

Sammendrag

Ved at droner har blitt billigere har det åpnet seg nye muligheter for dronekartlegging. Kartleggingsdroner gjør det mulig å kartlegge store områder kjapt og med ganske god nøyaktighet.

I denne oppgaven blir det undersøkt resultat av en kartleggingsdrone med RTK/CPOS (Real time kinematic/Centimeter posisjonering). Det blir brukt punkter målt med CPOS for å undersøke nøyaktigheten til punktskyen. Det blir også gjort en ganske subjektiv bedømming av utseendet til punktskyen angående bygg, vegetasjon og asfaltkanter. Flyhøyden på dronen var 120m med en bakkeoppløsning på 3cm/piksel.

Resultatene uten noen GCP var ganske gode i X- og Y-retning. Høyden hadde, ikke uventet, litt mer sprang i resultatene. Det var ikke rart med tanke på at både dronen og den håndholdte GPS-mottakeren som ble brukt for å måle på bakken, begge bruker CPOS. CPOS er mye mer unøyaktig i høyden enn i grunnrisset.

Punktskyen ser ved første øyekast ganske bra ut, men når en går mer ned i detalj ser en at det er mye mangler og feil. Ikke uventet er husvegger med repeterende mønster veldig dårlige. Trær og busker er oftest ikke særlig bra modellert.

Ortofotoet ble generelt sett ganske bra, men det trenger å bli rettet opp noen steder.

Dette gjør at dronekartlegging fungerer bra for å kartlegge store områder uten krav til høy nøyaktighet.

Abstract

With the decrease in price for drones, the last years it has opened up new opportunities for drone mapping. Drones for mapping makes it possible to map with fairly good accuracy.

In this thesis, I have studied the result off a mapping drone with RTK. To determine the accuracy I have been using ground control points to test against the point cloud. There have also been a subjective evaluation of the point cloud, regarding the buildings, vegetation and tarmac.

The results without any GCP was descent in x and y. As expected was the height more wrong then the ground plan. This is because of that the drone and GPS to measure the GCP used RTK/CPOS. As we know, RTK/CPOS is less accurate in the height then ground plan.

At first sight, the point cloud looks good. When going in detail the flaws appears. The walls of buildings is often not that great or even sometimes missing. Trees without leaves is often only the trunks. Pine trees is often good. The vegetation need to be thick to be able to become modeled.

The orthophoto had to be adjusted some places. It was often the corners of the buildings that had malformations.

Aerial mapping with a drone works fine to map large areas without high accuracy.

Forord

Dette er min masteroppgave i masterstudiet geomatikk ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU). Fra starten har oppgaven blitt forandret flere ganger, men til slutt ble en oppgave som det var mulig å få gjennomført formulert.

Jeg har vært heldig som har fått satt meg inn i noe jeg synes er interessant og morsomt. Dette har vært en oppgave som har gitt meg mye kunnskap som jeg kan ta med meg videre ut i arbeidslivet. Det har vært mye frustrasjon med tidkrevende og dårlig software og hardware. Dessverre gjenspeiler dette seg litt i oppgaven.

Et stort takk til Patrick Sandhaug Johannessen fra Blinken a.s som var og fløy og tok bilder til oppgaven. Takk også til min kjære samboer for korrekturlesing.

David Gottfridsson

15. Mai 2015

Innholdsfortegnelse

| | |
|---|----|
| Sammendrag | 2 |
| Abstract | 4 |
| Forord..... | 6 |
| 1 Innledning..... | 10 |
| 2 Problemstilling..... | 10 |
| 3 Flyfotografering..... | 10 |
| 3.1 Målet med flyfotografering..... | 10 |
| 3.2 Planlegging | 11 |
| 3.2.1 Produktspesifikasjon | 11 |
| 3.3 Kostestimering..... | 11 |
| 3.3.1 Arbeidskraft..... | 11 |
| 3.3.2 Utstyr..... | 12 |
| 3.3.3 Kostnader | 12 |
| 3.3.4 Profit..... | 12 |
| 3.3.5 Kost..... | 12 |
| 3.4 Planlegging | 13 |
| 3.5 Flykamera | 15 |
| 3.6 Fotografering..... | 15 |
| 3.6.1 GNSS/INS-støttet flyfotografering..... | 17 |
| 3.7 Ortofoto..... | 17 |
| 4 Landmåling | 19 |
| 4.1 En lettere måte å kartlegge små områder på..... | 19 |
| 4.2 Kartlegging med fotogrammetri..... | 19 |
| 5 Droner..... | 20 |
| 5.1 Hobby | 20 |
| 5.2 Kommersielt | 20 |
| 5.3 Militært..... | 21 |
| 5.3.1 Stridsdroner..... | 21 |
| 5.3.2 Taktiske overvåkningsdroner | 21 |
| 5.3.3 Ubemannede jagerfly | 22 |
| 5.4 Droner til landmåling..... | 22 |
| 5.4.1 Helikopter og fixedwing | 23 |
| 6 Teori..... | 24 |
| 6.1 Fotogrammetri | 24 |
| 6.2 Indre orientering, form og dimensjon i opptakskameraet..... | 24 |

| | | |
|--------|---|----|
| 6.3 | Ytre orientering | 24 |
| 6.4 | Aerotriangulering | 24 |
| 6.5 | Geodetisk grunnlag EUREF89 NTM (Norsk Transversa Mercator) | 25 |
| 6.6 | Digital høydemodell (DHM)..... | 26 |
| 6.7 | Digital terrengmodell (DTM) | 26 |
| 6.8 | Triangulated irregular network (TIN) | 26 |
| 6.9 | RTK..... | 26 |
| 6.10 | CPOS | 27 |
| 6.11 | Dronen..... | 28 |
| 7 | Metode | 31 |
| 8 | Test av eBee | 31 |
| 8.1 | Etablering av testfelt | 31 |
| 8.2 | Forberedelser | 34 |
| 8.3 | Utstyr under flyving..... | 37 |
| 8.4 | Gjennomføringen av fotograferingen | 37 |
| 8.5 | Prosessering | 37 |
| 8.6 | Prosessering i Postflight Terra 3D | 38 |
| 8.7 | Dataprogrammer..... | 40 |
| 8.7.1 | Aegisoft Photoscan..... | 40 |
| 8.7.2 | Postflight Terra 3D..... | 41 |
| 8.8 | Quality Report | 41 |
| 9 | Utdrag fra Quality Report. Fullstendig rapport finnes i vedlegget..... | 41 |
| 10 | Resultater GCP..... | 42 |
| 10.1 | Tabeller GCP | 45 |
| 10.1.1 | Tabellen viser resultater etter bildematchingen uten bruk av GCP..... | 45 |
| 10.1.2 | Viser resultater etter forsøk på forbedring med 3 GCP. | 46 |
| 10.1.3 | Viser resultater etter forsøk på forbedring med 8 GCP. | 46 |
| 10.1.4 | Liste over bare KP7, KP9 og TAK2. A = uten GCP, B = 3 GCP, C = 9 GCP..... | 47 |
| 10.1.5 | Tabellene viser mine egne utregninger, ut ifra koordinatene etter de forskjellige prosessene..... | 48 |
| 11 | Resultater punktsky/visualisering/utseende..... | 50 |
| 11.1 | Bygg og hus..... | 50 |
| 11.2 | Vegetasjon..... | 54 |
| 11.3 | Asfalt..... | 59 |
| 11.4 | Flatetest..... | 60 |
| 12 | Diskusjon | 66 |

| | | |
|------|---|----|
| 12.1 | GCP | 66 |
| 12.2 | Visuelt og annet..... | 67 |
| 12.3 | Faktorer som kan gi bedre resultat: | 67 |
| 12.4 | Veien videre..... | 67 |
| 13 | Konklusjon | 68 |
| 14 | Litteraturliste..... | 69 |
| 15 | Vedlegg..... | 71 |

1 Innledning

Å samle mer informasjon raskere og/eller med lavere kostnader er et mål innenfor alle bransjer. Ved hjelp av kartleggingsdroner kan en samle informasjon over et stort område relativt raskt. Hittil har unøyaktigheten vært det største problemet, men i løpet av de siste årene har utviklingen gjort denne typen kartlegging mer og mer nøyaktig.

De siste årene har det vært en stor utvikling og økt bruk av alle typer droner. Prisene har gått ned og brukervennlighet og kvalitet opp. Droner til kartlegging har blitt veldig populært, og salget har vært stort de siste årene. Ved å være en kjapp måte å kunne hente data fra store områder på har dette blitt svært attraktivt.

Det startet med ganske simple droner og hjemmesnekrede systemer. Nå har det gått over til spesialiserte bedrifter som ofte kun driver med utvikling og salg av droner. En trend som har gjort seg gjeldende det siste året eller to er å ha RTK/CPOS og IMU på dronen. Dette for å kunne bruke GNSS-data for å kunne ha færre kjentpunkter på bakken, eller helt eliminere dem.

SensFly sin eBee-drone har kommet med RTK. Fordelen med RTK er at en vet hvor dronen var da bildene ble tatt. Altså har man en ytre orientering (YO).

2 Problemstilling

Målet med denne masteroppgaven er å se på hvor bra resultatene for en drone med RTK/CPOS-støtte blir, både uten og med ground control points (GCP). Jeg skal også se på hvor bra punktskyen blir visuelt, og hvor nøyaktig punktskyen blir opp mot GCP og noen små flater. Det har også blitt tatt med hvor lett det er å finne linjer og asfaltkanter.

3 Flyfotografering

Flyfoto er bilder som er tatt fra fly, helikopter, droner eller lignende, høyt oppe i luften. For å kunne kartlegge terrenget blir det tatt vertikalbilder. Skråbilder er lite egnet for dette. (Statens Kartverk 2013a)

3.1 Målet med flyfotografering

Flyfoto skal som regel brukes til kartproduksjon og 3D-modeller. Bilder kan også bli tatt som oversiktsbilder hvis det er noen som vil vise fram et område. Kart produsert fra flyfoto er det ofte kommunene som bestiller. 3D-modeller tatt fram ved hjelp av fotogrammetri kan brukes til mange forskjellige formål. Masseberegning, avstand, volum av skog og annet.

I Norge blir det gjennomført omløpsfotografering. Dette vil si at hele landet skal bli fotografert i et regelmessig intervall på 5-10 år, avhengig av området. (Kartverket)

3.2 Planlegging

Når en jobb blir lagt ut så bedrifter kan gi tilbud, må bedriftene kunne gjøre estimeringer på hvor mye det kommer til å koste og få gjort jobben. Dermed kan de legge inn et tilbud.

Planleggingen av et prosjekt er viktig for å få det effektivt og lønnsomt. De grunnleggende oppgavene for et kartleggingsprosjekt består som regel av flybåren bilde/laser-innsamling, signalering, innsamling av data fra GNSS på fly, og prosessering av bilder sammen med GNSS-data. Etter dette kan kartproduksjonen og lignende starte.

For at planleggingen skal være vellykket må de som planlegger ha god forståelse og kunnskap om disse områdene.

3.2.1 Produktspesifikasjon

En nøyaktig spesifisering av prosjektet er obligatorisk og må være forstått når planleggingen og kostestimeringen starter.

3.3 Kostestimering

En prosjektleder burde gjennomføre en uavhengig estimering av kost og tid for et fotogrammetrisk kartleggingsprosjekt. Denne uavhengige estimeringen gir en god pekepinn på hva prosjektet burde koste, slik at det kan bli kjøpt for en rettferdig pris. Denne typen uavhengig estimering må ta med alle viktige deler av prosjektet.

De fire viktigste punktene som påvirker kostnadsoverslaget er: Arbeidskraft, utstyr, kostnader og profit.

Hele kapittel 17 i boken *Aerial Mapping* (Falkner & Morgan 2002) handler om kostestimering. Nedenfor kommer en del av de viktigste punktene derfra.

3.3.1 Arbeidskraft

De menneskene som skal utføre alt arbeidet er sannsynligvis den største faktoren i en kostanalyse av et prosjekt. En trenger å finne ut hvor mye hver person må jobbe, og hvor mye det koster å ha denne personen i arbeid. Timer ganger kost per time.

3.3.2 Utstyr

Hardware og software for de forskjellige delene i et prosjekt kan være meget dyre. Spesielt fly, kameraer, landmålingsutstyr og software kan utgjøre store kostnader. Dette er ting som oftest er store engangssummer fulgt av flere små driftssummer. For utstyr burde andre som har vært borti andre lignende prosjekter konsulteres for å finne en cirka timepris.

3.3.3 Kostnader

Kostnader er de kostnadene som ligger i å drive bedriften utenom prosjektet. En bedrift trenger blant annet kontorlokaler, strøm, diverse utstyr, vedlikehold, oppdateringer og annet personell for å fungere.

3.3.4 Profit

Målet for alle bedrifter er å tjene penger. Dermed må de få betalt mer enn det utføringen av oppdraget koster.

3.3.5 Kost

Her kommer det et eksempel på hvordan en kan regne ut kosten for flyfotografering. Det er viktig å ta med mange faktorer. Eksemplet er laget i 2002, og det er snakk om film og ikke digitale bilder. Dermed er det ikke helt riktig i forhold til hva som blir gjort i dag.

Regneeksemplet er hentet fra (Falkner & Morgan 2002).

| Production Hours for Aerial Photography | |
|--|--------------------------------------|
| Direct Labor | |
| Project mission: | |
| Flight preparation = | 1.5 h |
| Takeoff/landing = | 0.5 h |
| Cross-country flight = | miles to site × 2 ways/mph |
| | = _____ × 2/_____ |
| | = _____ h |
| Photo flight = | |
| End turns = | lines × 0.08 h = _____ h |
| Photo lab: | |
| Develop film = | _____ photos × 0.04 = _____ h |
| Check film = | _____ photos × 0.04 = _____ h |
| Title film = | _____ photos/40 = _____ h |
| Contact prints = | _____ photos/45 = _____ h |
| Equipment Rental | |
| Aircraft = | project mission hours = _____ h |
| Airborne GPS = | project mission hours = _____ h |
| | (if not included in aircraft rental) |
| Film processor = | develop film hours = _____ h |
| Film titler = | title film hours = _____ h |
| Contact printer = | contact prints hours = _____ h |

Videre vil det være lignende regnestykker for de kommende prosessene, som aerotriangulering, ortofoto og kartproduksjon.

Informasjon for kostestimering er hentet fra (Falkner & Morgan 2002)

3.4 Planlegging

For at en flyfotografering skal bli vellykket, uansett fartøy, er planleggingen viktig. En flyplan som omhandler alle deler av fotograferingen er obligatorisk. Det er en del krav for utføring av flyfotografering. Under er en liste med krav fra Kartverket.

I Kartverkets Standarder for Geografisk Informasjon, Produksjon av basis geodata, versjon 2015 høring (Kartverk 2015) kan en finne masse informasjon om planleggingen av flyfotografering. Punktene nedenfor er flere av kravene. Punktene er tatt direkte fra (Kartverk 2015). Det har nå kommet en endelig versjon av denne. Den og mange andre standarder fra kartverket kan finnes på deres internettside.

- *GSD skal normalt bestemmes av oppdragsgiver og velges slik at kravene til fullstendighet og nøyaktighet blir oppfylt. Flyhøyden skal velges slik at kravet til GSD oppfylles for hver enkelt flystripe. Dersom annet ikke avtales skal GSD refereres til midlere terrenghøyde i hver stripe. Det tillates et planlagt avvik i GSD på maks. $\pm 10\%$. Ev. avvik fra dette skal avtales.*
- *Flystripene skal plasseres optimalt, slik at den resulterende bildeblokka får en mest mulig regulær form og flest mulig parallelt overlappende striper (for å sikre best mulig bildeorientering).*
- *Delområder i rimelig nærhet av hverandre skal forbindes ved at flystripene forlenges (for å sikre best mulig bildeorientering og redusere behovet for kjentpunkter).*
- *Flystripene skal plasseres, og overdekningen skal ev. økes, slik at det sikres best mulig innsyn i alle områder og god bilde- og stripesammenbinding i områder med mye vann.*
- *Stereodekning utenfor avtalt prosjektområde skal utgjøre 50 % av avtalt side- og lengdeoverdekning. I tillegg skal det planlegges et ekstra bilde i hver stripe-ende (for å sikre kvaliteten i bildeorientering i prosjektets ytterkanter)*
- *Sideoverdekningen skal i gjennomsnitt ikke være mindre enn avtalt verdi. På høyeste punkt mellom stripene kan det planlegges ned til 5 % sideoverdekning. Lengre strekk med slik marginal sideoverdekning skal ikke forekomme.*
- *Lengdeoverdekningen skal være minimum avtalt verdi overalt i fotograferingsområdet.*
- *I bildeblokker med flere striperetninger skal striper med kryssende retning overlape hverandre med minimum en stripebredde.*
- *Kjedede enkeltstriper, dreid en vinkel i forhold til hverandre, skal overlape hverandre med minimum to stereomodeller i hver stripe.*
- *For vegkartlegging eller annen stripekartlegging skal det tilstrebes at vegen blir sentrisk i stripene. Dette skal likevel ikke hindre en hensiktsmessig flyplan, og kravene til bildeorientering skal ivaretas.*
- *Maksimal stripelengde skal tilsvare maksimum 20 min. flytid (for å holde IMU-drift på et akseptabelt nivå).*

For det området som skal fotograferes trengs det en fly- og fotograferingsplan. Flyplanen består hovedsakelig av flystriper som viser hvor flyet skal fly og hvor bildene skal bli tatt. Planen inneholder også det som står ovenfor. Stripene blir påvirket av de forskjellige kravene.

