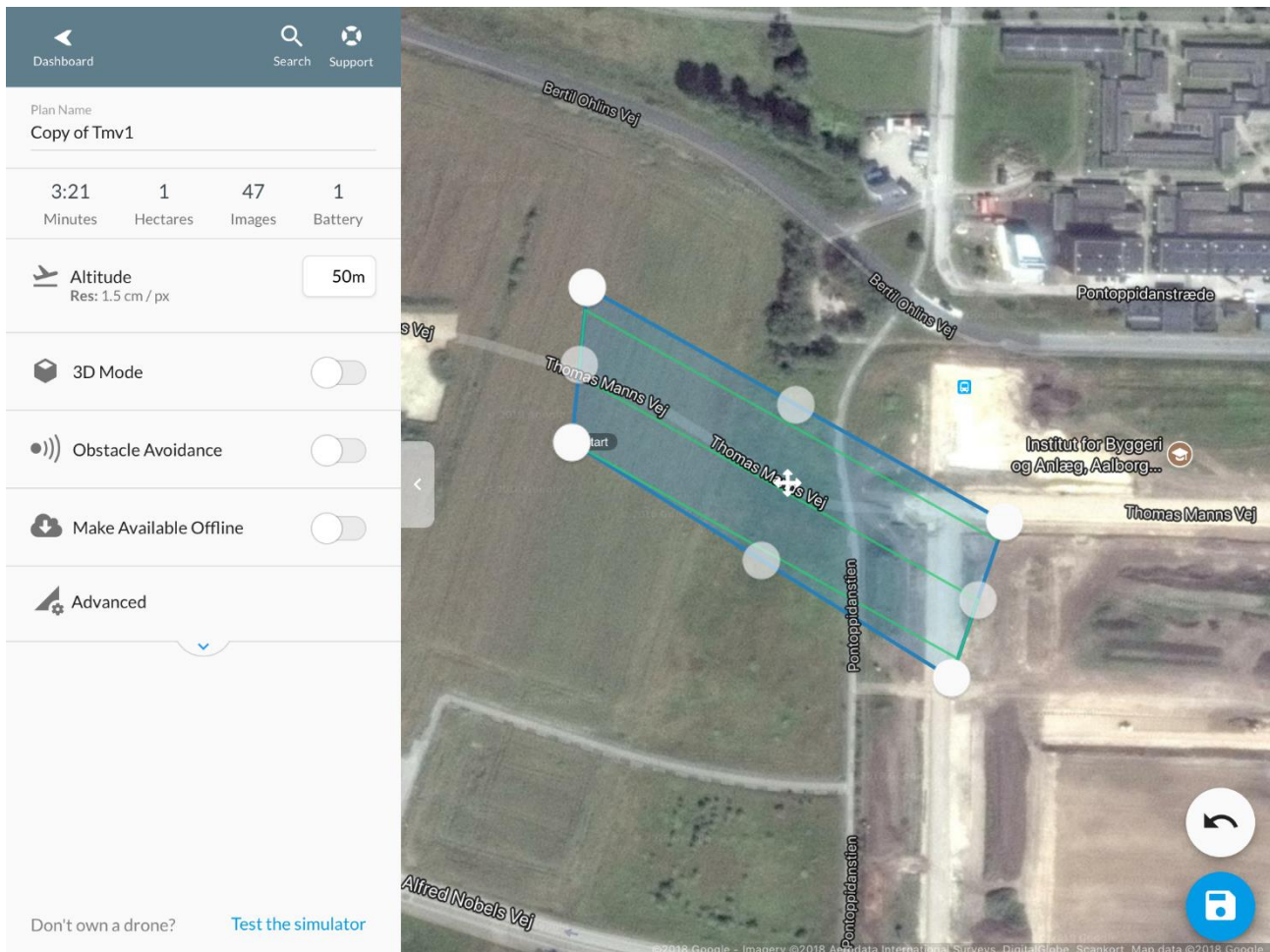
Der er mange apps som kan bruges til at styre drone automatisk under en kortlægnings flyvning. Som eksempler kan nævnes Pix4DCapture, DJI GS Pro, PrecisionFlight og Drone Deploy. Fælles for dem alle er at de virker godt sammen med DJI og kan nogenlunde det samme, de har blot forskellige brugergrænseflader og forskellige muligheder for upload til sky-services. De er dog alle meget simple at bruge og her vil være et kort eksempel på en flyvning i Aalborg hvor appen Drone Deploy er brugt.

På kontoret åbnes Drone Deploy som vist på Figur 5. opret et nyt projekt ved at trykke på plusset nederst i listen til venstre. Vælg 'Plan a flight'. Den nye flyvning tager udgangspunkt i den øjeblikkelige position. Find det konkrete sted og tryk på knappen 'Plan Here' øverst i skærmen og flyvningen vil centreres her.



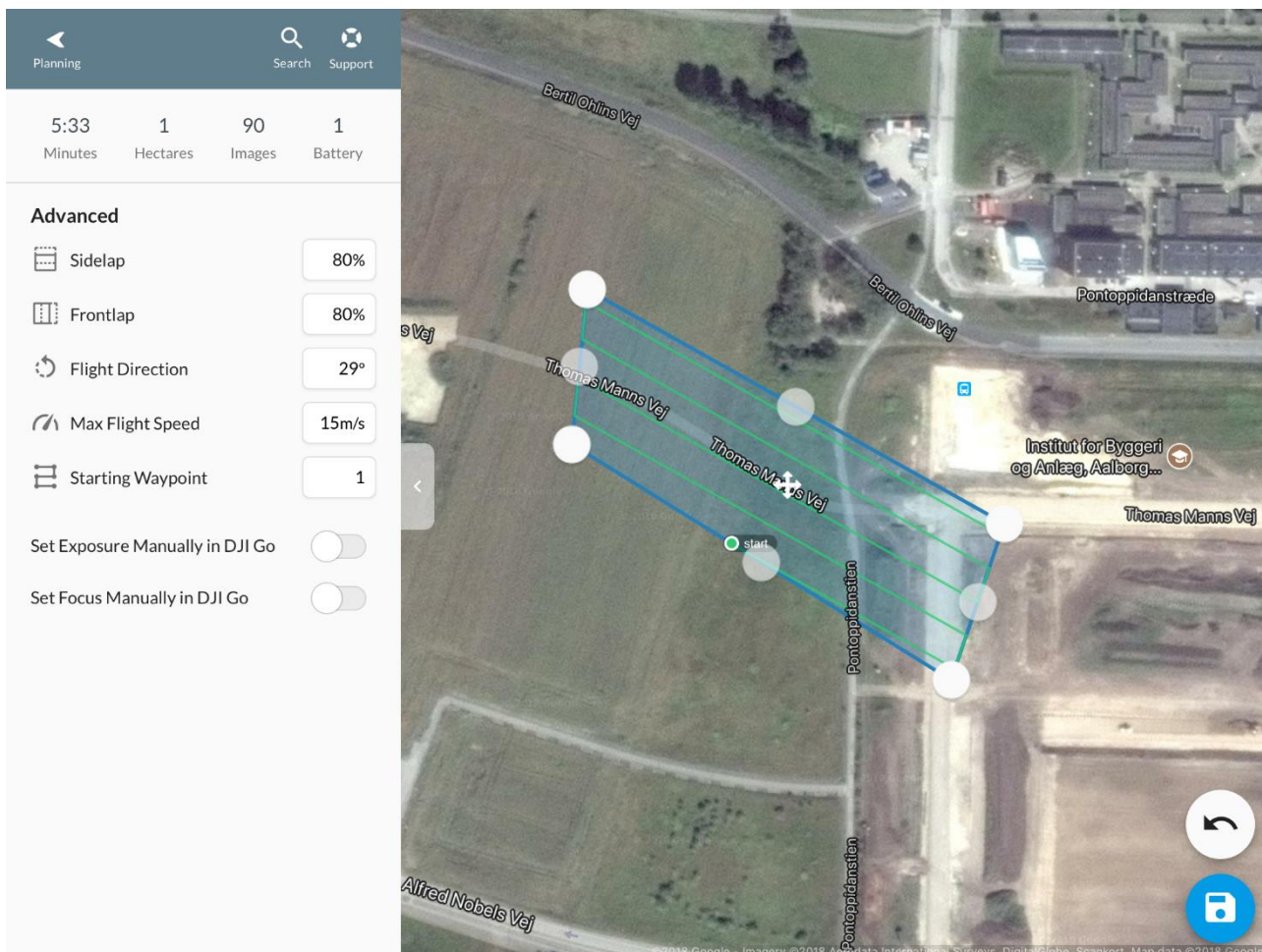
Figur 5 Viser startskærmen for Drone Deploy. Læg mærke til plus-ikonet nederst i listen. Her oprettes en ny flyvning.

Når det konkrete område er fundet skifter listen til venstre karakter og viser nu en række oplysninger og muligheder, se Figur 6. Samtidig får man mulighed for at tilrette omkredsen af flyve området ved at trække de otte knækpunkter på plads. Når et knæpunkt flyttes oprettes der automatisk nye punkter som tillader en yderlig justering af området. Når det ønskede område er afgrænset skal flyvehøjde og overlap defineres.



Figur 6 Viser en flyvning for et område i Aalborg. Læg mærke til flyvehøjden og ovenstående informationerne, i listen til venstre.