Før GNSS var nøyaktig var en avhengig av kjentpunkt/signaler på bakken for å få *GEO-referert* bildene. Nå gjøres det under aerotrianguleringen. Kjentpunkt brukes til å kontrollere opp mot grove feil og georeferering.

Det tar tid å sende landmålere ut i feltet, og derfor er det viktig å ha en god signaleringsplan. Signaleringsplanen bygger på fotograferingsplanen/flyplanen, og viser plasseringen til signalene. Signaler brukes for å kunne finne punkt i bildet som har sikre koordinater, og disse danner grunnlaget for aerotriangulering. Signalene må plasseres godt synlig, og størrelsen varierer. Når de skal ses fra et fly trenger de å være store, men hvis det er snakk om en droneflyving der bakkeoppløsningen er rundt 1cm klarer en seg med noe mye mindre. Størrelsen varierer gjerne fra 50cm til 20cm. Det er viktig at det er en kontrast som gjør signalene synlige. Jeg har personlig erfaring fra sommerjobb der det ble brukt en 40x40cm hvit rute som det ble sprayet svart rundt. Den svarte sprayen gjorde at det ble mer kontrast til det hvite så signalene skulle synes lettere i flybildene. Det er viktig at disse signalene blir målt inn meget nøyaktig. Ved bruk av CPOS skal de måles inn 3 ganger med 15 minutters mellomrom, eller 2 ganger med 45 minutters mellomrom.
(Statens Kartverk 2009)

Det er strenge krav for signaleringen. For å utføre aerotriangulering trengs det kun noen få kjentpunkt hvis flyet har GNSS/INS. Kjentpunktene brukes til å bestemme systematiske avvik i de GNSS-bestemte projeksjonssentrene, og for å ha kontroll mot grove feil. Derfor stilles det følgende krav:

- *Det skal være minimum ett fullbestemt kjentpunkt i hver flystripe.*
- *Kravet over kan avvikes dersom blokka planlegges med tverrstriper, forutsatt at dette gir tilsvarende kontroll. I hver tverrstripe skal det minimum være ett fullbestemt kjentpunkt i hver ende og tverrstripene skal plasseres i blokkas ytterkanter.*
- *I en bildeblokk skal det være minimum 5 fullbestemte kjentpunkter. Avvik fra dette (f. eks. ved svært små blokker og ved mange spredte øyer) kan tillates dersom oppdragsgiver har åpnet for dette i teknisk spesifisering for oppdraget. I slike tilfeller skal det sørges for at korrekte GNSSskift blir påført bildene.*
- *I blokker som inneholder kjedede enkeltstriper skal det være minimum ett fullbestemt kjentpunkt i hvert overlapsområde mellom stripene, samt minimum ett i enden av hver kjede.*
- *Kjentpunktene skal fordeles jevnt over hele bildeblokka og det skal påses at det finnes kjentpunkter langs blokkas ytterkanter.*

Tatt direkte fra (Kartverk 2015)

3.5 Flykamera

Når det er signalert og været er riktig er det på tide å få tatt bilder. For å ta bilder trengs det et kamera. For moderne flyfotografering brukes det et storformat digitalkamera. For flyfotografering kreves det et digitalkamera som er ganske annerledes enn det vi er vant til.

UltraCam Eagle fra Microsoft er et flykamera. For pankromatiske bilder har det en oppløsning på 20,010 x 13,080 piksler og det veier 72kg. Det kan ta bilder i den røde, grønne og blå kanalen (RGB), og det har en nærinfrarød sensor. Denne typen sensor er heldigvis ikke nødvendig for dronefotografering. (Microsoft)



Figur 3.1 UltraCam Eagle (Microsoft_Asia 2011)

Kameraet som blir brukt skal være montert i en gyrostabilisert kameraramme. Operatøren/oppdragstakeren er ansvarlig for dette. Samt at kameraet er riktig kalibrert i løpet av de siste 2 årene. Det må også oppfylle kravene fra Kartverket som følger nedenunder.

- **Bildevandring:** Rammekameraene skal ha digital eller mekanisk bildevandringskompensasjon (FMC). For linjesensorene er ikke dette påkrevet.
- **Kalibrert kamerakonstant:** Skal være bestemt med standardavvik $\leq 3 \mu\text{m}$
- **Bildevandring:** Autokollimasjonshovedpunktet (PPA) skal være bestemt med standardavvik $\leq 3 \mu\text{m}$. PPA = Principal Point of Autocollimation.
- **Radiell fortegning:** Radiell fortegning er normalt kompensert i leverte bildedata. Skal være bestemt med standardavvik $\leq 2 \mu\text{m}$

(Statens Kartverk 2009)

Noe veldig viktig for hele prosessen er at kameraet sender «gimbal» data fra gyrostabilisatorrammen til GNSS/INS-utstyret. Dette er data som forteller oss hvordan rammens bevegelser har vært og er under bildeopptaket. Hvert bilde blir «time-tagged» ved hjelp av GPS-klokken. Dette er fordi alt må bruke samme klokke så ting kan settes sammen.

3.6 Fotografering

Før flyet starter å ta bilder må det ha fått såkalt fix-løsning. Dette vil si at GPS-systemet danner en nøyaktig løsning basert på egne observasjoner som sammenstilles med

referansedata fra CPOS. Fix-løsning oppnås når det ukjente antallet hele bølgelengder i avstanden til hver satellitt er bestemt. (Statens Kartverk 2014)

Kartverket har store mengder krav for utføringen av fotografering. Nedenfor er kravene listet opp.

- Dersom ikke annet er avtalt skal oppdragsgiver for fotograferingen gi skriftlig klarmelding om at fotografering kan starte. Klarmelding skal gis så tidlig som mulig, og for hvert ev. delområde. Klarmelding(e) skal bekreftes skriftlig av oppdragstaker.
- Dersom ikke annet er avtalt skal fotograferingen utføres med geometrisk og radiometrisk kalibrert storformat digitalt kamera.
- Kameraet skal ha eksponeringskontroll og denne skal benyttes aktivt under fotografering for å unngå skadelig over- og undereksponering, uskarpe bilder og tap av detaljer.
- Et prosjekt skal fotograferes over et kortest mulig tidsrom og det skal tilstrebes at flystriper fotograferes mest mulig samlet. Ved fotografering over flere dager eller GNSS-sesjoner skal det sørges for at tilstrekkelig med kjentpunkter blir dekket slik at systematiske GNSS-skift kan bestemmes for hver dag/hver fotosesjon.
- Det skal tilstrebes at fotografering blir utført på en tid på dagen som er mest mulig gunstig mht. overflateforhold og topografi.
- Ved avbrudd i fotografering i en flystripe skal stripen som hovedregel fotograferes på ny. Unntakene er spesielt lange striper (f.eks. > 25 km), eller der fortsettelse kan skje kort tid etter avbrudd og i samme fotosesjon. Dersom det ikke er mulig å fly om stripen før etter lengre tid skal oppdragstaker vurdere hva som er til prosjektets beste mht. nøyaktighet og samlet visuell kvalitet i bildene. Fotografering over mer enn to dager på samme stripe aksepteres normalt ikke.
- Dersom striper må skjøtes skal det fotograferes tilstrekkelig overlapp over bruddet slik at nøyaktighetstap unngås og slik at stereodekning over bruddet fra begge sider blir mulig. Flyretningen skal være lik i begge delene av stripen.
- Parallelle nabostriper skal som hovedregel fotograferes i motsatt retning
- Krav til min. solhøyde under fotografering: o I kartleggingsprosjekter: $\geq 25^\circ$ o I ortofotoprojekter: $\geq 30^\circ$ I kombinerte prosjekter, eller ved andre krav enn de ovenfor nevnte, skal oppdragsgiver spesifisere min. tillatte solhøyde i tilbudsforespørsel e.l.
- Krav til maks. innhold av skyer og skyskygger under fotografering:
 - o I kartleggingsprosjekter: Skyer: $\leq 5\%$, skyskygger: $\leq 10\%$ av prosjektområdet
 - o I ortofotoprojekter: Skyer: 0% , skyskygger: $\leq 3\%$ av prosjektområdet
- Mindre skyer kan godtas dersom det likevel er mulig å produsere et skyfritt ortofoto ved hjelp av det totale bildematerialet. I kartleggingsprosjekter aksepteres fotografering under slørskyer såfremt de ovenfor nevnte kravene holdes og at dette ikke medfører tap av detaljer, unaturlig fargetone og lav kontrast i bildene. I kombinerte prosjekter, eller ved andre krav enn de ovenfor nevnte, skal oppdragsgiver spesifisere maks. tillatte andeler av skyer og skyskygge i tilbudsforespørsel e.l.
- Dis eller røyk som medfører tap av detaljer eller skarphet skal ikke forekomme.
- Kameraets tillatte rotasjoner under fotografering skal tilsvare:
 - o Omega og Phi-rotasjon, gj.snittlig avvik fra vertikal: maks. 1.0°
 - o Omega og Phi-rotasjon, enkeltavvik fra vertikal: maks. 3.0°
 - o Kappa-rotasjon, gj.snittlig avvik fra flyretningen ("crab"): maks. 5.0°
 - o Kappa rotasjonsendring, avvik mellom to påfølgende bilder: maks. 5.0°

Krav til resulterende bakkeoppløsning og bildedekning:

- GSD*, gj.snitt: avtalt verdi

- Maks. GSD*, enkeltbilder: avtalt verdi + 10%
- Stereodekning utenfor avtalt prosjektområde: ≥ 50 % av avtalt side- og lengdeoverdekning
- Sideoverdekning, gj.snitt: \geq avtalt verdi
- Min. sideoverdekning, enkeltbilder: ≥ 5 % (aksepteres kun lokalt på høyeste topp(er))
- Lengdeoverdekning, gj.snitt: avtalt verdi
- Lengdeoverdekning, enkeltbilder: ≤ 5 % fra avtalt verdi (ved lokale store høydeforskjeller aksepteres en større overdekning i de lave områdene) *). Antas kontrollert indirekte som avvik fra planlagt/korrekt flyhøyde

En detaljert logg skal føres under fotografering. Denne skal arkiveres sammen med øvrig dokumentasjon fra kamerasystemet og skal kunne fremlegges for oppdragsgiver på forespørsel. Loggen skal minimum inneholde:

- Navn på sensoroperatør og pilot samt benyttet kamerasystem og fly
- Dokumentasjon av utførte kontroller før, under og etter fotografering
- Tidspunkt for start/stopp av kamerasystem og start/stopp av flystriper. Flyretning pr. stripe
- Værforhold: skyforhold, sikt, vind og ev. turbulens pr. flystripe
- Eksponeringssettinger pr. flystripe og ev. enkeltbilder
- Informasjon om ev. avbrudd i flystripe
- Informasjon om ev. problemer med utstyr, værforhold, e.l. som kan forårsake redusert kvalitet i innsamlede data

Umiddelbart etter fotograferingen skal det utføres tilstrekkelig prosessering og kontroller som verifiserer at innsamlede data er egnet for den planlagte bruk. Oppdages avvik eller forhold som kan medføre behov for ny fotografering skal oppdragsgiver underrettes umiddelbart sammen med et forslag til plan for fullføring av oppdraget. (Kartverk 2015)

3.6.1 GNSS/INS-støttet flyfotografering

I nesten alle moderne flyfotograferinger blir det brukt GNSS og INS (Maalen-Johansen 2013-2014). INS (Inertial Navigation System), altså treghetsnavigasjon, kan sammen med GNSS brukes til å bestemme posisjon og orientering på kameraet. Ved hjelp av aerotriangulering kan avviket i orienteringen mellom treghetssensoren og kameraet (boresight misalignment) løses ut. Hvis vi ser på boresight misalignment som kjent fra tidligere beregninger vil det være mulig å bestemme ytre orientering direkte fra GNSS og INS. (Statens Kartverk 2009)

3.7 Ortofoto

Fra digitale flybilder kan det lages ortofoto. Ortofoto har samme geometri som et kart, så dette er meget gunstig til kartproduksjon. Det kan også brukes som bakgrunn til kartinformasjon. (Statens Kartverk 2013a)

Det finnes tre ortofotostandarder. Disse blir brukt til forskjellige formål.

Fremstilling av de beste ortofotoene, "Ortofoto 10", er mye dyrere enn å fremstille "ortofoto 50", så det er bare når det er nødvendig at det blir laget «ortofoto 10».

"Ortofoto 10"

Dette blir brukt i den del byområder og andre områder der det kan tenkes at det kommer til å bli behov for dette. Disse prosjektene vil ikke ha alt for stort areal. Bakkeoppløsningen (GSD) er dermed et sted fra 10-15cm. I disse områdene vil det bli flydd ca. hvert femte år.

Denne typen ortofoto passer godt sammen med FKB-A/B-data i skjermmålestokk ned mot 1:300.

(Statens Kartverk 2013b)

"Ortofoto 20"

Dette er et flerbruksortofoto, som blir valgt i områder der det trengs mer nøyaktighet enn det omløpsfotograferingen gir. Bakkeoppløsningen ligger på 20-25cm.

Denne typen ortofoto passer godt sammen med FKB-A/B-data i skjermmålestokk ned mot 1:500.

(Statens Kartverk 2013b)

"Ortofoto 50"

Dette er resultatet av at det i 2006 ble startet med nasjonal omløpsfotografering. I starten var bakkeoppløsningen for denne standarden 50cm. I 2011 var bakkeoppløsningen som regel 40cm, men fra 2012 har bakkeoppløsningen falt til 25cm. Bakkeoppløsningen er nå på 25cm.

(Statens Kartverk 2013b)



Figur 3.2 Bildet viser kvaliteten på de ulike versjonene av ortofoto. (Statens Kartverk 2015)

4 Landmåling

Tradisjonell landmåling er den normale måten for å kartlegge mindre områder. Enten ved hjelp av en laserskanner, totalstasjon eller CPOS/RTK/GPS, vil landmålere bevege seg rundt i området som skal kartlegges og utføre målinger. Dette kan noen ganger være tidkrevende og utfordrende.

4.1 En lettere måte å kartlegge små områder på

Små droner utstyrt med kamera kan brukes til å fotografere området. Ut ifra disse bildene kan en generere en punktsky. Dette vil være en kjapp måte å få kartlagt det ønskede området på. Hvis dette skal være tidsbesparende avhenger det av at alle prosessene er godt kjent og at flere er automatisert.

4.2 Kartlegging med fotogrammetri

Gjennomføringen av en flyfotografering består av flere ledd. Når området er bestemt må det utarbeides en flyplan. Før det kan flys må det signaleres av landmålere. Først når dette er gjort kan det flys. Flybildene må så bli sendt fra flyplassen til det kontoret der de skal bli bearbeidet i diverse dataprogrammer for å bli til et endelig produkt.

(Statens Kartverk 2009; Statens Kartverk 2013a)

Flyplanen består av flere punkt, noen av de viktigste er flystriper, lengde/side-overdekning, GSD og flyhøyde.

5 Droner

«DET VAR SOM TATT UT av en James Bond-film eller en Tom Clancy-roman. Over ørkenen i Jemen, i 10000- 15000 fots høyde, fløy en Predator, et ubemannet spionfly, også kalt en drone. Ved hjelp av fjernstyring ble en Hellfire luft-til-bakke-rakett skutt ut mot sitt mål, et ledende medlem av al-Qaida.

Qaed Sinan Harithi, også kalt Abu Ali, hadde ikke en sjanse. Det hadde heller ikke de fem andre mennene han kjørte sammen med gjennom ørkenen. Jeepen de satt i, ble sprengt i filler, de seks kroppene ble forbrent til det ugjenkjennelige». (J.E.Smilden 2002)

Dette er starten på Smildens artikkel om USAs dronebruk til krigføring (J.E.Smilden 2002). Dette er også det de fleste tenker på når de hører ordet drone. De siste årene har det vært en kraftig oppblomstring av private hobbydroner. Tilbudet er stort og prisene lave. Med bedre teknologi har de også blitt veldig lette å fly.

5.1 Hobby

De fleste droner som selges til privatpersoner er små og lette quadcopters, altså fire propeller. De vanligste typene er ganske små og bare til å leke seg med, eller de litt større som kan bære kamera. De med kamera kan brukes til mye forskjellig. De litt mer avanserte dronene har som regel innebygd GPS og er veldig stabile i luften. Den mest kjente hobbydronen er Phantom-serien fra kinesiske DJI. Dette er droner i prisklassen 5000 til 15000kr, avhengig av modell og hvor mye ekstra som skal følge med. (M.Arnesen 2015)

Den store veksten i salg av hobbydroner skyldes blant annet at prisen på de elektriske komponentene som trengs er blitt veldig billige. At arbeidskraften i Kina, som står for mesteparten av masseproduksjonen av disse komponentene, er lav hjelper også. Dermed kan relativt kompliserte droner masseproduseres for salg. (Arnesen 2015; M.Arnesen 2015)

Det er mange spørsmål om hva man som privatperson har lov til å gjøre med droner. Luftfartstilsynet har laget et informasjonsirkulære (AIC) for dronebruk. AIC står for aeronautical information circular, og består av informasjon om hvilke krav som stilles til brukeren av en drone/UAV/RPAS (Remotly piloted air system). Dette AIC omhandler mest kommersiell bruk av droner/RPAS. De velger å bruke RPAS fordi det er mer presist enn en drone. Mange bruker sine droner til å ta bilder. Nasjonal sikkerhetsmyndighet (NSM) skriver at *«Du trenger ikke lenger søke Nasjonal sikkerhetsmyndighet om tillatelse til fotografering eller filming fra ubemannede luftfartøy så lenge luftfartøyet er innen synsrekkevidde av operatøren og flyr utenfor restriksjonsområder. Den 2. april ble prøveordningen som sier dette innført. I 2015 ble prøveordningen permanent. Det er fortsatt forbudt å fly og filme i restriksjonsområder. Ellers fritt fram. .»* (Nasjonal sikkerhetsmyndighet)

5.2 Kommersielt

Kommersiell bruk av droner er mangt. Det startet nok innenfor film- og tv-produksjon. Ekstremспорт var tidlig ute med bruken av droner i kombinasjon med et GoPro-kamera. Det

har også blitt vanlig for meglere å bruke dronefoto for å vise fram salgsobjekter fra nye vinkler. Inspeksjon av diverse gjenstander som for eksempel trær, broer og kraftlinjer som er vanskelig tilgjengelige eller farlige, kan gjøres enklere ved bruk av droner. (M.Arnese 2015)

Kartlegging fra luften er et relativt nytt område som er under stor utvikling. Det er oftest brukt små fly, såkalte fixed-wing, og ikke rotorbaserte helikopterdroner. Fixed-wing-droner har et kamera som er låst og kan dermed bare brukes til å ta bilder ovenifra. Dette gjør det egnet til sitt formål. På rotordroner har en ofte muligheten til å rotere kameraet, og dermed kan en ta skråbilder av bygg og lignende. Disse rotordronene med fire eller flere propeller blir mer og mer vanlig til kartlegging, sannsynligvis fordi de kan løfte mer og dermed ta med en liten laserskanner. En helikopterdrone kan lande vertikalt. Det betyr at den kan lande de fleste steder. Et lite minifly som lander ved å gjøre en «kontrollert kræslanding» trenger en større åpen plass å lande på. Dermed vil en helikopterdrone egne seg bedre i bebyggelse.

For bruk av droner kommersielt er det et stort regelverk. For å få lov til å starte og fly, må man først ha en godkjent «Operasjonsmanual». Det er to typer Operasjonsmanualer, en for lette fly under 2kg, og en for tyngre farkoster. Når en har fått godkjent en operasjonsmanual kan en søke om en RPAS Operatørlisens. Får en godkjent denne også er en klar til å fly. (M.Arnese 2015)

For mer informasjon, oppsøk Luftfartstilsynet.

5.3 Militært

Bruken og utviklingen har skutt i været siden starten av 2000-tallet. Det finnes veldig mange forskjellige droner, både med tanke på størrelse, utforming og bruksområde.

5.3.1 Stridsdroner

Dette er den type drone som har med seg våpen. Predator-dronen som er nevnt ovenfor er en slik drone. Sammen med Reaper-dronen, som er en større utgave, er de og andre stridsdroner veldig omdiskuterte. Med kraftige sensorer og laserstyrte missiler ender de ofte opp med å drepe mange sivile.

USA, som er den klart største brukeren av droner, har i dag flere tusen stridsdroner. Norge har ennå ikke anskaffet noen. (Lied & Kjølleberg 2013)

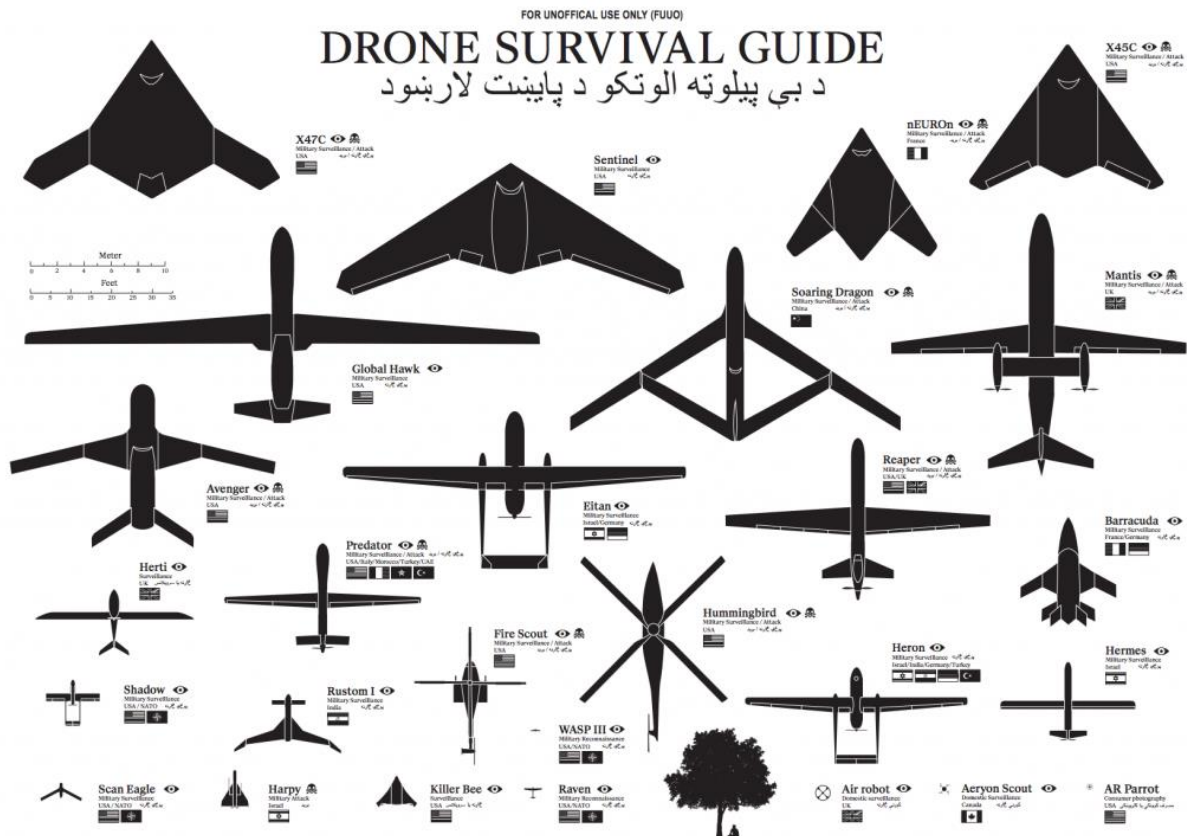
5.3.2 Taktiske overvåkningsdroner

Ca. 80 land bruker denne typen droner. Ofte blir de brukt i stridssituasjoner for å få overblikk over fienden. Dronene er som regel små og lette. En vanlig type overvåkningsdrone er «Raven». Det norske militæret har brukt denne dronen i Afghanistan i flere år. (Lied & Kjølleberg 2013)

5.3.3 Ubemannede jagerfly

Dette er den nyeste typen dronefly. I 2013 startet USA sine første flyturene med stealth-dronen X-47B. Mange land har utviklet denne typen ubemannede jagerfly. Det er spådd å være fremtidens fly. De er selvstyrte og kan gjøre nesten alt selv. Krigføring uten å risikere sine egne menns liv. (Lied & Kjølleberg 2013)

Det norske forsvaret har kommet fram til at denne typen ubemannede kampfly ikke kan ta over for bemannede jagerfly.



Figur 5.1 Bildet viser mange forskjellige militære droner. Bildet er fra: <http://dronesurvivalguide.org>.

5.4 Droner til landmåling

Droner blir brukt til å kartlegge mindre områder. Operatøren skal alltid ha visuell kontakt med dronen. Dette avgjør i prinsippet hvor store områder som kan dekkes. Målet med bruk av droner til kartlegging er ofte å få ut en punktsky og ortofoto som det vil være mulig å utføre målinger i. Derfor er nøyaktigheten av resultatet viktig, og det er viktig med gode GCP'er og/eller god GNSS på dronen.

Fordele

- Det går fort å kartlegge et område det ville tatt lang tid for en landmåler å få kartlagt ved hjelp av tradisjonelle metoder. Selve flyvingen går fort. Det er det som er før og etter som tar mer tid.
- Kan få oversikt over ellers vanskelige områder. Enten det er fysisk vanskelig eller noe faremoment.

- Flere mennesker kan ta del i den visuelle inspeksjonen av et område.
- Hvis en hadde glemt noe og måtte dratt tilbake kan en bare se i punktskyen.
- Lett å operere. For kartlegging er det bare å bestemme et område en vil ha flydd på datamaskinen, og så flyr den, tar bilder og lander selv.
- Det er gøy!

Ulemper

- Nøyaktigheten er ikke like god som ved tradisjonell landmåling.
- Får ikke dataene med en gang. Trenger en stund med prosessering.
- Kan være kranglete lovverk, spesielt for de større dronene.
- Kan ikke fly i all slags vær. Kan som regel fly i en god del vind, men bildene og spesielt GNSS-observasjonene kan være dårligere. Er en fordel at solen er ganske høyt på himmelen, da en ikke vil ha skygger.

5.4.1 Helikopter og fixedwing

De to hovedtypene drone for landmåling er helikopter og fixed-wing-droner. Helikopter har tre eller flere propeller som gjør at den holdes meget stabil i luften. Denne typen helikopter kan bevege seg på flere måter og stå i ro, i motsetning til fixed-wing. Helikopter har som regel større bæreevne også. Derfor er det på disse at det kommer til å komme laser. Fixed-wing, som er et lite minifly, kommer til å måtte klare seg med kamera i flere år til.

6 Teori

6.1 Fotogrammetri

Etter (Store Norske Leksikon 2009) er fotogrammetri «*læren om måling i fotografiske bilder, fotogrammer for å bestemme geometriske egenskaper som form, størrelse og beliggenhet av fotografert objekt.*»

For å måle i bilder er det nødvendig å ha den ytre orienteringen som trengs. YO finner en ved å rekonstruere fotograferingssituasjonen/-øyeblikket. Den indre orienteringen er også nødvendig å ha. Den finner en ved å kalibrere etter strålebuntmetoden. (A.Tiltnes 2010)

6.2 Indre orientering, form og dimensjon i opptakskameraet

Indre orientering er å bestemme kameraets indre orienteringselement. Dermed får en den indre geometrien. Orienteringselementene får en ved å gjøre en kamerakalibrering. De indre orienteringselementene for digitale bilder er:

- Hovedbildepunkt: Punktet som går normalt ned fra projeksjonssenteret ned på bildeplanet. PPS (Principal Point of Symmetry).
- Størrelsen på bildebrikken: Antall piksler i x- og y-retningen.
- Kamerakonstanten (c): Avstanden fra lensens projeksjonssenter til bildehovedpunktet.
- P1 og P2: Korrigeringer for desertering av linsesystemet.
- K1, K2 og K3: Korrigeringer for radiell fortegnings.

(A.Tiltnes 2010) (Maalen-Johansen 2013-2014)

6.3 Ytre orientering

Ytre orientering går ut på å finne opptakskameraet sin plassering i rommet ved fotograferingsøyeblikket. Det er 6 ytre orienteringselementer. Det er tre for posisjonen (x,y,z) og tre orienteringselementer (ω , ϕ , κ).

Ytre orientering kan finnes ved hjelp av GNSS/IMU eller ved tilbakeskjæring i rommet. Ved hjelp av GNSS/IMU finner en direkte posisjonen. Ved bruk av tilbakeskjæring i rommet blir det brukt flere GCP til å beregne kameraets posisjon.

(Maalen-Johansen 2013-2014)

6.4 Aerotriangulering

Aerotriangulering med blokkutjevning utføres for å fremskaffe ytre orienteringsdata for passpunkter for bildene. For å utføre en aerotriangulering trengs det godt bestemte

kjentpunkt. Det er også en fordel å ha koordinater fra GNSS for kameraets projeksjonssenter. Dermed vil antallet markmålte punkter som trengs være mulig å redusere. Bruk av aerotriangulering uten kjentpunkter og kun med bruk av GNSS og INS skal ikke utføres hvis kravet til sluttproduktets nøyaktighet er høyt.

Antall kjentpunkter avhenger av hvordan det er planlagt at bildene skal brukes og hvordan flyfotograferingen og aerotrianguleringen skal utføres. Påliteligheten med hensyn på grove feil blir lav med få kjentpunkt.

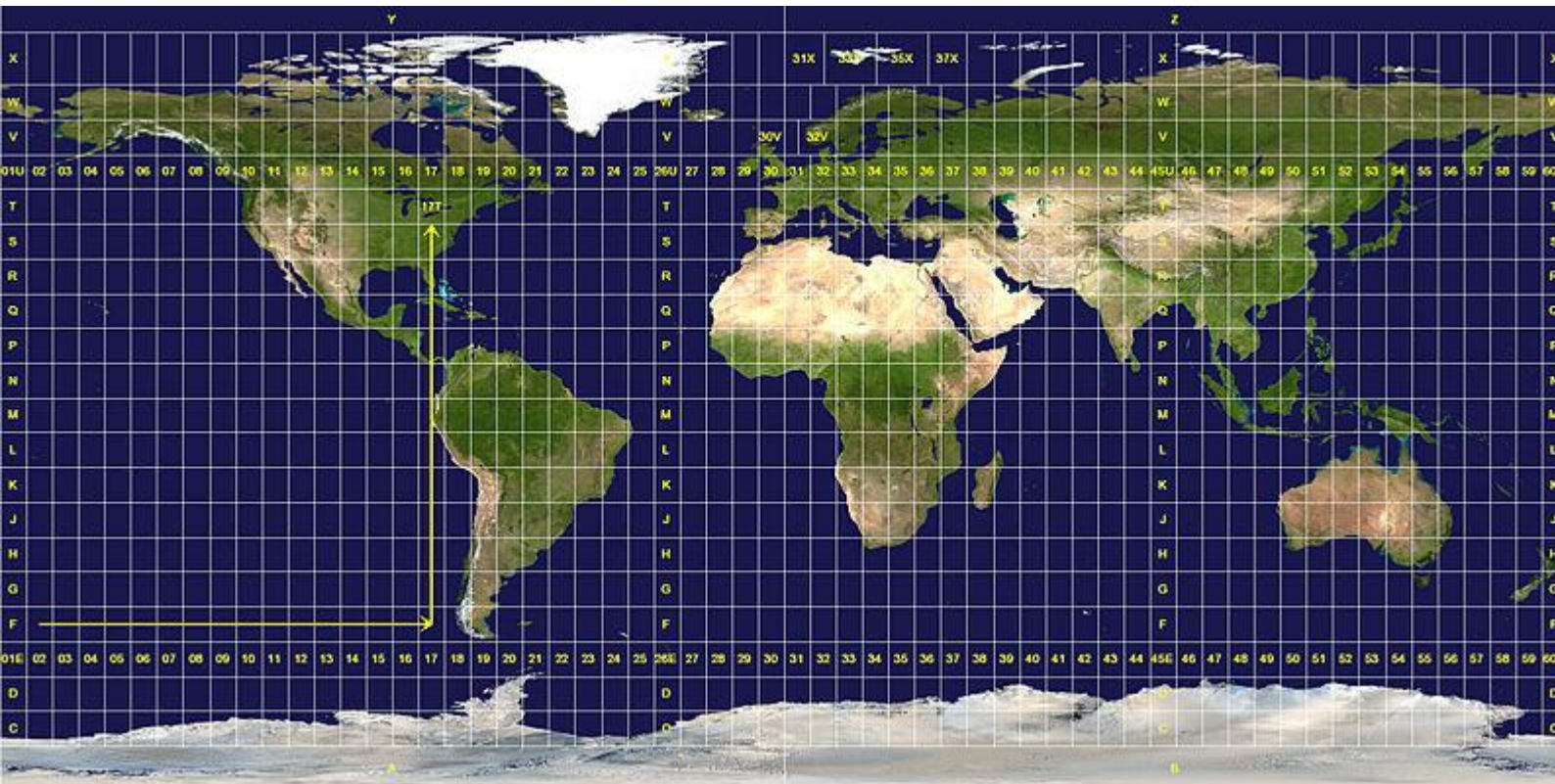
Målet for masteren er her å se om nøyaktigheten blir god nok med få eller ingen kjentpunkter for et lite område.

(Statens Kartverk 2009)

6.5 Geodetisk grunnlag EUREF89 NTM (Norsk Transversa Mercator)

I løpet av første halvår 2009 ble EUREF89 innført som offisielt datum og projeksjon i alle landets kommuner. EUREF89 er et moderne, homogent og nøyaktig geodetisk grunnlag. I nesten all bruk er dette veldig praktisk og kan brukes som om det var feilfritt. (Kartverket)

UTM står for Universal Transverse Mercator, og er et system av kartprojeksjoner som, foruten polene, dekker hele jordkloden.