Flyvehøjden indstilles at indtaste den ønskede højde eller ved at tække den 'slider' der kommer til syne når feltet markeres. Læg her mærke til at informationerne over flyvehøjden dynamisk ændre sig i takt med den ændrede flyvehøjde. '3D mode' under flyvehøjden får dronen til at afslutte flyvningen med at flyve en gang rundt langs periferien af området med kameraet pegende ind mod centrum. Muligheden 'make available offline' bør vælges hvis flyvningen foretages i områder uden tilstrækkelig mobil signal til at kunne indlæse baggrundskort. Ved at trykke på 'Advanced' nederst åbnes for flere justeringsmuligheder, se Figur 7.



Figur 7 Viser de avancerede indstillinger for flyvning i Drone Deploy.

Under de avancerede indstillinger er der mulighed for at ændre overlap samt flyveretning. Ved at ændre disse parameter tilpasses flyvningen så den bedst muligt matcher de behov som det konkrete projekt stiller. Yderligere er der mulighed for at ændre flyvehastigheden samt i hvilket punkt dronen begynder optagelserne. Denne kan ændres således at opgaven startes i punktet fjernest piloten således at dronen har længst mulig flyvetid til at rette op på problemer med svagt signal eller andre uforudsete hændelser mens dronen er langt væk. Når flyvningen er klar, navngives den øverst i listen og gemmes ved et tryk på diskette ikonet nederst i højre side. Ønskes flyvningen nulstillet vælges 'pil tilbage' ligeledes i nederste højre hjørne.

Når man ankommer til flyveområdet. Starte dronen op og forbindelsen mellem dronen og tablet eller smartphone kontrolleres. Dronen kalibreres som altid og kameraet indstilles i DJI GO. Lav en kort testflyvning for at kontrollere at dronen opfører sig som den skal og at den ikke er påvirket af skjult metal eller lignende.

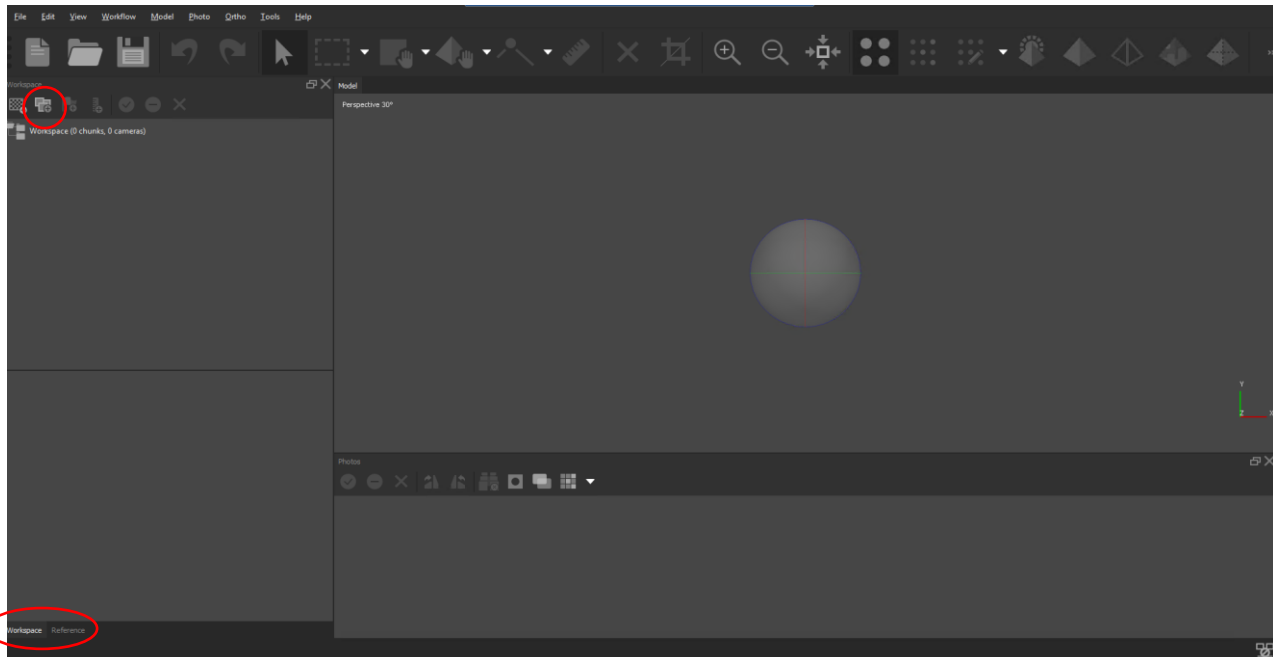
Åben flyve appen og den relevante flyvning vælges fra listen. Appen finder automatisk ud af at der er en drone klar til flyvning og 'diskette' ikonet er ændret til et ikon for start flyvning. Når denne vælges kontrollerer appen at dronen er klar til flyvning og flyveplanen overføres til dronen. Herefter kan flyvningen startes ved at trykke på start. Efter endt flyvning returner dronen til 'hjemmepunktet' og lander. Under landingen kan dronen styres på plads med 'transmitteren' således man undgår at den lander i rabat eller andre uegnede overflader.

Brug af Agisoft Metashape

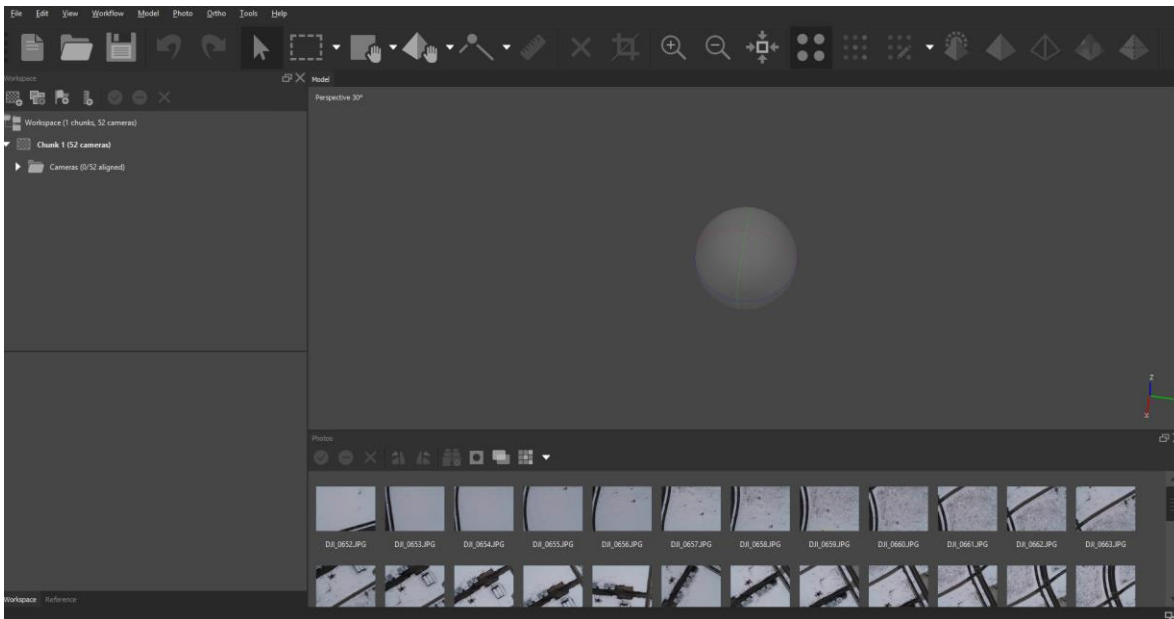
Brugergrænseflade

Import af data – billeder og paspunktkoordinator

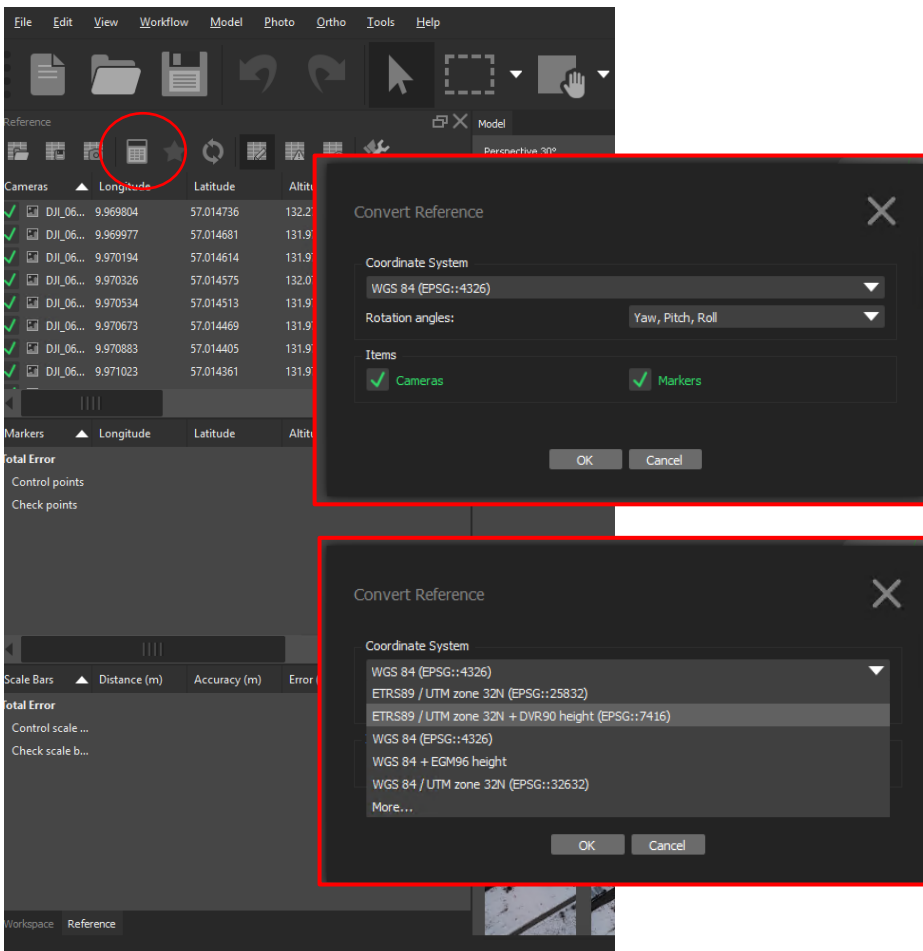
- Gem projektet
- Vælg workspace fanebladet nederst
- Vælg tilføj billeder – vælg billederne fra flyvningen



Billederne kommer i en pane nederst.