Figur 6.1: Bildet viser verdens UTM soner. (gis-lab)

EUREF89 har likevel et lite problem. "UTM-projeksjonen har en målestokkfaktor på 0,9996 i sentralmeridianen." Altså for hver 100m som blir målt må en legge på 4cm. Dette kan medføre problemer når det er snakk om store bygg. Det er innført EUREF89 NTM for bygg- og anleggsbransjen for å få bort dette problemet. (Kartverket 2013)

6.6 Digital høydemodell (DHM)

En digital høydemodel kunne også blitt kalt en overflatemodell. Ingen objekter er fjernet fra modellen. I modellen er for eksempel hus, trær, bru og kronetaket i skogen med. (Statens Kartverk 2013b)

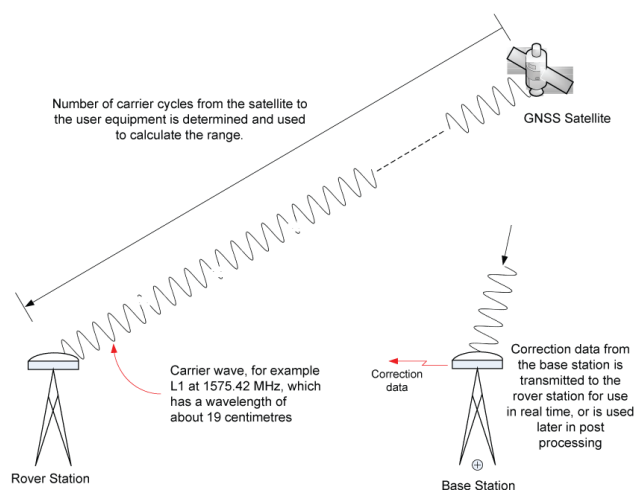
6.7 Digital terrengmodell (DTM)

En DTM er en modell av bakken. Her er alle hus, trær og annet som stikker opp fjernet. Punktene er noen ganger regelmessige rutenett, men som oftest i et uregelmessig mønster som følger terrengets knekklinjer. Ofte vil den uregelmessige metoden gir best resultat, da den kan følge terrengets linjer tettere. Antall punkt kan også variere etter behovet som følge av variasjoner i terrenget.

6.8 Triangulated irregular network (TIN)

En TIN-modell består av flere ikkeoverlappende triangler. Trekantene har en overflate og er laget ved hjelp av en punktsky. Punktskyen kan være en DHM eller DTM. (ET Spatial Techniques)

6.9 RTK



Figur 6.2 Bildet er fra (NovArel) Det viser hvordan RTK fungerer i praksis

RTK er en metode for å kunne bestemme posisjonen til en GPS med centimeters nøyaktighet. GPS-signalene som blir sendt er alene ikke gode nok til å kunne gi en enkelt GPS meget nøyaktige koordinater. Ved bruk av RTK er det vanlig at en selv setter opp en egen basestasjon som sender korreksjonsdata som kan korrigere satellittsignalene til brukerens GPS. (Kartverket)

Telefonene våre og alle andre GPS-utstyrte gjenstander vi bruker i hverdagen, bruker kodemåling til å bestemme posisjonen (pseudorange fra minimum fire satellitter). For ting som trenger høyere presisjon er det mulig å bruke fasemåling.

Fasemåling går ut på å måle svingningene til bæreølgen til signalene fra satellittene. Metoden trenger også navigasjonsmeldingen fordi en må vite hvor satellitten er til enhver tid. Dette er fordi med fase kan vi kun måle avstandsforandringen til satellitten, men med svært høy presisjon. GNSS-satellitter sender ut to forskjellige signaler. Disse signalene, L1 og L2, har en bestemt og kjent bølgelengde, men ulik frekvens. For å kunne bruke dette må antall hele og desimale svingninger til L1 og L2 være kjent. Så må antall bølgelengder bestemmes, antall hele og deler av hele. Dermed er det mulig å oppnå «Fix-løsning» og bestemme avstanden ned til cm-nivå. (NovArel)

6.10 CPOS

CPOS heter tjenesten der en i stedet for å sette opp sin egen basestasjon, mottar korreksjonsdata ved hjelp av GSM-nettet eller GPRS (Internett). I likhet med RTK har CPOS-tjenesten centimeters nøyaktighet. Dette gjør CPOS og RTK godt egnet til målinger som ikke må være helt nøyaktig. En sparer mye tid ved å ikke måtte bruke en totalstasjon. På Kartverkets sider er noen bruksområder innmåling av eiendomsgrenser, i anleggsmaskiner, landbruks- og skogsmaskiner til gjødsling/såing, gjenfinning og sjøkartlegging. For flyfotografering kan CPOS bli brukt av landmålere for å måle inn signaleringspunktene. Dette vil være optimalt ved bruk av eksisterende kjentpunkt eller punkt innmålt med totalstasjon, men det er ikke alltid mulig, og CPOS er veldig tidseffektivt. For laserskanning trengs det kontrollflater. Det blir også brukt CPOS for å måle disse. (Kartverket CPOS 2015)

Kvaliteten for CPOS er innenfor 5 centimeter horisontalt og 8 centimeter vertikalt i 95% av tiden. Dette er innenfor tjenestens dekningsområde. Dekningsområdet er etablert i hele landet. Det er bare noen få steder i Finnmark hvor avstandene fra de geodetiske stasjonene er for lange.

«Følgende forhold kan hindre satellittsignalene i å nå antennen og/eller medføre problemer med å oppnå spesifisert nøyaktighet:

- *Forhold som gjør at satellittsignalene reflekteres før de når antennen*
- *GPS/GLONASS-mottakerens evne til å eliminere reflekterte signaler*
- *Uro i atmosfæren, som for eksempel ionosfæreaktivitet ved solstorm og liknende*
- *Antall synlige satellitter og deres plassering/geometri*
- *GPS/GLONASS-mottakerens evne til å beregne posisjoner»* (Kartverket CPOS 2015)

6.11 Dronen

SenseFly er selskapet som har eBee dronen. Dette er et Sveitsisk selskap som ble opprettet i 2009. Det har ikke vært et stort marked for droner og heller ikke mange selskaper som har spesialisert seg på denne typen droner. SenseFly ble den ledende leverandøren for droner til kartlegging. På hjemmesiden deres står det at dronene deres er: *Safe, ultra-light and easy to use, highly automated*. Dette har gjort dronene populære blant brukere.

Siden oppstarten er det fixed wing-dronen, eBee, SenseFly har hatt på markedet. Det kommer også et quadcopter under navnet eXom, men det har ennå ikke kommet på markedet (per dags dato, 02.02.15).

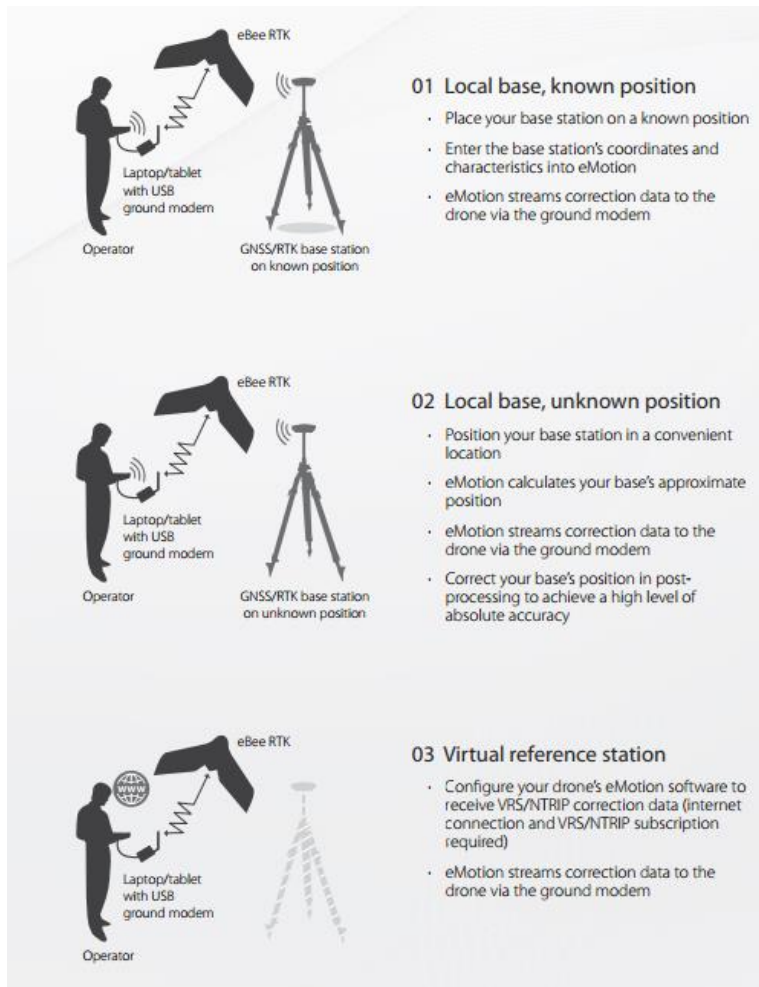
eBee-dronen uten RTK har vært i salg og bruk i noen år nå. I starten på 2014 kom det også en RTK-støttet versjon. Med RTK får vi vite posisjonen til dronen/kameraet til hvert bilde. Dette gjør at en kan få georeferert bildene uten å ha signaleringspunkter på bakken. Store fly bruker også GNSS/INS når de tar bilder. Her må de også ha kontrollpunkter på bakken på grunn av nøyaktighet og kontroll. Det kan hende at det er problemer med RTK/CPOS under flyvningen. Å ha noen punkter til kontroll vil være nødvendig. Dette avhenger av kravene til oppgaven/jobben.

På SenseFly sin hjemmeside kan en finne en ganske detaljert reklame-PDF om eBee RTK. Den ligger på linken:

https://www.sensefly.com/fileadmin/user_upload/documents/brochures/eBee_RTK_en.pdf
I brosjyren/PDFen står det at nøyaktigheten for en digital terrengmodell er ned mot 3cm uten GCPs. Ingen GCP betyr mindre arbeid i feltet, som er tid spart. Denne nøyaktigheten er det jeg ønsker å undersøke om stemmer.

Arbeidsflyten til eBee RTK skal være veldig lett. Det er integrert en flyplanlegger som gjør planleggingen kjapp og enkel for de som ikke er satt inn i flyplanlegging. eMotion, som softwaren for flyvingen heter, tar seg av oppkoblingen mellom drone og basestasjon. Den er kompatibel med eksisterende basestasjoner, så det er ikke nødvendig å sette opp sin egen så lenge den kan ta imot signaler fra eksisterende. Her i Norge er det Kartverket som har mange bakkestasjoner som sender ut korreksjoner (CPOS).

Det er tre måter som eBee RTK kan koble seg opp på for å motta korreksjoner for GPS.



Det første alternativet er å sette opp sin egen basestasjon på et kjent punkt. Så må en legge inn koordinatene på eMotion. Dermed vil kontrollstasjonen (PC) kunne sende opp korreksjoner til dronen. Stamnettspunkter fra Kartverket er godt egnet til dette.

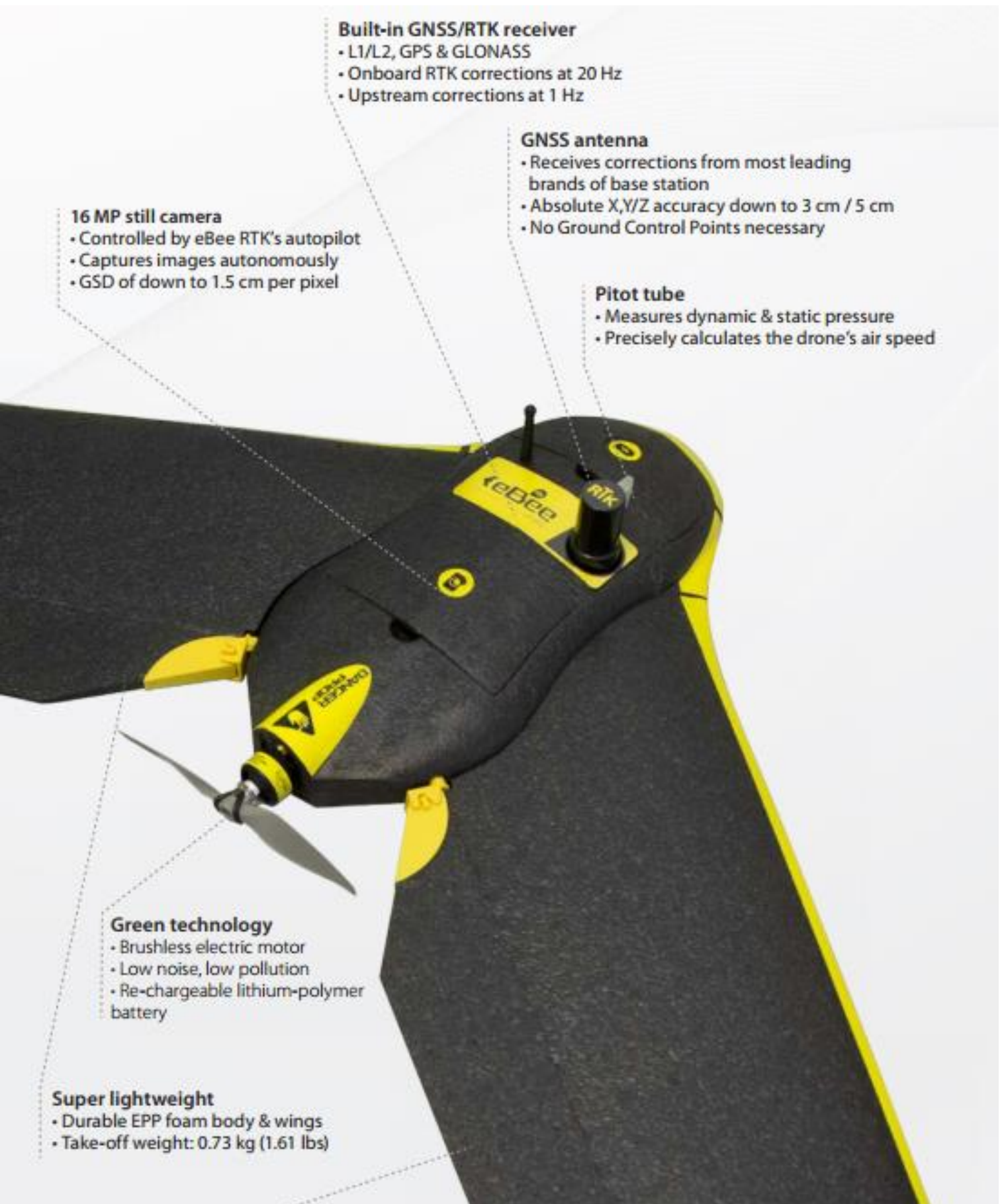
Alternativ to er å sette opp en basestasjon på et åpent sted så den kan få gode GPS-signaler. eMotion kan regne seg fram til en cirka posisjon for GPSen. Så vil kontrollstasjonen (PC) kunne sende sine korreksjoner til dronen.

Det siste alternativet er å koble seg opp på internett og få korreksjoner derfra.

Figur 6.3 Bildet viser hvordan en oppnår RTK på eBee. Bildet fra https://www.sensefly.com/fileadmin/user_upload/documents/brochures/eBee_RTk_en.pdf

Flyplanleggingen for eBee blir gjort ved hjelp av eMotion. Ved å definere et område i kartet og velge bakkeoppløsning og bildeoverlapp vil eMotion automatisk generere en flyplan.

Ved kjøp av eBee RTK får en med Postflight Terra 3D professional. Dette er et fotogrammetri-software som kan brukes til å prosessere bildene til georefererte ortofoto og punktskyer. Dette kan videre brukes til å lage triangelmodeller eller DEM/ DTM.



Built-in GNSS/RTK receiver

- L1/L2, GPS & GLONASS
- Onboard RTK corrections at 20 Hz
- Upstream corrections at 1 Hz

GNSS antenna

- Receives corrections from most leading brands of base station
- Absolute X,Y/Z accuracy down to 3 cm / 5 cm
- No Ground Control Points necessary

16 MP still camera

- Controlled by eBee RTK's autopilot
- Captures images autonomously
- GSD of down to 1.5 cm per pixel

Pitot tube

- Measures dynamic & static pressure
- Precisely calculates the drone's air speed

Green technology

- Brushless electric motor
- Low noise, low pollution
- Re-chargeable lithium-polymer battery

Super lightweight

- Durable EPP foam body & wings
- Take-off weight: 0.73 kg (1.61 lbs)

Vingspennet til eBee er 96cm og vekten er kun 0.73 kg. Den kan fly opp mot 40 min. Resten av de tekniske spesifikasjonene kan finnes i vedlegget som er brosjyren. eBee RTK. eBee-dronen med en del informasjon. (SensFly)

7 Metode

I denne oppgaven benyttes dronen eBee RTK og kamera Sony DSC-WX220 for å ta flybilder over et lite område av NMBU-Campus. I forkant av flyvingen ble det signalert. Signalene (GCP) ble målt inn med CPOS. For å prosessere bildene brukte jeg Postflight Terra 3D. Planen var egentlig å bruke Aegisoft Photoscan, men på grunn av manglende datakraft på skolens maskiner lot det seg ikke gjøre.

Etter at prosesseringen var gjort i Postflight Terra 3D fikk jeg ut en punktsky og ortofoto. Punktskyen brukte jeg til å teste dataene opp mot hverandre.