Vælg nu Reference nederst til venstre. Omregn koordinaterne fra dronebillederne (WGS84) til UTM32N hvis det er det koordinat system som paspunkterne ligger i. Hvis man ikke bruger paspunkter er dette skridt ligegyldig.

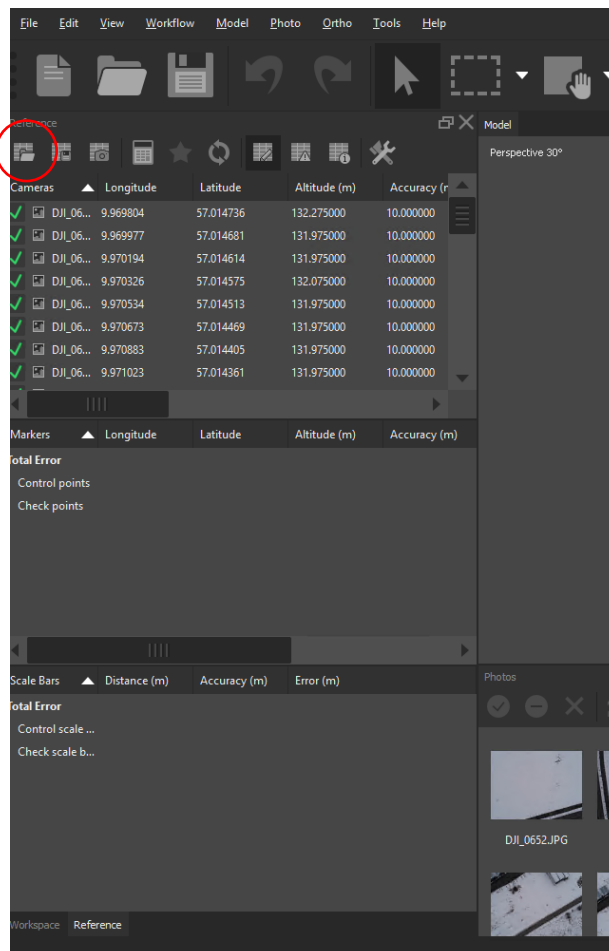


Tilføj paspunkterne fra txt-fil. Vær særlig opmærksom på formatering.

- Vælg 'import'
- Vælg den .txt fil som indeholder paspunkterne.
- De kan være formateret således: øverst beskrivelse, semikolon sepereret og DECIMALSEPERATOR ER PUNKTUM IKKE KOMMA!!!

I eksemplet er der både UTM og WGS84 koordinater normalt vil det være den ene eller den anden

```
1 FID;ID;utm;utm;utm;utm;WGS_X;WGS_Y
2 0;GPS0001;558921.204999999960000;6319452.513000000030000;19.504999999999999;9.970334502289999;57.014805378100000
3 1;GPS0002;558924.224000000050000;6319463.497999999700000;19.556000000000001;9.970386781960000;57.014903662000002
4 2;GPS0003;558953.599999999980000;6319449.930999999900000;19.065000000000001;9.970867302869999;57.014778051000000
5 3;GPS0004;558945.378000000030000;6319441.455000000100000;19.065999999999999;9.970729938760000;57.014702967799998
6 4;GPS0005;558962.434000000010000;6319427.559000000400000;18.526000000000000;9.971007523290000;57.014575973699998
7 5;GPS0006;558962.332000000050000;6319443.917000000400000;18.783999999999999;9.971009673039999;57.014722917199997
8 6;GPS0007;558983.785999999960000;6319429.663999999900000;18.067000000000000;9.971359588690000;57.014592154100001
9 7;GPS0008;558993.376999999980000;6319412.166000000200000;17.501999999999999;9.971513411629999;57.014433758700001
10 8;GPS0009;559009.059000000010000;6319418.832999999600000;16.908999999999999;9.971773185289999;57.014491638999999
11 9;GPS0010;559023.753000000030000;6319464.739000000100000;15.507000000000000;9.972025886870000;57.014902096500002
12 10;GPS0011;559155.491000000040000;6319463.477000000000000;14.606000000000000;9.974194746689999;57.014873901800001
13 11;GPS0012;559155.587999999900000;6319422.627999999600000;15.512000000000000;9.974186750159999;57.014506976800000
```



- Vælg hvad der afgrænser kolonnerne
- Vælg hvilken række første paspunkt ligger i (2)
- Vælg hvilke kolonner som indeholder X kordinat(Easting),Y – (Northing) og Z – (altitude) samt Lable (hvad punktet skal hedde i kortet.
- Vælg koordinatsystemer

Import CSV

Coordinate System
ETRS89 / UTM zone 32N + DVR90 height (EPSG::7416)

Rotation angles: Yaw, Pitch, Roll

Ignore labels Threshold (m): 0.1

Delimiter
 Semicolon
 Tab
 Comma
 Space
 Other:
 Combine consecutive delimiters

Columns

Label	1	Accuracy	Rotation	Accuracy
Easting	3	8	Yaw: 5	9
Northing	4	8	Pitch: 6	9
Altitude	5	8	Roll: 7	9
			Enabled flag: 10	

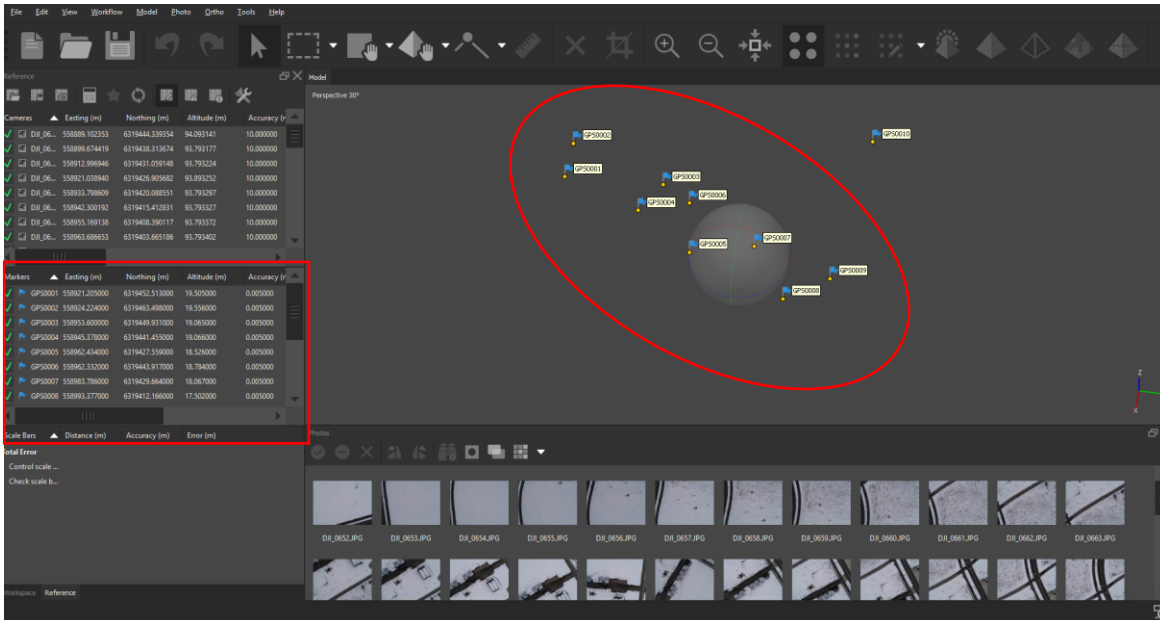
Start import at row: 2

Items: All

Label	ID	Easting	Northing	Altitude	WGS_X	WGS_Y
FID						
0	GPS0001	558921.2049999...	6319452.513000...	19.504999999999...	9.970334502289...	57.014805378100000
1	GPS0002	558924.2240000...	6319463.497999...	19.556000000000...	9.970386781960...	57.014903662000002
2	GPS0003	558953.5999999...	6319449.930999...	19.065000000000...	9.970867302869...	57.014778051000000
3	GPS0004	558945.3780000...	6319441.455000...	19.065999999999...	9.970729938760...	57.014702967799998
4	GPS0005	558962.4340000...	6319427.559000...	18.526000000000...	9.971007523290...	57.014575973699998
5	GPS0006	558963.3320000...	6319443.017000...	18.782000000000...	9.971000673030...	57.014772017100007

OK Cancel

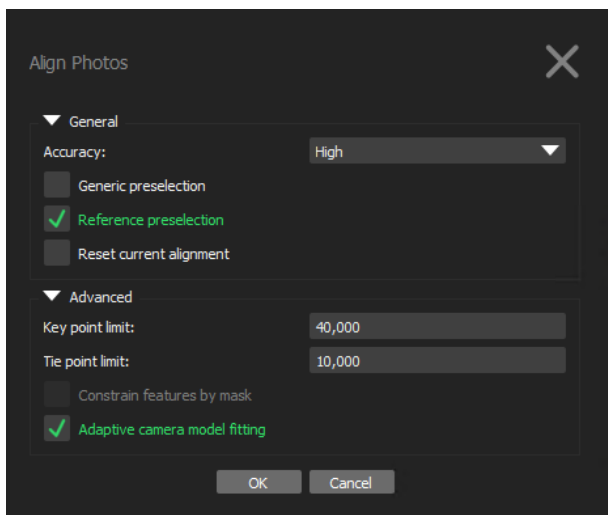
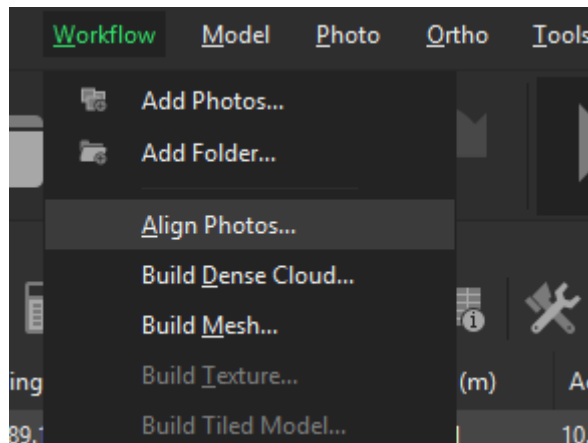
- Vælg ja til at indsætte alle punkter
- Punkterne kommer ind i arbejdsrummet
- Paspunkternes koordinater vises under billedernes information



Behandling af billeder

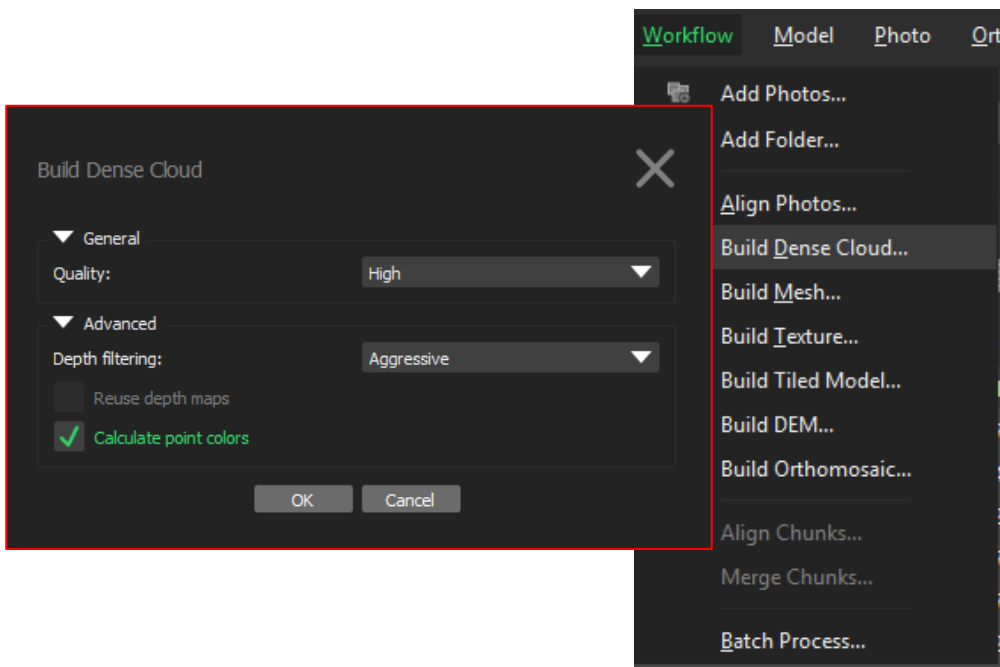
Billede Alignment

- Vælg 'Workflow -> Align Photos...' i øverste menulinje
- Vælg nøjagtighed (lavest – højest)
 - Ved højest behandler algoritmen billederne i oprindelig størrelse, ved hver lavere niveau formindsker den billedet med en faktor 4. Jo højere jo mere nøjagtig men det tager også længere tid.
- Ved ortofoto hvor kameraets position kendes vælg 'Reference preselection'. Ved 3D model hvor der bruges skråfoto kan det også vælges men her skal en jordoverfladehøjde defineres.
- Key og Tie point limit
 - Key points er den øvre grænse for det antal punkter i hvert billede der bruges i processen. 40000 er standard og et godt udgangspunkt.
 - Tie points er den øvre grænse for matchende punkter i hvert billede 10000 er standard og et godt udgangspunkt.
- Adaptive Camera model fitting
 - Tillader at processen automatisk vælger de kameraparametre som skal bruges. Det kan være en fordel ved luftfoto.



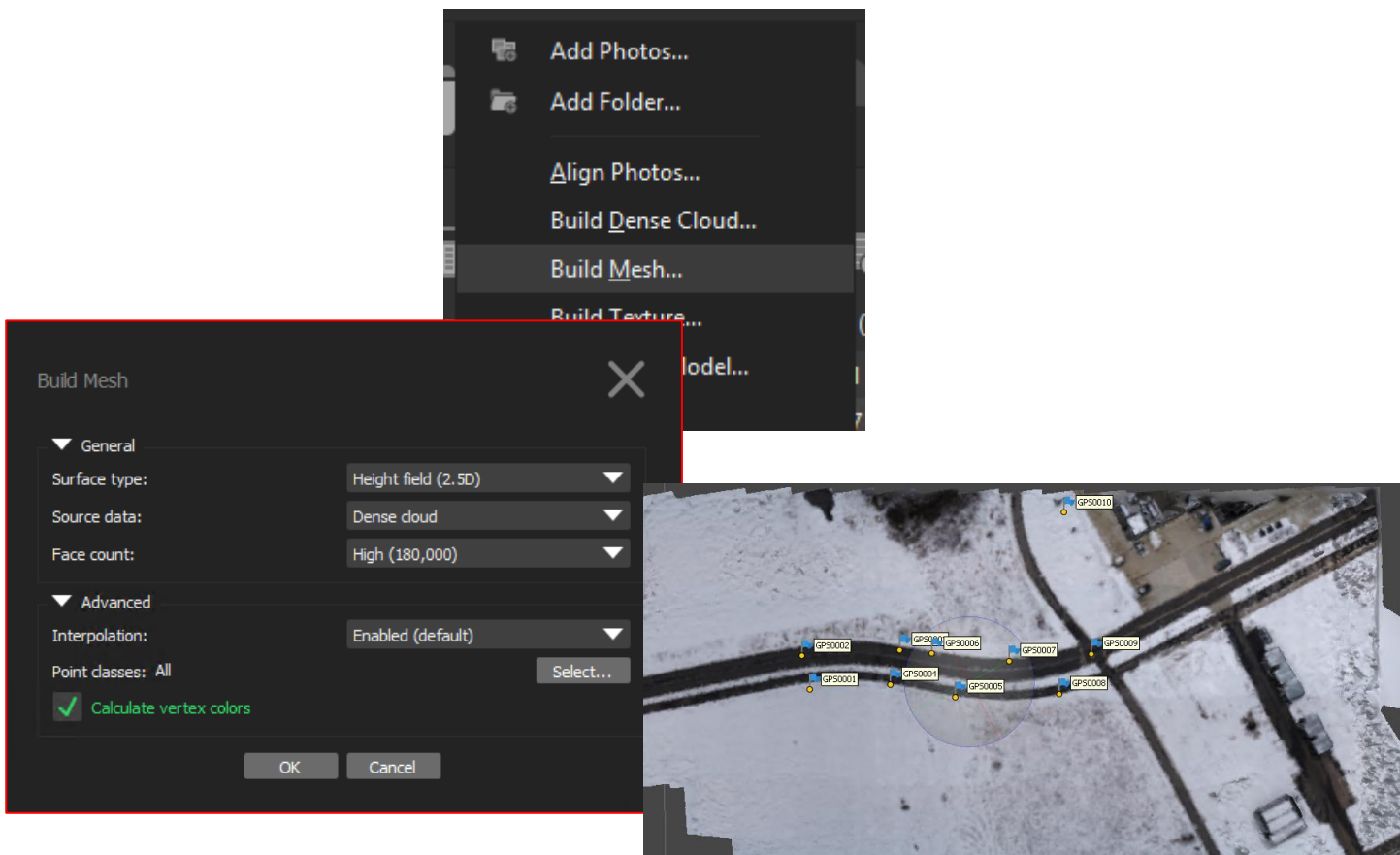
Byg fortættet punktsky

- Vælg 'Build dense cloud..'
- Vælg kvalitet
 - Jo højere jo flere detaljer er med men det tager også længere tid (op til 15-20 timer)
- Depth Filtering
 - Er et filter til at håndtere støj i billedet. F.eks. Ved vand kan man få punkter som ligger meget højt eller lavt og denne parameter definerer hvor aggressivt algoritmen skal sortere disse outliers fra.
 - Aggressive bruges hvis overfladen ikke indeholder små og værdifulde detaljer. Anvendes ofte til ortofoto.
 - Mild bruges hvis der er mange små detaljer som skal med, en meget detaljeret tagoverflade, da den medtager mange af disse outliers
 - Moderet er en mellemting.
 - Prøv hvad der virker bedst i det konkrete projekt.
- Calculate point color
 - Kan fravælges hvis punktets farve ikke er relevant.