8 Test av eBee

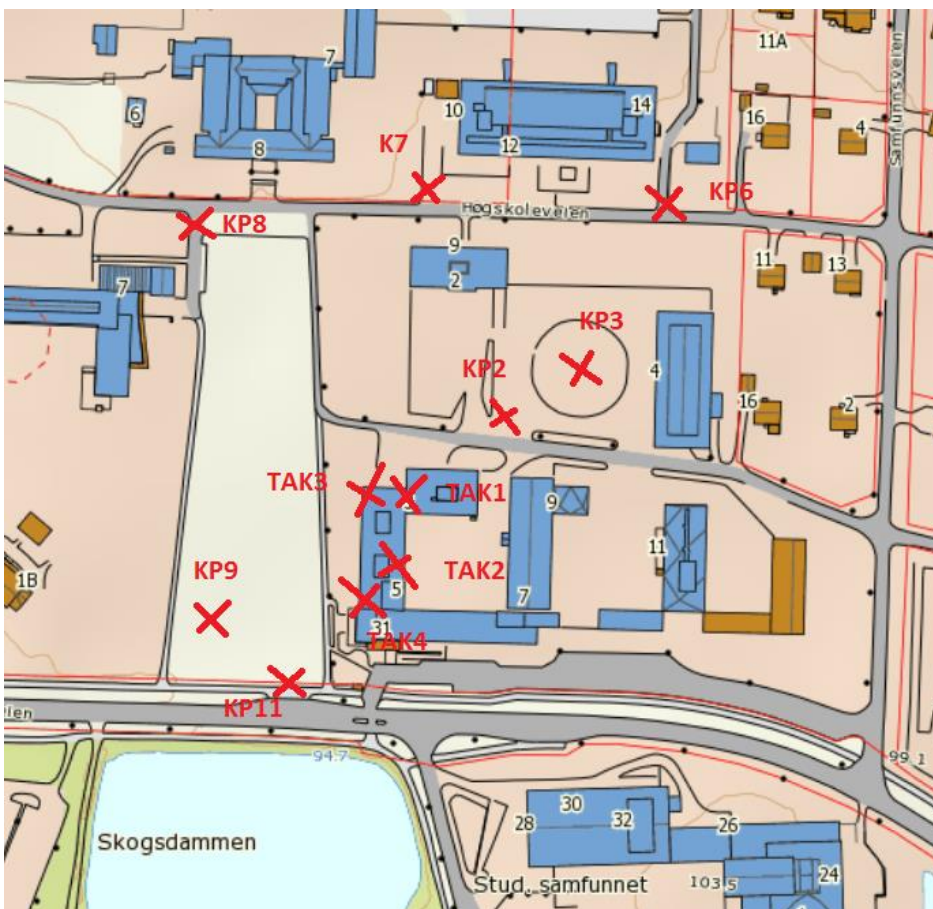
Patrick Sandhaug Johannessen fra Blinken a.s kom til testfeltet på NMBU og fikk flydd og tatt bilder, men fikk bare flydd én gang. Det oppsto en feil med mottakeren til dronen, og uten kommunikasjonen mellom bakkestasjonen og dronen endte dronen opp med å fly i sirkler over oss til den gikk ned for landing automatisk fordi den begynte å få lite strøm på batteriet. Johannessen prosesserte bildene sammen med GNSS-data i ettertid, så GNSS-dataene ble lagt inn i exif-filene til bildene.

8.1 Etablering av testfelt

For å teste systemet trengte vi et testfelt. Vi ønsket å ha et område med ulike objekter. Det ble mange forskjellige bygg, med tanke på størrelse og utforming. Av vegetasjon var det en del trær og busker. Det eneste jeg skulle ønske det var mer av var en form for jordhaug, så det kunne ha vært mulig å teste hvor nøyaktig en masseberegning ville ha blitt. Vi endte opp med et område på campus. Området var i utgangspunktet større, men på grunn av de store datamengdene som vi ville endt opp med ble det tatt et valg om å kutte ned området.



Figur 8.1 Kartet viser testfeltet med GCP. Bildet er fra google maps. En kan se at google er ganske unøyaktig.



Figur 8.2 Kart fra norgeskart.no over testfeltet, med GCP på de riktige stedene.

Liste med alle GCP som ble brukt i oppgaven.

| | | | |
|-------|-------------|------------|---------|
| KP,2 | 6615549,261 | 600091,628 | 96,686 |
| KP,3 | 6615572,584 | 600117,207 | 97,098 |
| KP,6 | 6615634,231 | 600144,058 | 98,394 |
| KP,7 | 6615632,216 | 600052,682 | 99,201 |
| KP,8 | 6615611,252 | 599967,926 | 99,649 |
| KP,9 | 6615470,744 | 599986,331 | 95,857 |
| KP,11 | 6615444,570 | 600020,946 | 95,417 |
| TAK1 | 6615521,586 | 600054,828 | 105,745 |
| TAK2 | 6615502,113 | 600056,178 | 105,716 |
| TAK3 | 6615520,466 | 600040,845 | 105,737 |
| TAK4 | 6615476,988 | 600043,668 | 105,720 |

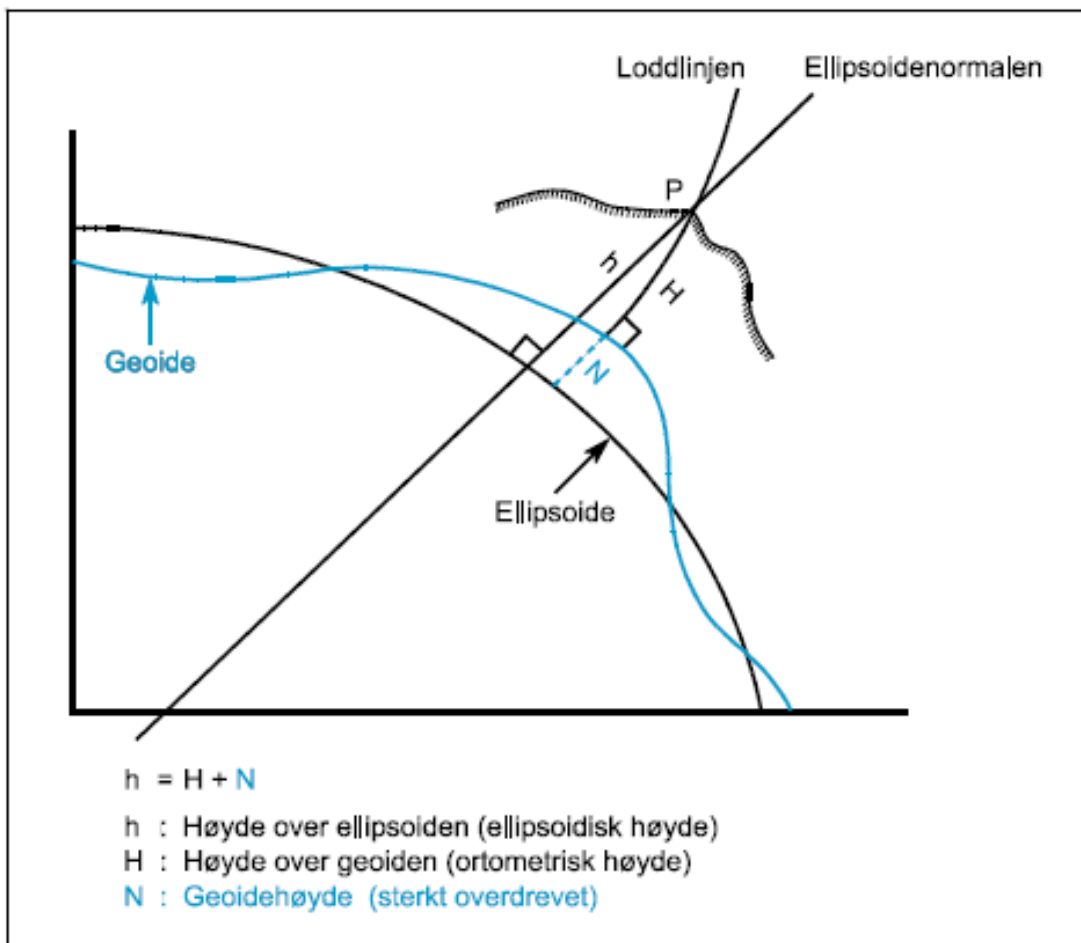
Liste 8.1 GCP-liste.

Fra mine målinger med CPOS har jeg fått ellipsoidiske høyder. For bruk i Postflight Terra 3D og til vanlig bruk for de fleste andre trenger en å bruke ortometriske høyder. Hvis geoidehøyden er kjent, så er omregningen til ortometriske høyder fra ellipsoidiske enkel. Kartverket har tjenester for dette.

I masteroppgaven til A. Tiltnes fant jeg svaret på problemet. Ved å bruke et kontrollpunkt som har de kjente høydene i både ellipsoidisk og ortometrisk høyde, kan en regne seg frem til differansen som jeg må bruke videre i min oppgave.

$$156,220\text{m} - 117,141\text{m} = 39,079\text{m}$$

Videre i oppgaven har jeg lagt til 39,079m på koordinatene målt i listen over. Dette er ellipsoidiske høyder som ved å legge til differansen blir ortometriske. For et annet område må en beregne nye ortometriske høyder. Dette skal være bekreftet av J.G. Gjevestad i 2010, da A. Tiltens jobbet med sin masteroppgave. (A.Tiltnes 2010)



Figur 8.3 viser hvordan geoiden og ellipsoiden er i forhold til hverandre. (Kartverket)

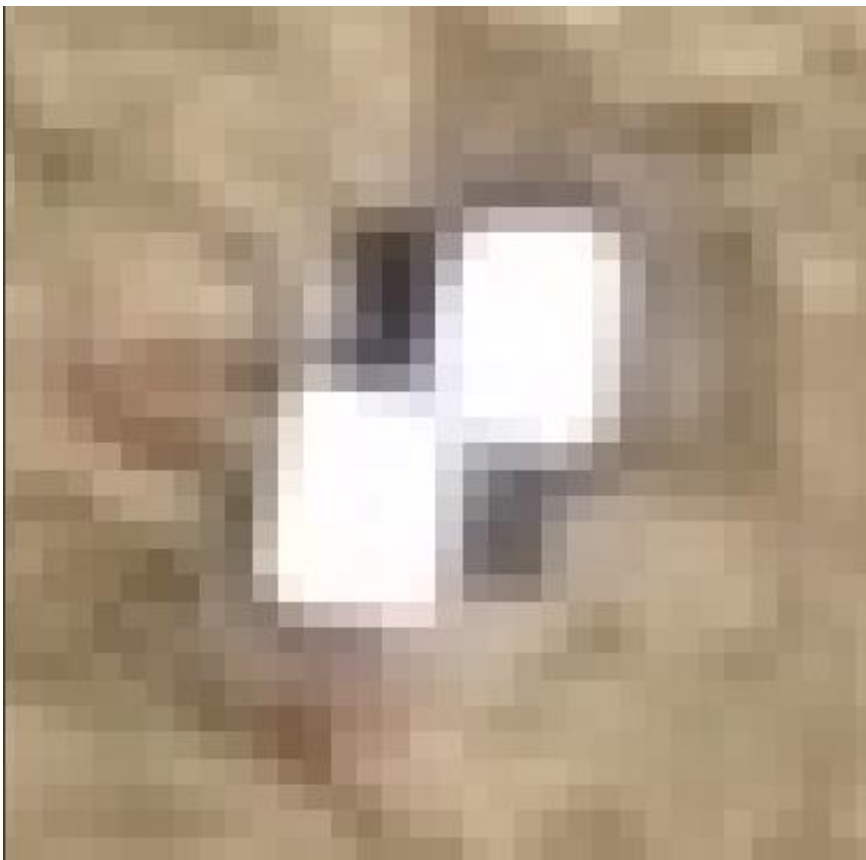
Utstyret som ble brukt var en TopCon GPS som brukte CPOS til å måle inn GCPene. I utgangspunktet ble det målt 20 på bakken og åtte på taket til TF. Det ble slått ned spiker eller et jernrør i bakken for å ha en nøyaktig posisjon. Dette ble gjort på høsten, flyvingen ble gjort på våren, så da hadde dessverre flere av punktene som var tenkt å bli brukt ikke mulige å finne igjen. Dette medførte at det bare ble syv punkt på bakken og 4 på taket.

8.2 Forberedelser

Forberedelsene før fotograferingen gikk ut på å signalere. Signalene på bakken var enten A4- eller A3-ark som var svarte og hvite i sjakkemønster. De var veldig lette å se i bildene fra dronen. På taket var det sprayet opp kryss med en oransje spray. Disse var også veldig greie å se.



Figur 8.3 Bildet viser hvordan signalene på bakken ser ut.



Figur 8.4 Bildet viser signalet i flyfotografiet.



Figur 8.5 Bildet viser hvordan signalene på taket ser ut.



Figur 8.6 Bildet viser signalet i flyfotografiet.

8.3 Utstyr under flyving

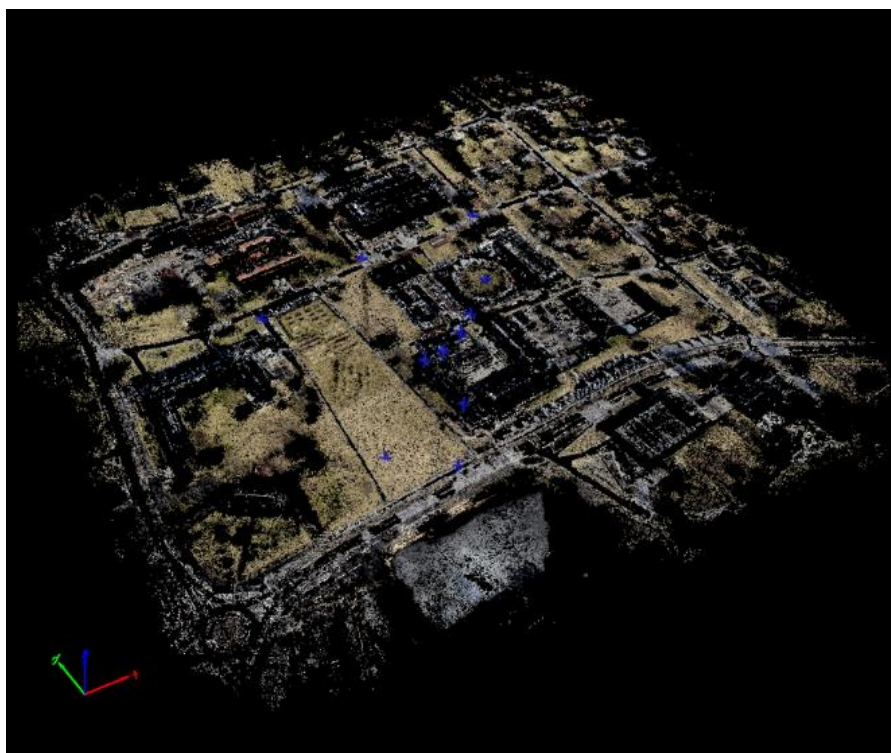
For å få tatt bilder trengs det et kamera, og for å komme opp i luften en drone. eBee RTK var dronen som ble brukt og kameraet Sony DSC-WX220. Bakkestasjonen besto av en bærbar datamaskin. Vi hadde også en fjernkontroll for å kunne styre dronen hvis det skulle bli nødvendig. Spesifikasjoner for kameraet kan finnes i vedlegget.

8.4 Gjennomføringen av fotograferingen

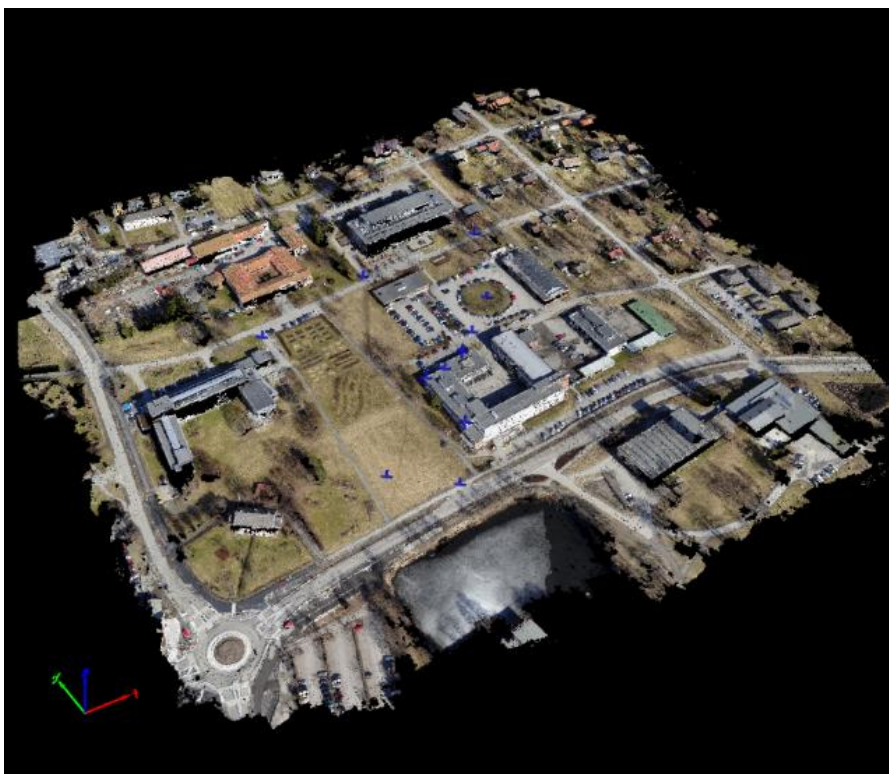
For å gjennomføre fotograferingen måtte vi først bestemme området og bakkeoppløsningen. Dette gjøres kjapt og enkelt på flyprogrammet eMotion som hører til eBee. Valget for bakkeoppløsning falt på 3mm/piksel, som medførte at flyhøyden ble 105m. Vi hadde 80% overlapp i lengde og 60% i bredde. Det ble tatt 174 bilder. Under flyving nummer to på en lavere høyde mistet vi kontakten med dronen, og det medførte at vi ikke fikk gjennomført flyving i noen ny høyde.

8.5 Prosessering

For å prosessere bildene brukte jeg programmet Postflight Terra 3D. Jeg hadde bilder der koordinatene til flyvingen lå inne, og derfor var det bare å legge inn bildene i programmet og starte. Programmet vil matche bildene, lage punktsky og ortofoto automatisk. Figur t3 inneholder bare sammenbindingspunktene. Figur t4 er en fortettet punktsky.



Figur 8.7 Alle sammenbindingspunktene.



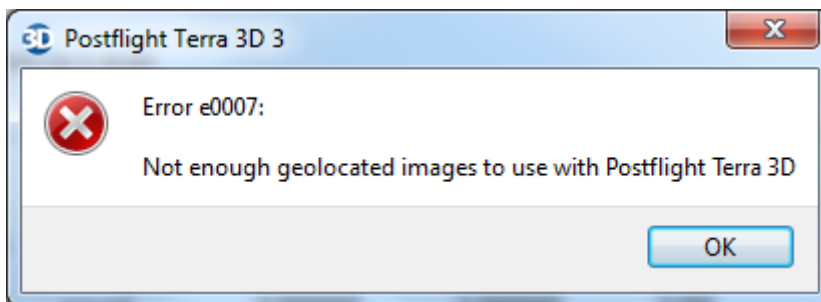
Figur 8.8 Et bilde av den fortettede punktskyen.

8.6 Prosessering i Postflight Terra 3D

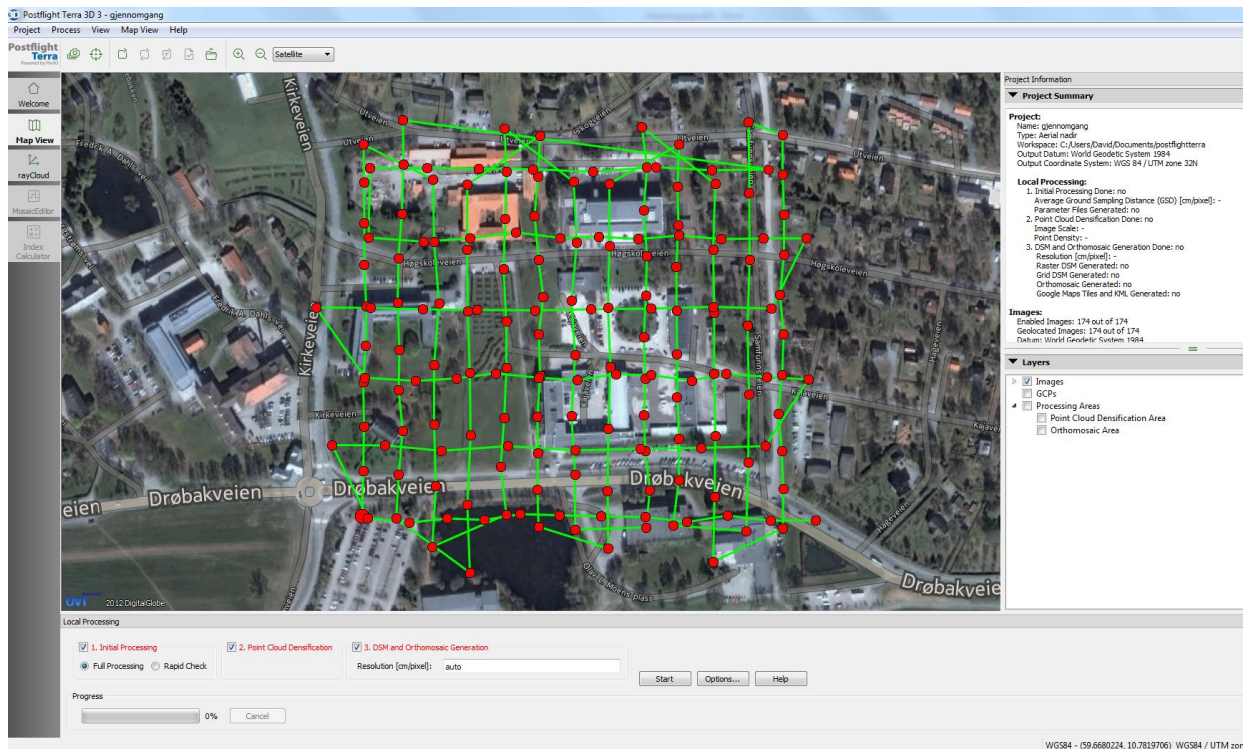
Dette er en rask gjennomgang av hvordan prosesseringen for Postflight Terra 3D foregår. Det første som må bli gjort for et nytt prosjekt er å legge inn bildene som skal brukes. Alle, eller en viss mengde, bilder må være georeferert for at programmet skal kunne gå videre. Da dette er gjort kan en velge om en vil legge inn GCP eller fortsette uten. Før en starter kan en velge hvor mye som skal bli gjort på en gang. Det er tre ting som skal bli gjort. Det første er «Initial Processing»(IP), så kommer «Point Cloud Densification» (PCD) fulgt av «DSM and Orthomosaic Generation»(DOG). Det er ikke mulig å kjøre noen av de andre delene før en har kjørt IP. Jeg har valgt å kjøre alle prosessene på en gang. Etter at datamaskinen har stått og jobbet i noen timer får en et brukbart sluttprodukt. For å forbedre resultatene er det mulig å legge inn GCP. Det er ikke mulig å laste inn en KOF-fil. Jeg har ikke klart å laste inn GCP automatisk på noen måte, og har prøvd å fikse filen på mange forskjellige måter. Det tar ganske langt tid å legge inn alle punktene manuelt, men når dette er gjort er det veldig greit å plassere ut punktene og få rettet opp punktskyen.

Ortofotoet ser ved første øyekast ganske bra ut, men hvis en ser nærmere på flere av byggene kan en se at resultatet ikke er topp. Det var en del feil, men det var lett å rette opp i ved hjelp av mosaikk-editoren. Eksempler på dette kan ses i figur 8.6.3 og 8.6.4.

Programmet har for det meste vært greit å bruke, og jeg har klart å lære meg det meste alene. Jeg fant ikke noen brukerguide eller lignende før helt mot slutten av oppgaven, da jeg allerede var ferdig med prosesseringen. Det virker litt som om Postflight Terra 3D er lagd for dronefotografering, og spesielt for eBee RTK. Tiden som trengtes for å lage en punktsky og ortofoto virket heller ikke alt for lang. Programmet er altså ganske kjapt, men det kan hende dette påvirker resultatet. Dette er virkelig et program som alle kan bruke. Rett fram og lett er hvordan jeg vil beskrive det. Jeg er fornøyd med programmet bortsett fra import av GCP-kordinater.



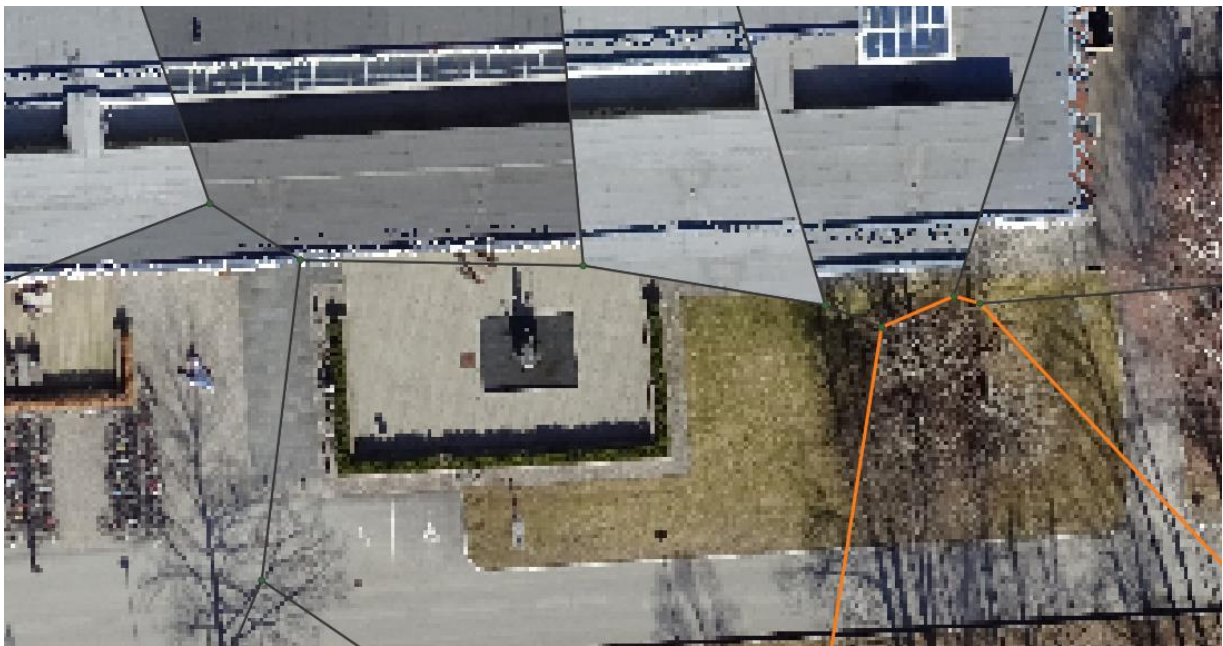
Figur 8.9 Feilmelding som kommer hvis ikke bildene er geolokalisererte.



Figur 8.10 Bildet viser hvor dronen har flydd og posisjonen til bildene. Viser også valgene en har.



Figur 8.11 Eksempel på hvordan hjørnet på bygget ikke blir bra.



Figur 9.12 Enda et eksempel på hvordan mosaikken i ortofotoet får en del feil.

8.7 Dataprogrammer

8.7.1 Aegisoft Photoscan

Det var i utgangspunktet tenkt at dette programmet skulle bli brukt. NMBU hadde kjøpt inn dette, men det endte med at jeg ikke brukte det.

8.7.2 Postflight Terra 3D

Programvare som følger med ved kjøp av en eBee. Veldig brukervennlig program, som nok er laget spesielt for eBee og for at den skal være veldig lett å bruke. En trenger ikke kunne noe for å få fram punktsky og ortofoto.

8.8 Quality Report

Når Postflight Terra 3D er ferdig med full prosessering får en en kvalitetsrapport. I tillegg til det jeg har med nedenfor inneholder den detaljer om kalibreringen, detaljer om blokkutjevningen og geografisk lokasjon. Rapporten ligger som vedlegg.

9 Utdrag fra Quality Report. Fullstendig rapport finnes i vedlegget.

Summary



| | |
|--|---|
| Project | Allekoordlagtinn_optimuntat3 |
| Processed | 2015-Apr-21 12:03:08 |
| Camera Model Name | DSC-WX220_4.4_4896x3672 (RGB) |
| Average Ground Sampling Distance (GSD) | 2.88 cm / 1.13 in |
| Area Covered | 0.2149 km ² / 21.4935 ha / 0.083 sq. mi. / 53.1392 acres |
| Image Coordinate System | WGS84 |
| Output Coordinate System | WGS84 / UTMzone 32N |
| Processing Type | full Aerial nadir |
| Feature Extraction Image Scale | 1 |
| Camera Model Parameter Optimization | optimize externals and all internals |

Quality Check



| | | |
|---------------------|--|--|
| Images | median of 48235 keypoints per image | |
| Dataset | 174 out of 174 images calibrated (100%), all images enabled | |
| Camera Optimization | 0.53% relative difference between initial and final focal length | |
| Matching | median of 15454.6 matches per calibrated image | |
| Georeferencing | no 3D GCP | |

10 Resultater GCP



Figur 10.1 Ortofotoet generert i Postflight Terra 3D.

Resultatene fra Postflight Terra 3D er et ortofoto og en punktsky. Ut ifra punktskyen kan en generere TIN og DTM. Hvis en finner feil i ortofotoet er det mulig å rette opp disse ved hjelp av mosaikk- editoren. Figur 10.1 er ortofotoet som jeg fikk laget.

Resultatet blir påvirket av veldig mange ulike faktorer. Det første som vil påvirke resultatet er innmålingene av GCP som skal brukes til å teste resultatet. Disse har blitt målt inn ved hjelp av CPOS. CPOS er en god måte å få målt inn punkt ned mot én cm nøyaktighet på det beste. Dronen benytter seg også av CPOS for å finne ut hvor bildene blir tatt. Når bildene er blitt lastet inn på en PC kommer det mer unøyaktighet i form av når en skal plassere ut GCP. Her er det en selv som velger hvor punktet er.

På figur 10.2 kan en se hvordan jeg tester nøyaktigheten på et GCP. Der ser en også en liste med ulike typer data.

kp2 (3D GCP)

S_0^2 [pixel]: 0.4742

Theoretical Error $S(X,Y,Z)$ [m]: 0.010, 0.010, 0.039

Maximal Orthogonal Ray Distance $D(X,Y,Z)$ [m]: -0.048, 0.024, 0.012

Error to GCP Initial Position[m]: -0.027, -0.101, -0.022

Computed Position[m]: 600091.655, 6615549.362, 135.729

| | Label | Type | X [m] | Y [m] | Z [m] | Accuracy Horz [m] | Accuracy Vert [m] |
|---|-------|--------|---------------|---------------|---------|-------------------|-------------------|
| 4 | kp2 | 3D GCP | 600091.628... | 6615549.26... | 135.707 | 0.020 | 0.020 |

Images

Image Size
Zoom Level

DSC00031.JPG GCP: kp2

DSC00084.JPG GCP: kp2

DSC00149.JPG GCP: kp2

DSC00138.JPG GCP: kp2

Figur 10.2 Blå prikk er KP2. Grønn er beregnet 3D-punkt. Gul er valgt 2D-punkt.

De forskjellige tallene som kommer i figur R.2 blir forklart nedenfor.

So^2 [pixel]

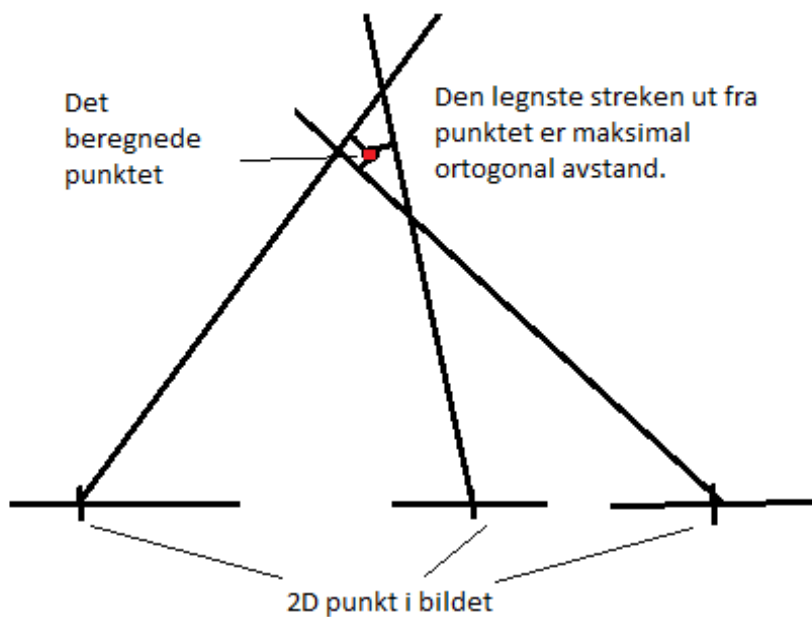
Variansen for alle markerte punkt for det valgte 3D-punktet.

Theoretical Error $S(X,Y,Z)$ [units]

Den teoretiske feilestimeringen. Den sier oss noe om hvor god rekonstruksjonen av punktet var. Er den høy har vi et dårlig og usikkert resultat. Punktet trenger å bli målt i flere bilder for å få et mer stabilt nettverk.

Maximal Orthogonal Ray Distance (x,y,z) [units] (MORD)

Denne avstanden måles mellom det beregnede punktet og punktet definert ved en linje vinkelrett på den strålen som passerer gjennom det beregnede punktet.



Figur 10.3 Tegnet av meg.

Error to GCP Initial Position [units]

Feil i X, Y og Z for den ortogonale posisjonen og den estimerte 3D-posisjonen.

Mer informasjon og hjelp finnes på <https://support.pix4d.com/hc/en-us>

10.1 Tabeller GCP

Nedenfor kommer en tabell med alle punktene og deres informasjon etter at Postflight Terra 3D ble kjørt uten noen GCP.