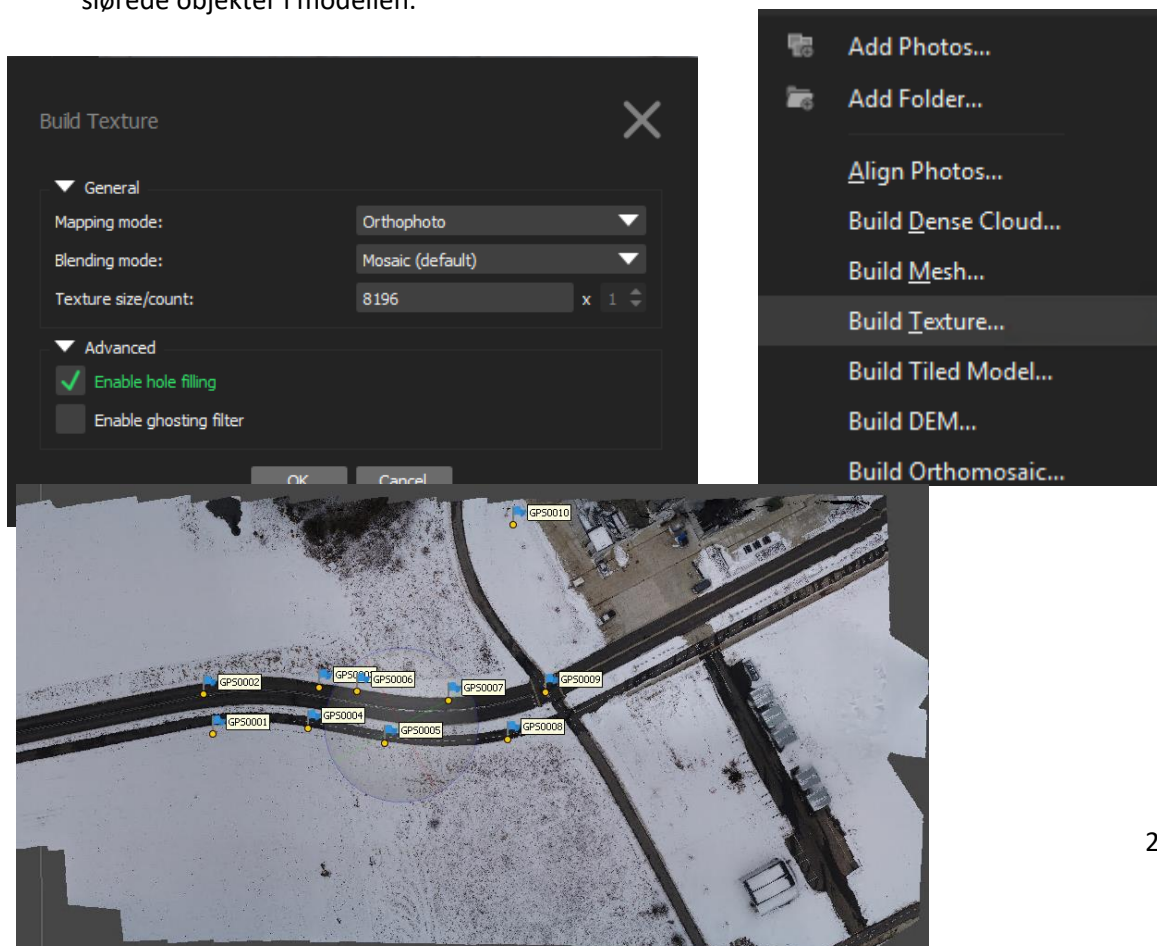
Byg et Mesh

- Vælg overflade type
 - Arbitrary ved objekter som huse der skal modelleres i 3D
 - Height field for luftbilleder til ortofoto og DHM
- Source data
 - Dense cloud
- Face count
 - Definerer hvor mange punkter i punktskyen der bruges ved high bruges 1/5, medium- 1/15, ved low 1/45, af punkterne
- Interpolation
 - Disabled er er præcis rekonstruktion da kun områder som er i punktskyen bygges. Det kan medføre huller i geometrien som efterfølgende skal udfyldes.
 - Enable er standard og her udfyldes de fleste huller ved at interpolere mellem punkterne i punktskyen
 - Extrapolated skaber en model fuldstændig uden huller ved at ekstrapoler mellem punkterne.



Byg teksture

- Vælg 'Build Texture...'
- Mapping mode bestemmer hvordan teksturen draperes over modellen hvilket er vigtigt for at få det bedste resultat
 - Generic anvendes til 3D modeller
 - Ortophoto giver en meget kompakt tekstur på plane overflader hvor i mode vertikale overflader ikke har en mindre god teksturering
 - Adaptive ortophoto her bliver modellen delt ind i horisontale og vertikale elementer. De horisontale flader bliver tekstureret som under ortophoto ved en ortografisk projektion. De vertikale områder tekstureres særskilt for det bedste resultat på bygninger o.l.
- Blending mode
 - Mosaic anvender en to trins tilgang og giver den bedste sammensmeltning af billederne ved ortofoto. Den bruger de lavfrekvente dele af billedet til at lave de sømløse overgange og højfrekvente elementer fra det billede med bedst opløsning for området til at give detaljer.
 - Average bruger et vægtet gennemsnit fra alle pixels i de dækkende billeder til teksturen.
- Texture size
 - Definerer højde og bredde af teksturatlasset i pixels.
- Enable ghosting filter
 - Hvis modellen indeholder tynde strukturer kan dette være relevant at slå til for at forhindre slørede objekter i modellen.



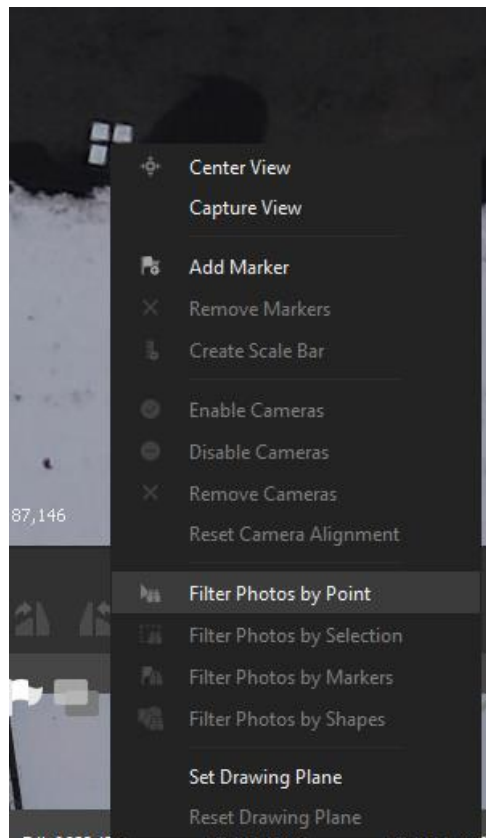
Korriger ortofoto med paspunkter

- Selv om paspunkterne er vist i arbejdsområdet er deres placering ikke korrekt. Som error kolonnen viser er der stadig stor unøjagtigheder i placeringen.
- De enkelte paspunkter skal flyttes på plads

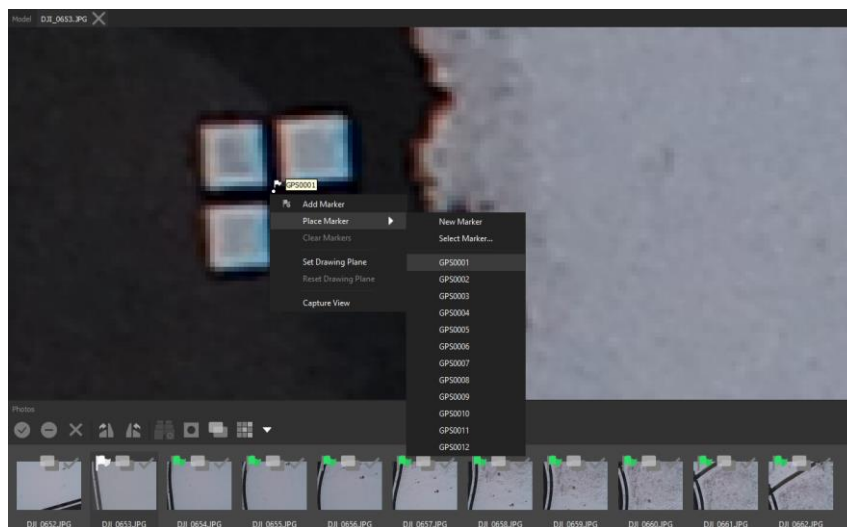
Cameras	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)	Accuracy (m)	Error (m)
DJI_06...	558889.102353	6319444.339354	94.093141	10.000000	1.363595
DJI_06...	558899.674419	6319438.313674	93.793177	10.000000	2.453479
DJI_06...	558912.996946	6319431.059148	93.793224	10.000000	0.116277
DJI_06...	558921.038940	6319426.905682	93.893252	10.000000	2.630714
DJI_06...	558933.798609	6319420.088551	93.793297	10.000000	0.221713
DJI_06...	558942.300192	6319415.412831	93.793327	10.000000	2.672437
DJI_06...	558955.169138	6319408.390117	93.793372	10.000000	0.222566
DJI_06...	558963.686653	6319403.665186	93.793402	10.000000	2.544203

Markers	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)	Accuracy (m)	Error (m)
GPS0001	558921.205000	6319452.513000	19.505000	0.005000	0.005000
GPS0002	558924.224000	6319463.498000	19.556000	0.005000	0.005000
GPS0003	558953.600000	6319449.931000	19.065000	0.005000	0.005000
GPS0004	558945.378000	6319441.455000	19.066000	0.005000	0.005000
GPS0005	558962.434000	6319427.559000	18.526000	0.005000	0.005000
GPS0006	558962.332000	6319443.917000	18.784000	0.005000	0.005000
GPS0007	558983.786000	6319429.664000	18.067000	0.005000	0.005000
GPS0008	558993.377000	6319412.166000	17.502000	0.005000	0.005000

- Find et af de paspunkter som kan ses på ortofoto
- Højre-klik på centrum af krydset, det hvor den præcise placering blev målt og vælg 'Filter photos by points' Dette gør at kun de billeder som indeholder paspunktet vises og det bliver lettere at finde de relevante billeder.



- Nederst vises nu kun de relevante billeder
- Dobbelt klik på et af billederne så det åbnes i arbejdsvinduet
- Find paspunktet højre klik på centrum og vælg 'place marker' og vælg den relevante markør her GPS0001
- Gentag for de andre billeder (man kan skifte med page up/down)
- Skift mellem paspunkter med 'Tab'
- Gentage for de andre paspunkter.
- Når paspunkterne er afsat vælg 'update' og modellen rykkes på plads ift. paspunkterne.



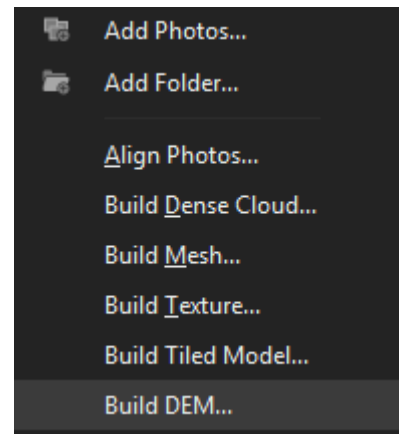
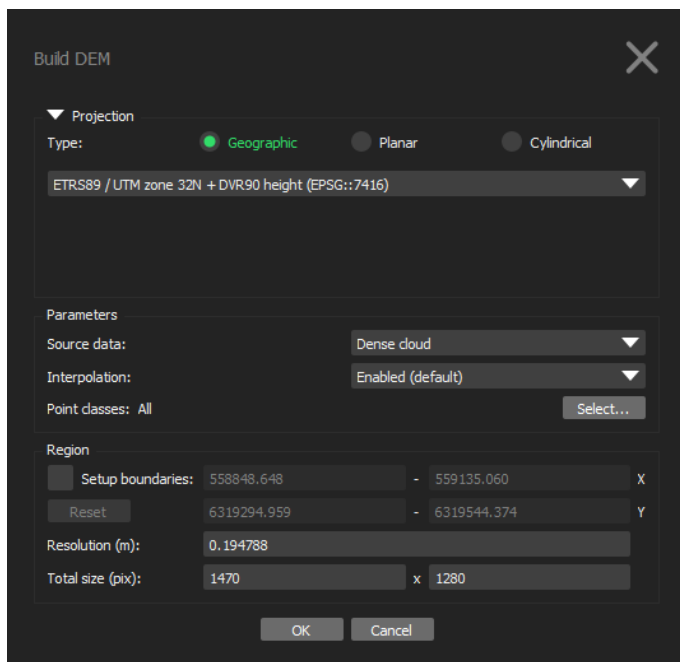
Markers	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)	Accuracy (m)	Error (m)
GPS0005	558962.434000	6319427.559000	18.526000	0.005000	0.003808
GPS0006	558962.332000	6319443.917000	18.784000	0.005000	0.021262
GPS0007	558983.786000	6319429.664000	18.067000	0.005000	0.047215
GPS0008	558993.377000	6319412.166000	17.502000	0.005000	0.014533
GPS0009	559009.059000	6319418.833000	16.909000	0.005000	0.017123
Total Error					
Control points					0.021385
Check points					

References	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)	Accuracy (m)	Error (m)
DJI_06...	558889.102353	6319444.339354	94.093141	10.000000	31.845746

Eksport af produkter

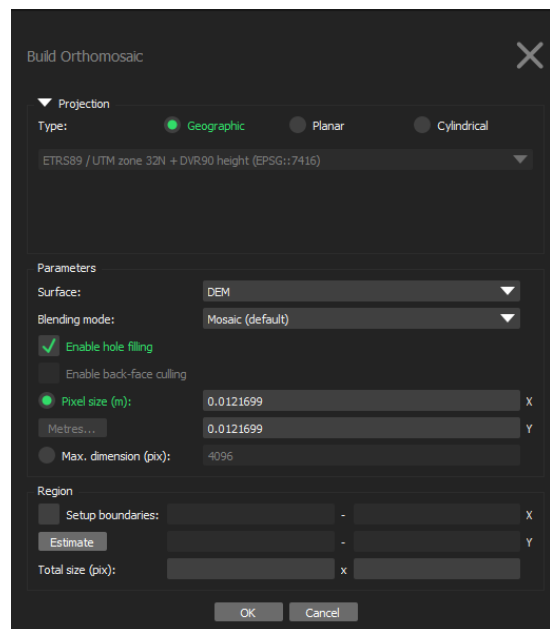
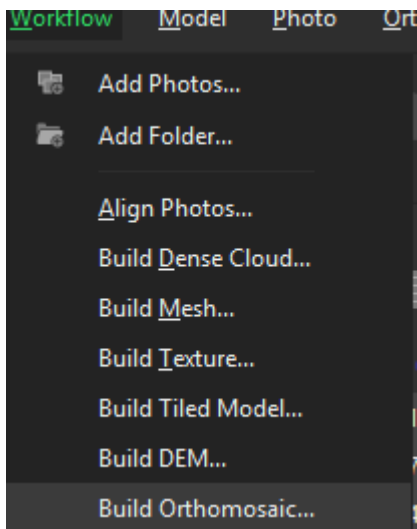
Byg en DEM

- DEM er forudsætningen for et ortofoto så den skal bygges først af de to
- Vælg 'Build DEM'
- Hvis koordinatsystemet tidligere er defineret er det automatisk valgt her. Ellers vælg et (ortofoto uden paspunkter kan eksporteres i WGS84 som passer til billedkoordinaterne)
- Vælg 'source data'
 - Brug Dense cloud med mindre det er et preview og den ikke er bygget.
- Interpolation
 - Disabled – bygger kun en rastermodel for de områder hvor der er punkter i punktskyen
 - Enabled – udregner en rasteroverflade for alle områder der er synligt i mindst et billede
 - Extrapolated – bygger en model uden huller og ekstrapoler modellen helt ud til område boksens kant.
- Resolution
 - Rastermodellens cellestørrelse



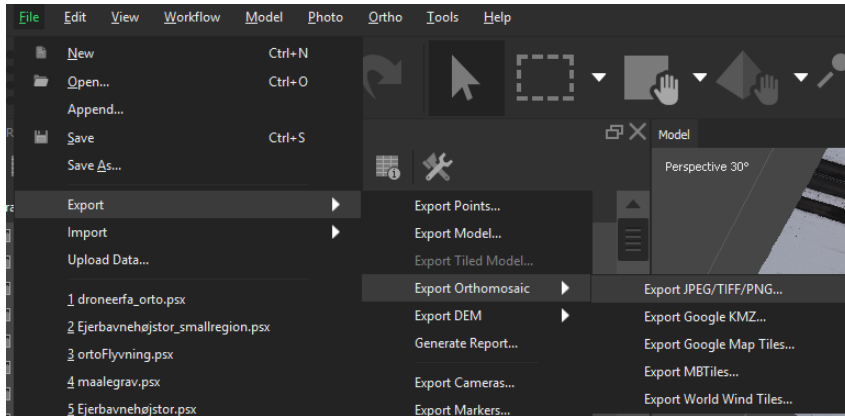
Byg et Ortofoto

- Vælg 'Build orthomosaic..'
- Vælg koordinatsystem
- Surface
 - Den overflade som skal bruges til ortokorrektion (DEM)
- Blending mode
 - Mosaic sammensmelter pixels fra billederne og giver det bedste resultat ift sømlinjerne.
 - Average bruger en vægtet gennemsnits værdi af pixels i billederne
 - Disabled tager en pixel fra det billede som er tættest på lod ift. punktet.
- Enable color correction
 - Kan bruges i situationer hvor der er stor kontrastforskel i modellen. Det tager dog lang tid.
- Pixel size
 - Definerer celle størrelsen på det endelige resultat.