N=11

| Punkt | S_0^2 [pixel] | Theoretical Error | | | MORD | | | EGCPP | | | Computed Position[m] | | |
|-------|-----------------|-------------------|--------|-------|---------|--------|-------|--------|---------|--------|----------------------|-------------|---------|
| KP2 | 0,30 | 0,005 | 0,005 | 0,014 | 0,048 | 0,013 | 0,01 | 0,034 | -0,096 | -0,035 | 600091,662 | 6615549,357 | 135,742 |
| KP3 | 0,81 | 0,013 | 0,013 | 0,055 | -0,019 | 0,025 | 0,005 | -0,049 | -0,146 | 0,115 | 600117,256 | 6615572,73 | 136,062 |
| KP6 | 1,15 | 0,019 | 0,017 | 0,09 | 0,03 | 0,021 | 0,002 | 0,008 | -0,011 | 0,03 | 600144,05 | 6615634,242 | 137,443 |
| KP7 | 1,167 | 0,015 | 0,015 | 0,072 | 0,002 | 0,048 | 0,003 | -0,058 | -0,041 | 0,017 | 600052,74 | 6615632,257 | 138,263 |
| KP8 | 0,2604 | 0,007 | 0,008 | 0,028 | 0,013 | 0,014 | 0,002 | -0,097 | -0,084 | 0,069 | 599968,023 | 6615611,336 | 138,659 |
| KP9 | 1,02 | 0,017 | 0,016 | 0,067 | 0,042 | -0,003 | 0,007 | -0,045 | -0,148 | 0,025 | 599986,376 | 6615470,892 | 134,911 |
| KP11 | 0,5449 | 0,013 | 0,011 | 0,058 | 0,003 | -0,005 | 0,001 | -0,102 | -0,095 | 0,095 | 600021,048 | 6615444,665 | 134,401 |
| Tak1 | 1,055 | 0,015 | 0,014 | 0,058 | 0,044 | -0,033 | 0,004 | -0,013 | -0,053 | -0,082 | 600054,841 | 6615521,639 | 144,906 |
| Tak2 | 0,7862 | 0,015 | 0,014 | 0,06 | 0,022 | 0,016 | 0,003 | -0,06 | -0,109 | -0,032 | 600056,238 | 6615502,222 | 144,827 |
| Tak3 | 1,194 | 0,014 | 0,015 | 0,066 | -0,05 | 0 | 0,004 | -0,044 | -0,058 | 0,165 | 600040,889 | 6615520,524 | 144,651 |
| Tak4 | 1,485 | 0,019 | 0,019 | 0,101 | -0,006 | 0,038 | 0,004 | -0,114 | -0,053 | -0,126 | 600043,782 | 6615477,041 | 144,925 |
| | 9,77 | 0,152 | 0,147 | 0,669 | 0,279 | 0,216 | 0,045 | 0,624 | 0,894 | 0,719 | | | |
| | 0,8885 | 0,014 | 0,0134 | 0,061 | 0,02536 | 0,0196 | 0,004 | 0,0567 | 0,08127 | 0,0719 | | | |

Summen er funnet ved å først finne et positivt tall ($\sqrt{x^2}$).

10.1.1 Tabellen viser resultater etter bildematchingen uten bruk av GCP.

Nederste rad er gjennomsnittet. Ut ifra det kan en se at gjennomsnittet for avviket i X er 5,6cm, i Y 8,1cm og i høyden (Z) 14,9cm, altså nesten 15 cm feil. En ser at variasjonen innenfor gruppene er stor. Noen treffer veldig bra, mens andre ganske dårlig.

Nå er målet å teste om punktskyen blir noe bedre om jeg har noen kjentpunkt. Jeg har valgt å først prøve med tre og så med åtte. GCP KP6, KP8 og KP11 blir brukt til å forbedre punktskyen. Nedenfor i tabell R.2 kan en se at det har blitt en liten forbedring. Det er mest i høyden, Z, som forbedringen har skjedd.

| Punkt | S_0^2 [pixel] | Theoretical Error | MORD | EGCPP | Computed Position[m] |
|-------|-----------------|-------------------|----------------------|-----------------------|--------------------------------|
| KP2 | 0,7335 | 0,012 0,012 0,049 | -0,05 0,007 0,009 | -0,024 -0,104 -0,048 | 600091,652 6615549,365 135,755 |
| KP3 | 1,643 | 0,018 0,018 0,085 | 0,004 0,056 0,003 | -0,06 -0,039 -0,025 | 600052,742 6615632,255 138,305 |
| KP7 | 0,8594 | 0,016 0,015 0,084 | 0,031 0,019 0,004 | -0,065 -0,025 0,011 | 600052,747 6615632,242 138,269 |
| KP9 | 0,8629 | 0,016 0,015 0,062 | -0,019 0,035 0 | -0,05 -0,153 0,043 | 599986,381 6615470,897 134,893 |
| Tak1 | 0,8748 | 0,013 0,013 0,053 | 0,026 -0,034 0,003 | -0,02 -0,051 -0,097 | 600054,848 6615521,637 144,921 |
| Tak2 | 1,055 | 0,015 0,013 0,057 | 0,025 -0,037 0,003 | -0,058 -0,081 0,03 | 600056,236 6615502,194 144,765 |
| Tak3 | 0,7343 | 0,011 0,012 0,052 | -0,05 0,001 0,004 | -0,042 -0,052 0,157 | 600040,887 6615520,518 144,659 |
| Tak4 | 1,791 | 0,015 0,014 0,05 | -0,002 -0,062 0,008 | -0,116 -0,082 -0,002 | 600043,784 6615477,07 144,801 |
| | 8,5539 | 0,116 0,112 0,492 | 0,207 0,251 0,034 | 0,435 0,587 0,413 | |
| | 1,0692 | 0,015 0,014 0,062 | 0,02588 0,0314 0,004 | 0,0544 0,07338 0,0516 | |

10.1.2 Viser resultater etter forsøk på forbedring med 3 GCP.

Det neste som ble gjort var å bruke 8 GCP for å prøve og forbedre resultatet. Dette er gjort i tabellen nedenfor; R.3. Det er ganske variert hvordan punktene reagerer, også innad i punktet.

N=3

| Punkt | S_0^2 [pixel] | Theoretical Error | MORD | EGCPP | Computed Position[m] |
|-------|-----------------|-------------------|----------------------|---------------------|--------------------------------|
| kp7 | 1,083 | 0,015 0,012 0,043 | -0,044 -0,015 -0,01 | 0,072 -0,045 -0,003 | 600052,754 6615632,261 138,283 |
| kp9 | 1,238 | 0,013 0,013 0,045 | -0,04 0,047 0,001 | -0,07 -0,137 0,026 | 599986,401 6615470,881 134,91 |
| TAK2 | 1,063 | 0,014 0,014 0,057 | 0,023 -0,045 0,004 | 0,053 -0,085 0,051 | 600056,231 6615502,198 144,744 |
| | 3,384 | 0,042 0,039 0,145 | 0,107 0,107 0,015 | 0,195 0,267 0,08 | |
| | 1,128 | 0,014 0,013 0,048 | 0,03567 0,0357 0,005 | 0,065 0,089 0,0267 | |

10.1.3 Viser resultater etter forsøk på forbedring med 8 GCP.

Det går ikke an å sammenligne gjennomsnittet på de tre tabellene ovenfor. Dette er fordi når det er store forskjeller innad i datautvalget kan en ikke ta bort noen av objektene fordi dette vil medføre at utvalget blir forandret. En burde ikke teste ulike utvalg opp mot hverandre. Resultatene vil bli veldig forskjellige avhengig av hvilke punkter som forsvinner fra utvalget.

| | | | | | | | | | | |
|------------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| A | 1,167 | 0,015 | 0,015 | 0,072 | 0,002 | 0,048 | 0,003 | -0,058 | -0,041 | 0,017 |
| | 1,020 | 0,017 | 0,016 | 0,067 | 0,042 | -0,003 | 0,007 | -0,045 | -0,148 | 0,025 |
| | 0,786 | 0,015 | 0,014 | 0,060 | 0,022 | 0,016 | -0,003 | -0,060 | -0,109 | -0,032 |
| | 2,973 | 0,047 | 0,045 | 0,199 | 0,066 | 0,067 | 0,013 | 0,163 | 0,298 | 0,074 |
| | 0,991 | 0,016 | 0,015 | 0,066 | 0,022 | 0,022 | 0,004 | 0,054 | 0,099 | 0,025 |
| B | 0,859 | 0,016 | 0,015 | 0,084 | 0,031 | 0,019 | 0,004 | -0,065 | -0,025 | 0,011 |
| | 0,863 | 0,016 | 0,015 | 0,062 | -0,019 | 0,035 | 0,000 | -0,050 | -0,153 | 0,043 |
| | 1,055 | 0,015 | 0,013 | 0,057 | 0,025 | -0,037 | -0,003 | -0,058 | -0,081 | 0,030 |
| | 2,777 | 0,047 | 0,043 | 0,203 | 0,075 | 0,091 | 0,007 | 0,173 | 0,259 | 0,084 |
| | 0,926 | 0,016 | 0,014 | 0,068 | 0,025 | 0,030 | 0,002 | 0,058 | 0,086 | 0,028 |
| C | 1,083 | 0,015 | 0,012 | 0,043 | -0,044 | -0,015 | -0,010 | -0,072 | -0,045 | -0,003 |
| | 1,238 | 0,013 | 0,013 | 0,045 | -0,040 | 0,047 | 0,001 | -0,070 | -0,137 | 0,026 |
| | 1,063 | 0,014 | 0,014 | 0,057 | 0,023 | -0,045 | -0,004 | -0,053 | -0,085 | 0,051 |
| | 3,384 | 0,042 | 0,039 | 0,145 | 0,107 | 0,107 | 0,015 | 0,195 | 0,267 | 0,080 |
| | 1,128 | 0,014 | 0,013 | 0,048 | 0,036 | 0,036 | 0,005 | 0,065 | 0,089 | 0,027 |
| Forskjell: | | | | | | | | | | |
| A-B | 0,065 | 0,000 | 0,001 | -0,001 | -0,003 | -0,008 | 0,002 | -0,003 | 0,013 | -0,003 |
| A-C | -0,137 | 0,002 | 0,002 | 0,018 | -0,014 | -0,013 | -0,001 | -0,011 | 0,010 | -0,002 |

| S_0^2 [pixel] | Theoretical Error | MORD | EGCPP |
|-----------------|-------------------|------|-------|
|-----------------|-------------------|------|-------|

10.1.4 Liste over bare KP7, KP9 og TAK2. A = uten GCP, B = 3 GCP, C = 9 GCP

Det en kan se i tabell 8.4 er at det er en veldig liten forskjell i forbedringen av dataene. Jeg har en teori om at dette skyldes at avviket i høyde var ganske lavt fra starten av. Hvis en ser på høyden for KP3 i EGCPP, så går den fra 0,115 til -0,025 etter at tre GCP ble brukt. Det er en forandring på 0,14m.

En annen måte jeg ser på resultatet på er hvordan den beregnede posisjonen forandrer seg i forhold til den CPOS-beregnete.

KP7

| | | | |
|------|------------|-------------|--------|
| CPOS | 600052,682 | 6615632,216 | 138,28 |
|------|------------|-------------|--------|

| | | | |
|------------------|-----------|-------------|---------|
| Uten GCP | 600052,74 | 6615632,257 | 138,263 |
| Ulikhet fra CPOS | -0,058 | -0,041 | 0,017 |

| | | | |
|------------------|------------|-------------|---------|
| 3 GCP | 600052,747 | 6615632,242 | 138,269 |
| Ulikhet fra CPOS | -0,065 | -0,026 | 0,011 |

| | | | |
|------------------|------------|-------------|---------|
| 8 GCP | 600052,754 | 6615632,261 | 138,283 |
| Ulikhet fra CPOS | -0,072 | -0,045 | -0,003 |

KP9

| | | | |
|------|------------|-------------|---------|
| CPOS | 599986,331 | 6615470,744 | 134,936 |
|------|------------|-------------|---------|

| | | | |
|------------------|------------|-------------|---------|
| Uten GCP | 599986,376 | 6615470,892 | 134,911 |
| Ulikhet fra CPOS | -0,045 | -0,148 | 0,025 |

| | | | |
|------------------|------------|-------------|---------|
| 3 GCP | 599986,381 | 6615470,897 | 134,893 |
| Ulikhet fra CPOS | -0,05 | -0,153 | 0,043 |

| | | | |
|------------------|------------|-------------|--------|
| 8 GCP | 599986,401 | 6615470,881 | 134,91 |
| Ulikhet fra CPOS | -0,07 | -0,137 | 0,026 |

Tak2

| | | | |
|------|------------|-------------|---------|
| CPOS | 600056,178 | 6615502,113 | 144,795 |
|------|------------|-------------|---------|

| | | | |
|------------------|------------|-------------|---------|
| Uten GCP | 600056,238 | 6615502,222 | 144,827 |
| Ulikhet fra CPOS | -0,06 | -0,109 | -0,032 |

| | | | |
|------------------|------------|-------------|---------|
| 3 GCP | 600056,236 | 6615502,194 | 144,765 |
| Ulikhet fra CPOS | -0,058 | -0,081 | 0,03 |

| | | | |
|------------------|------------|-------------|---------|
| 8 GCP | 600056,231 | 6615502,198 | 144,744 |
| Ulikhet fra CPOS | -0,053 | -0,085 | 0,051 |

10.1.5 Tabellene viser mine egne utregninger, ut ifra koordinatene etter de forskjellige prosessene.

Ut ifra hva en kan se her virker det ikke som om forbedringen blir så stor. På grunn av at det er så mange bilder og at det er en så sterk geometri med 80% overlapp på bildene, virker det som om GCPene ikke påvirker resultatet særlig mye. Noen går opp, andre ned.

I SenseFlys PDF/brosjyre om eBee-dronen står det at en kan oppnå nøyaktighet ned til 3cm uten å bruke GCP. For meg er resultatet noe dårligere. Det blåste en del på opptaksdagen, og dette vil jeg tro påvirker den lille og lette dronen, spesielt under opptaket, fordi den da skrur av propellen for å ikke ha vibrasjoner under opptaket. Det medfører at den blir lettere påvirket av vind enn når propellen er i gang. Blant mine flyfoto fant jeg noen som kan kalles mer skråbilder enn vertikale bilder.

Nøyaktigheten på målingene varierte fra ned mot 1cm til over 10cm.

11 Resultater punktsky/visualisering/utseende



Figur 11.1 Starter med et bilde for å vise hvordan punktskyen ser ut.

11.1 Bygg og hus

Først et bilde som bare viser litt kjapt hvordan det ser ut fra siden. Jeg skal gå mer ned i detaljer nå. Starter med å se på bygg.

Her er et eksempel på et vanlig hus. På dette huset kan en se at to av veggene har ganske mange punkt, mens de to andre nesten ikke har noen.

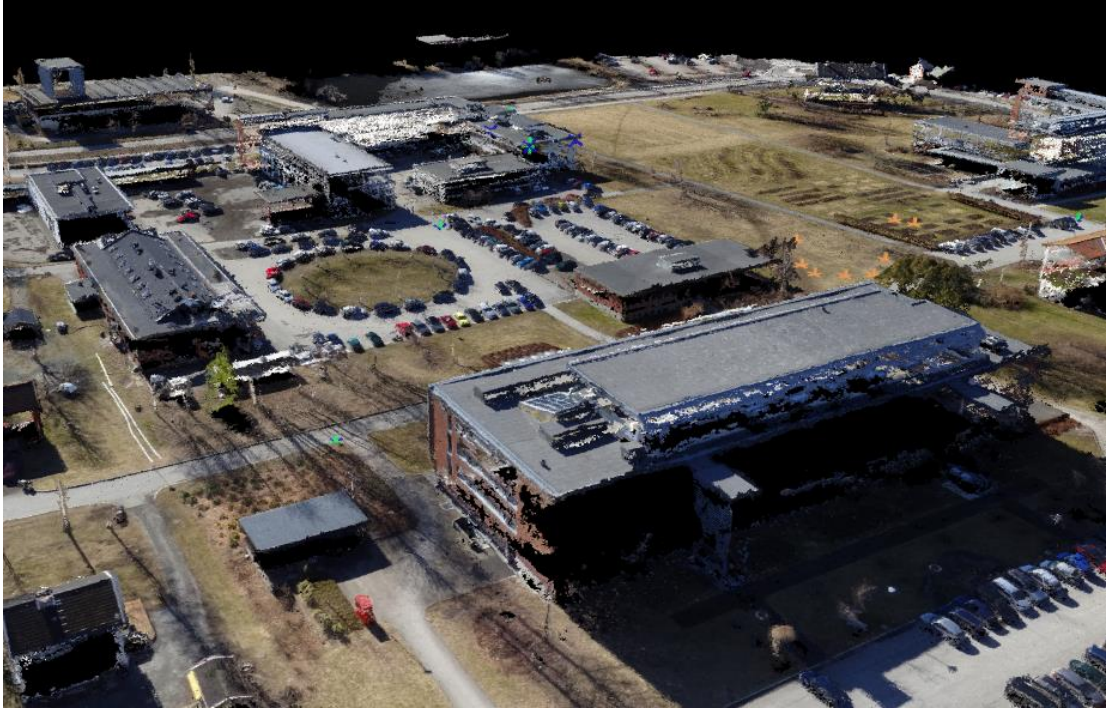


Figur 11.2 Bilder av punktskyen av et rødt hus.

Om noen vegger på husene kom til å bli bedre enn andre var et spørsmål jeg hadde stilt meg. På det lille huset i figur 11.2 kan en se at det er den søndre og østre veggen som er best. På oversiktsbildet, figur 11.2, over TF, Fløy 3 og Sørhellinga er det mulig å se litt hvordan vegger kan bli. På bildet kan vi se at Sørhellinga mangler den søndre veggen. Det gjør også bygget nedenfor Sørhellinga. TF-bygget og Fløy 3 har disse veggene. TF har den vestre veggen, noe også Sørhellinga har. Både TF fløy 3 og fløy 4, som ligger til venstre for fløy 3, mangler den vestre siden.



Figur 11.3 Oversiktsbilde over noen sentrale bygg.



Figur 11.4 Bilde fra nordøst.

På figur 11.4 kan en se de nordre og østre veggene. Det virker som om det er mange bygg som har den østre siden også. Det virker som om det er den nordre siden av husene som faller bort oftest. Mesteparten av husene mangler denne siden.