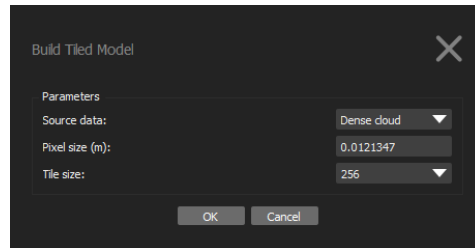
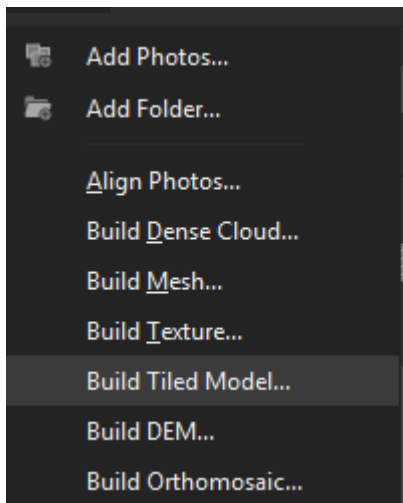
Eksporter modellerne

- Vælg 'Export ortomosaic' og vælg det ønskede filformat (TIFF)
- Kontroller at celledørrelsen er korrekt og formatet er som ønsket og vælg 'Export'
- Det samme gøres ved DEM



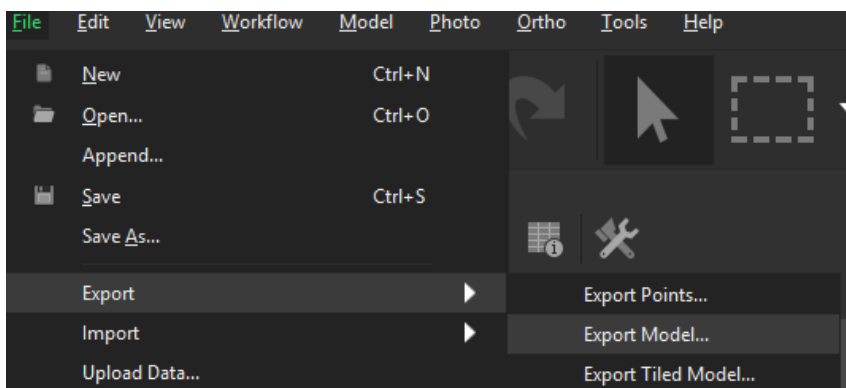
Byg tiled model til Arcgis Pro

- Ved at bygge en tiled model kan der skabes en Scene layer package som kan importeres direkte i arcgis pros 3D miljø og deles online gennem en sceneviwer i arcgis online.



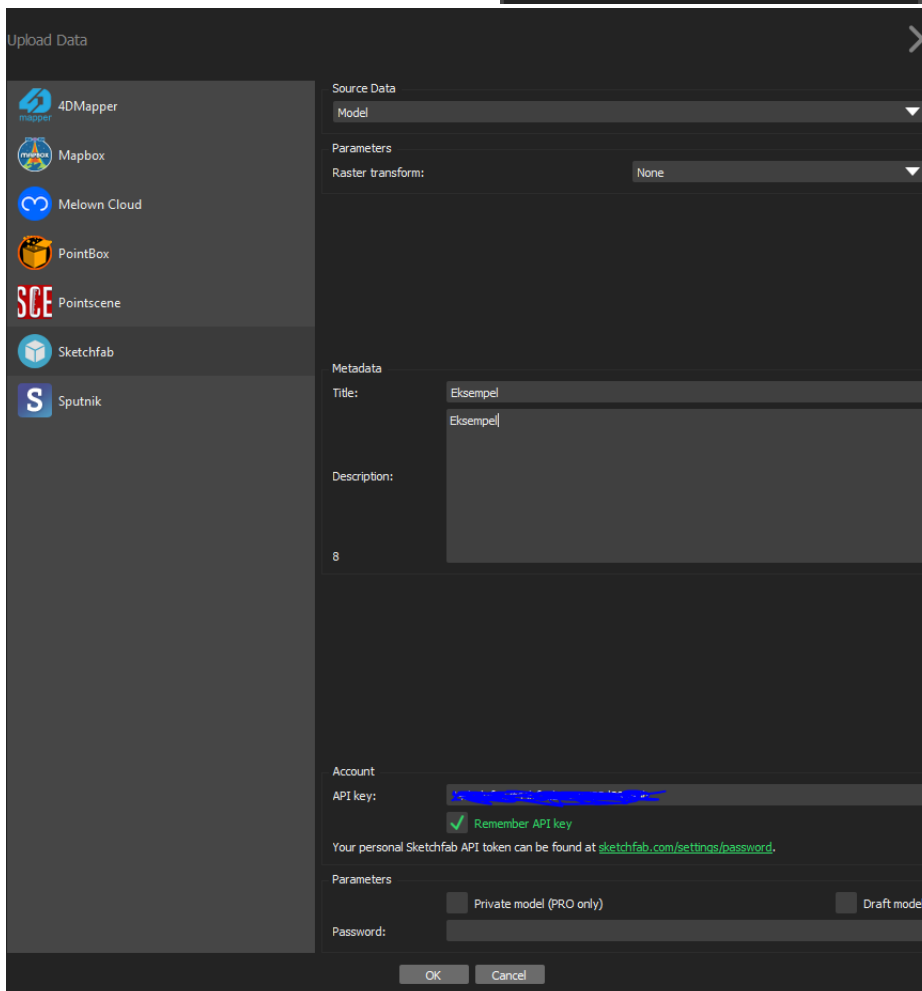
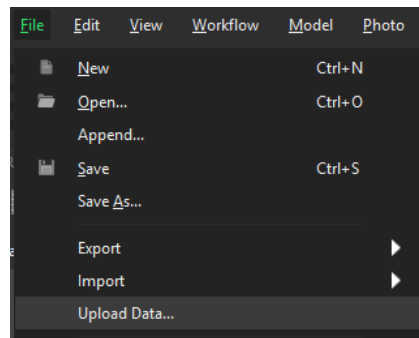
Eksporter en 3D model

- Et alternativ til en tiled model kan modellen eksporteres som en generel 3D model i en række af de mest almindelige formater.
- Disse kan hentes ind i et GIS eksempel vis arcgis pro eller desktop
- Erfaring viser at man bør eksportere to modeller én i et lokalt koordinatsystem og én i et globalt koordinat system. I GIS skal den globale model importeres og dets teksture efterfølgende erstattes af lokal-modellen.



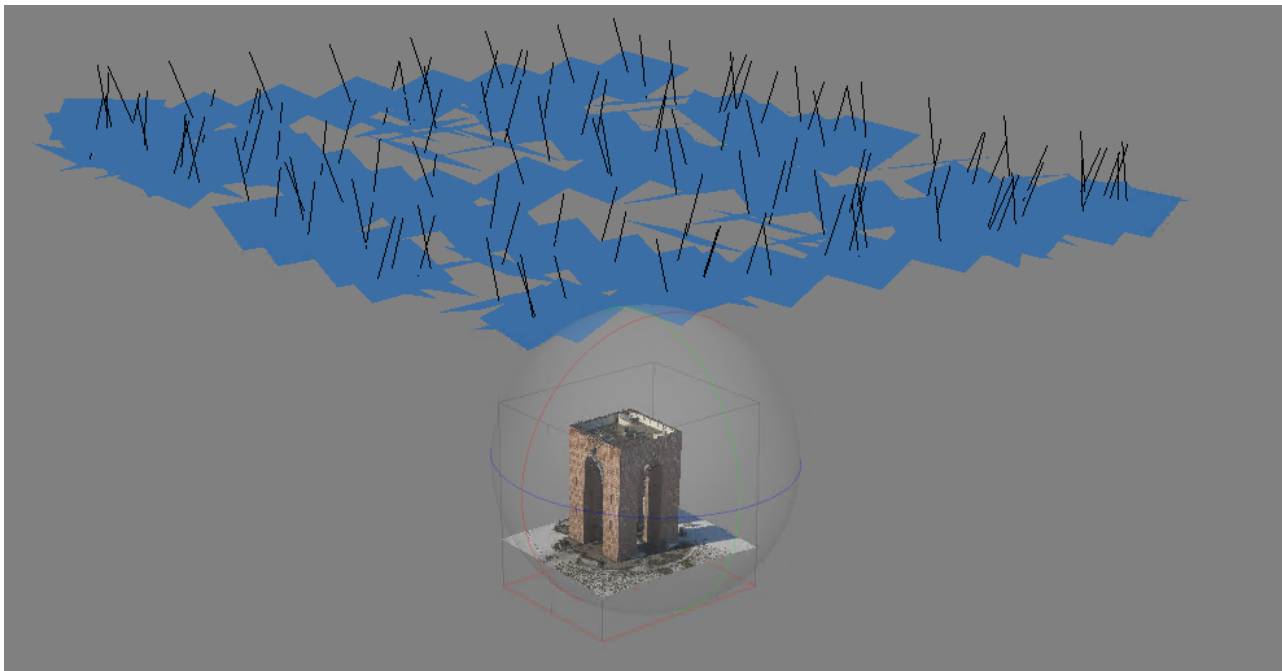
Del en 3D model

- En meget let måde at dele en 3D model på er at bruge en tjeneste som 'Sketchfab' som er en online viewer agisoft er integreret i. Det kræver en konto som er gratis og en token der skal indsættes i agisoft
- Vælg 'upload Data..'
- Vælg 'source data' beskriv modellen og vælg ok
- Den gratis konto tillader modeller på op til 50mb og hvis dette overskrides kan modellen ikke uploades.



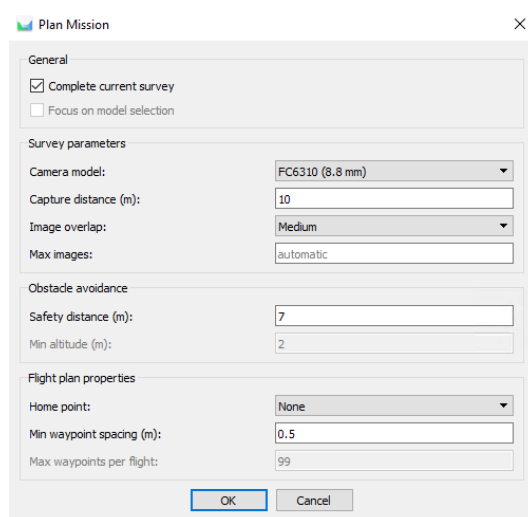
Aktiv brug af Agisoft Metashape i flyveplanlægning

I forbindelse med opdateringen af Agisoft til v. 1.5.3 er en ny mulighed for ruteplanlægning tilgængelig. Funktionen hedder "Plan Mission" og kan hjælpe med at finde områder på 3D modeller som har brug for bedre dækning for at opnå et bedre resultat.



Figur 8 Viser billederne fra den indledende flyvning.

Arbejdsgangen i mission planner starter med en almindelig overflyvning, eventuel med dobbelt grid for bedre dækning. Herefter importeres billederne i agisoft og de registreres gennem en alignment, se afsnit Billede Alignment s. 20. På baggrund af den punktsky som er resultatet af en alignment skabes en grov 3D model ved at bygge et mesh herudfra, se afsnit Byg et Mesh s. 22. I modellen angives nu et "home point" som skal svare til det punkt hvorfra dronen skal starte i virkeligheden. Punktet afsættes ved at vælge tegneværktøjet i værktøjslinjen og angiv placeringen i modelvinduet. Punktet skal have etiketten "home". Næste skridt er at finde "Plan mission" under tools.



Figur 9 Viser værktøjet Plan mission.

Det første valg man præsenteres for under "general" er om man vil fokusere på modellen eller man vil optimere den flyvning man har foretaget. Vælger man "complete current survey" analyserer programmet billederne man har taget ved første flyvning og angiver områder med dårlig dækning. Alternativet er at fokusere på en udvalgt del af modellen. Det kræver at den del af modellen som ønskes analyseret er valgt på forhånd. Programmet angiver derved en række kameravinkler som vil kunne optimere modellen. Den bruger samtidig den eksisterende model til at som reference således at dronen ikke kommer for tæt på det objekt man tager billeder af.

Herefter angives kameramodellen, dette felt er ofte fyldt ud med det kamera som tog de indledende billeder.

"Capture distance" er den afstand fra objektet man ønsker billederne taget fra.

"image overlap" styrer hvor meget overlap der skal være imellem billederne og dermed hvor mange billeder der skal se hvert punkt på modellen.

"Max image" her angives hvor mange billeder der maksimalt skal tages. Hver fil kan indeholde 99. Det betyder at man muligvis skal flyve flere missioner.

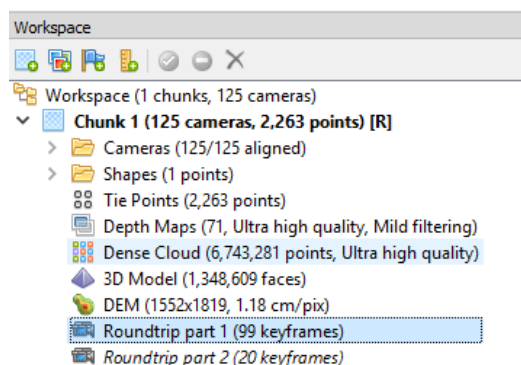
"Safety distance" angiver en sikkerhedsafstand til objektet. Det vil sige at de punkter hvorfra de nye billeder tages ikke kommer tættere på objektet end denne afstand. Hele modellen medtages i denne analyse uanset hvad der tidligere er valgt.

"Min altitude" angiver den laveste højde over "home" punktet hvorfra billederne tages.

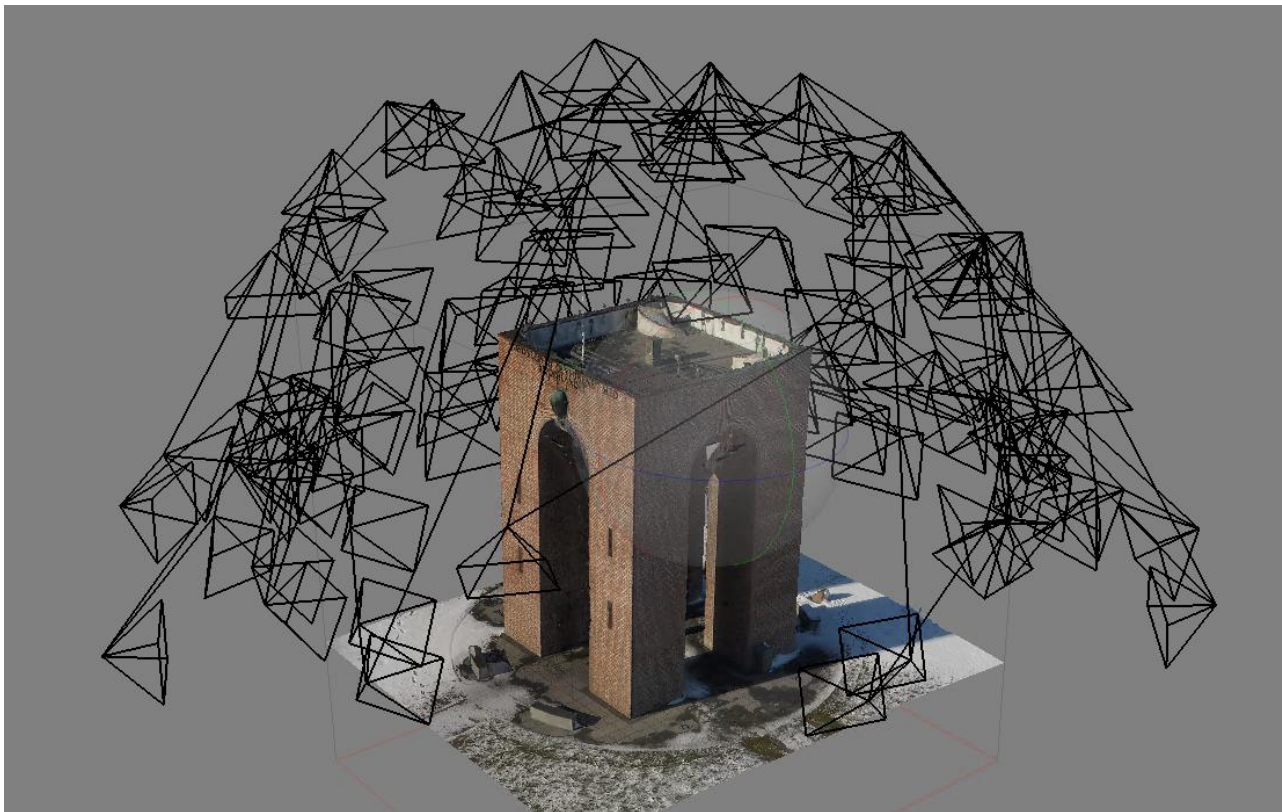
"Min waypoint spacing" mindste afstand mellem de nye punkter.

"Max waypoints per flight" angiver hvor mange nye punkter der kan være i én flyvning. 99 er det maksimale antal per flyvning og hvis der er brug for flere splittes missionen op i flere flyvninger.

Figur 10 Viser den nye roundtrip fil i det aktive chunk.



Når ovenstående er angivet trykkes OK og Agisoft analyserer modellen igennem og indsætter en "Roundtrip part" i den aktive "Chunk" i Workspace. De nye kamerapunkter kan eksporteres ved at højreklikke på den ønskede "roundtrip part" og vælg export. Herefter kan man vælge KML filformat som blandt andet kan importeres i Litchi.



Figur 11 viser resultatet af Plan Mission for en flyvning ved tårnet på Ejer bavneshøj.

Referencer

Agisoft LLC. (2019). Agisoft Metashape User Manual: Professional Edition, Version 1.5.

Drone Deploy. (12. 03 2018). *DroneDeploy Documentation*. Hentet fra <https://support.dronedeploy.com/docs/3dmodeling-with-drones>

Greenwood, F. (2015). How to make maps with drones. I K. Kakaes, F. Greenwood, M. Lippincott, S. Dosemagen, P. Meier, & S. Wich, *Drones and aerial observation: new technologies for property rights, human rights, and global development* (s. 35-49). Washington, DC: NEW AMERICA.

Hackney, C., & Clayton, A. I. (2015). Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) and their application in geomorphic mapping. I S. Cook, L. Clarke, & J. Nield, *Geomorphological Techniques (Online Edition)* (s. Chapter 2 sec 1.7). London: British Society for Geomorphology.

Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2014). *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley & Sons.