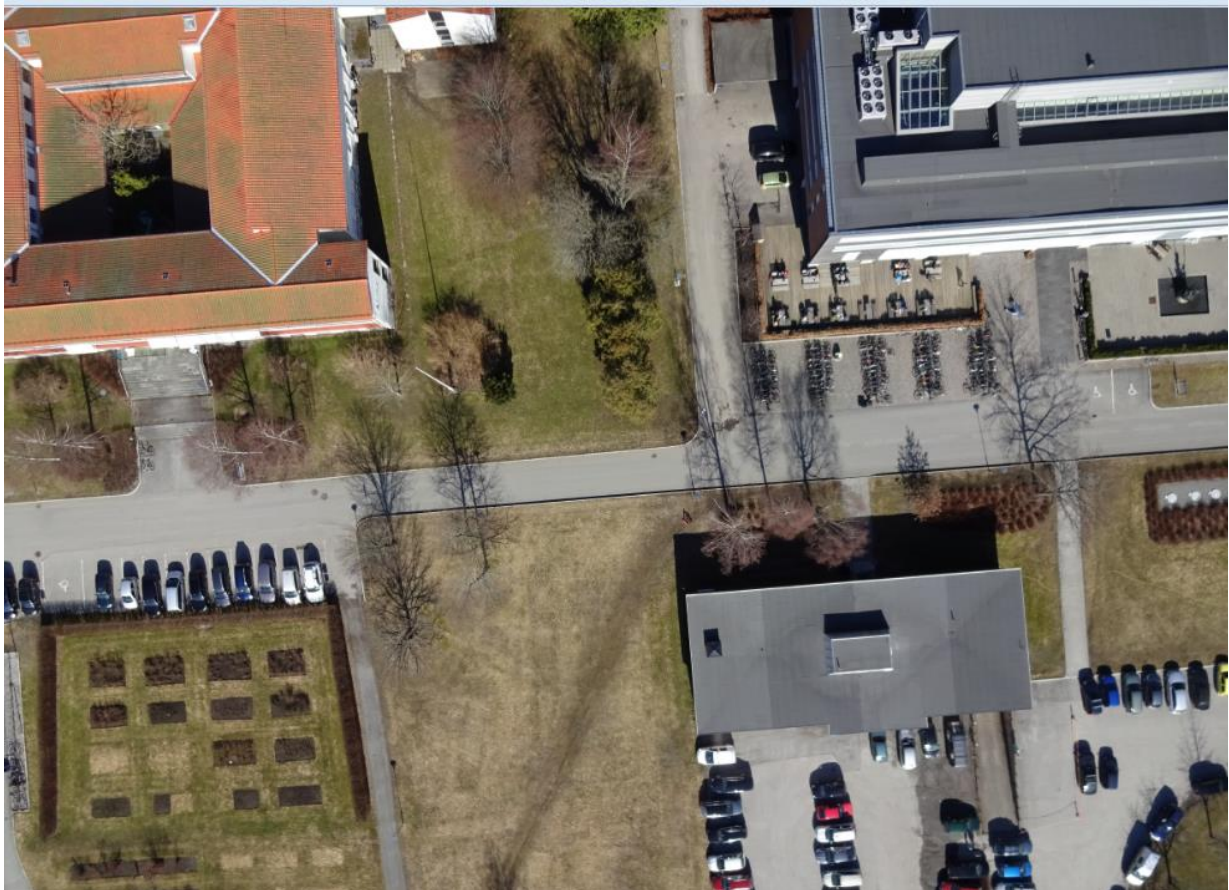
Figur 11.5 Framsiden av TF-Bygget.

Fasaden på byggene er ikke mye å skryte av. Figur 11.5 er et bilde av framsiden av TF-bygget. Det er vel mulig å se at det her kan være tre etasjer med tanke på mønsteret, men ellers er det lite å hente. Det blir problemer for matchingen når det er et veldig likt mønster. I figur 11.2 kan en se at veggene er røde og hvor de hvite vinduene er. Her er det store kontraster, noe som sannsynligvis gjør det lettere for matchingen å få et bedre resultat. Figur 11.6 er enda et eksempel på hvordan veggene kan se ut. Alt ser bedre ut på avstand.



Figur 11.6 Eksempel av vegger.

Et spørsmål som har kommet opp er hvorfor noen vegger er mer detaljerte enn andre. Det er nok flere årsaker. Jeg har noen teorier om hvorfor det skjer. Det mest avgjørende er nok hvor mange bilder en kan se veggene i, men hva gjør at noen vegger er synlige i flere bilder? Hvor flystripene går påvirker hvilke områder som blir fotografert veldig vertikalt og hvor det blir litt skråere vinkel i fotoet. Altså, et bygg ganske midt i bildet vil en bare se taket på, mens på bygg utover mot kanten i bildet kan det være mulig å se vegger. Dette kan en se i figur 11.7. Fordi dronen som ble brukt i min oppgave er et lite og lett minifly blir det lett påvirket av vind. Det blåste litt under opptaksdagen, og dette gjør at mange av bildene sannsynligvis blir påvirket av vinden og heller mot en side. Hellingen kan også være ganske tilfeldig på grunn av at vinden kan ha kommet fra forskjellige retninger. Hvis en ser på figur 8.10 som viser hvor dronen fløy og tok bilder, kan en se at den fløy veldig nærme og langs kanten av sørsiden til Sørhellinga. Disse bildene har nok ikke vært mulige å bruke i matchingen for den veggen. Dermed har det kun vært mulig å bruke bilder som ble tatt lenger bort. Det kan hende det dermed ikke ble nok bilder fra forskjellige steder for å klare og lage punkter på veggen.



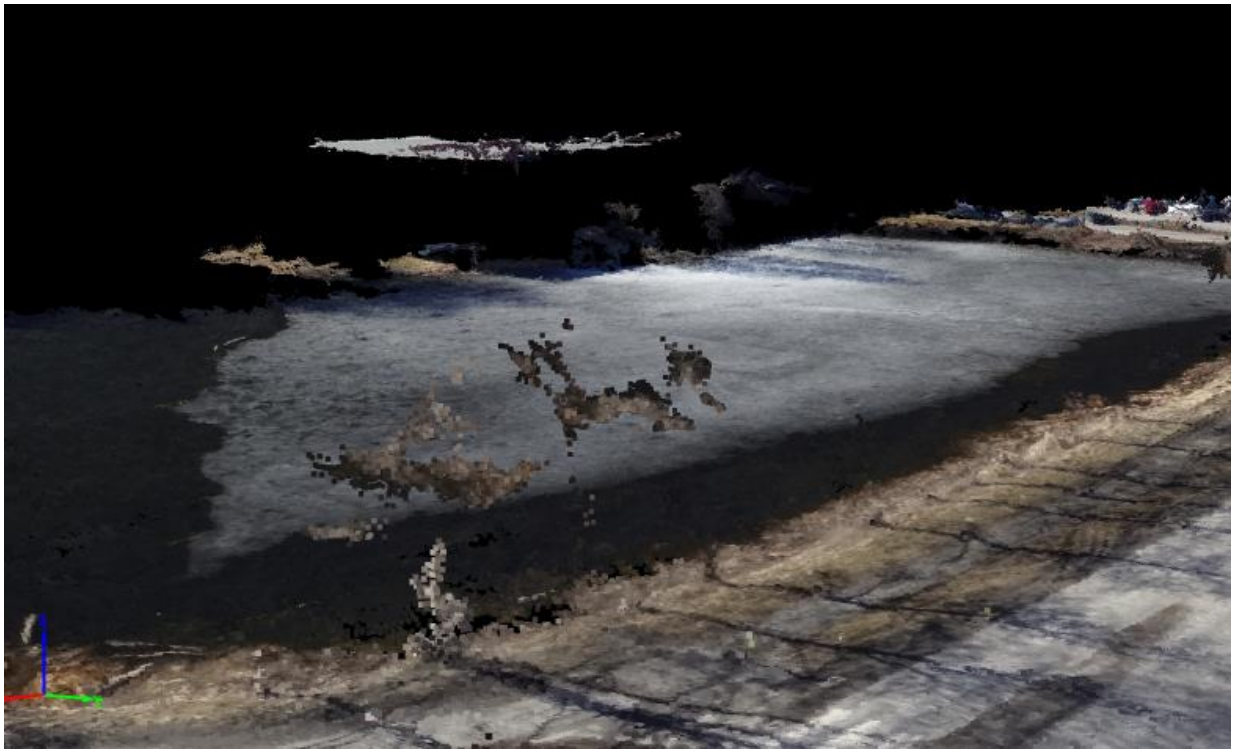
Figur 11.7 Et av flybildene. Viser problemer med å se vegger.

11.2 Vegetasjon

Her vil jeg se på trær og busker. Det er kjent at laserskanning egner seg bedre for vegetasjon.



Figur 11.8 Bilde hentet fra Google maps Streetview, viser hvordan det ser ut i virkeligheten.



Figur 11.9 Viser punktskyen til samme område som figur 11.8.

I bildene ovenfor kan en se hvordan disse trærne ser ut i punktskyen. Resultatet er ikke særlig bra.

Nedenfor er det noen bjørketrær som en får med stammene til. Det er også en stor gran som omrisset kommer godt fram på.



Figur 11.10 Trær utenfor TF-bygget. Den røde sirkelen viser stammene til noen bjørketrær.



På figurene 11.10 og 11.11 er det flere trær som kommer fram ganske bra.

Det ble flydd tidlig på våren da det ikke var blader på trærne. På grunn av at mange greiner er så tynne klarer ikke programmet å matche dem. Trær med barnåler som har en stor «overflate» kommer fram mye tydeligere.

Figur 11.11 Grantrær som blir modellert.

Denne hekken synes godt i punktskyen.



Figur 11.12 En tett hekk som blir med i punktskyen.

Her skal det være noen rader med busker, men de synes ikke særlig bra, bortsett fra at bakken går litt oppover og er mørkere enn gresset rundt.



Figur 11.13 Her skal det egentlig være noen tynne busker.

Hekken øverst og buskene nedenfor.



Figur 11.14 Oversiktsbilde.

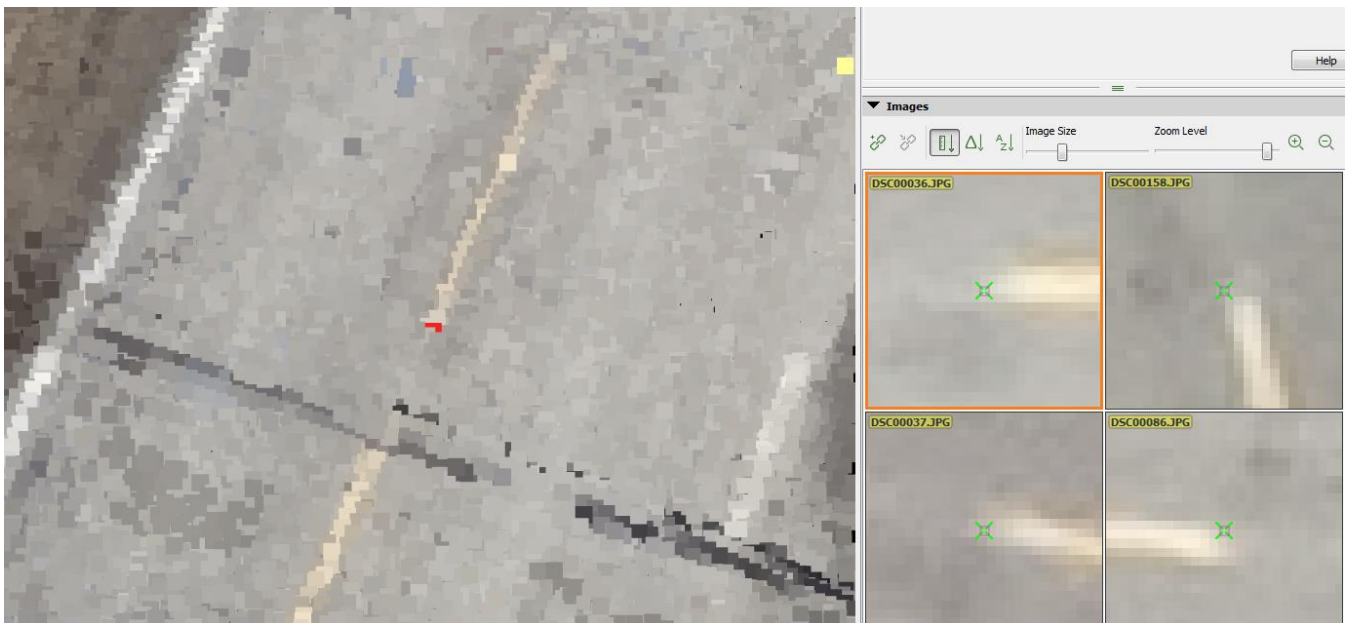
11.3 Asfalt

En vanlig landmålingsoppgave er å måle inn fortauskanter, asfaltkanter, midtstriper og lignende rundt og på veiene.



Figur 11.15 Bildet viser kanten ved et fortau, ser ut til å treffe ganske greit på flybildene.

På figur 11.15 er det en kant ved et fortau. Kanten stikker opp. Den røde prikken i bildet er oppå kanten. I kryssene til høyre i bildet er det mulig å se hvor punktet blir i flyfotoene.



Figur 11.16 Midtstripen på Drøbaksveien.

For bakkebasert laserskanning er det vanlig å måle midtstripene for å bruke dem som kontrollpunkt for punktskyen. Senterlinjen til veier er ofte med i kart, men det er ganske vanskelig å se hvor start og stopp for stripene er.



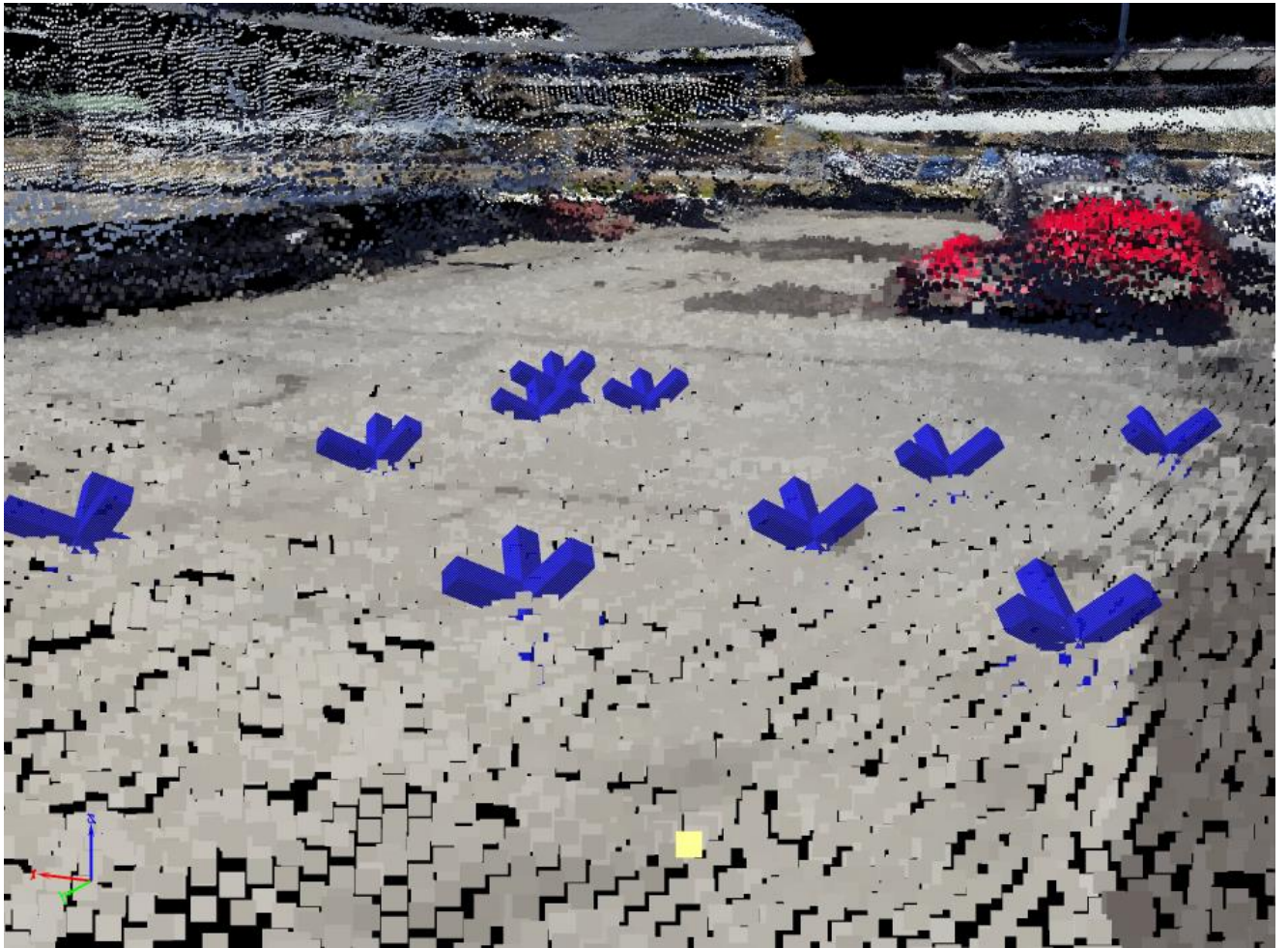
Figur 11.16 Veikanten.

Asfaltkanten er viktig å få nøyaktig. Det er helt umulig å se eksakt hvor kanten er i punktskyen, så for å klare og finne et bra punkt må en ta bildene til hjelp. For kartlegging for kartproduksjon og lignende kan dronekartlegging fungere, men hvis en skal finne ut hvor mye asfalt det ligger på veien er nok dette for unøyaktig.

Hvis en skal ha meget nøyaktige koordinater for lignende målinger trengs det totalstasjon, men hvis det er CPOS-nøyaktighet eller litt dårligere fungerer det å måle i 3D-modellen.

11.4 Flatetest

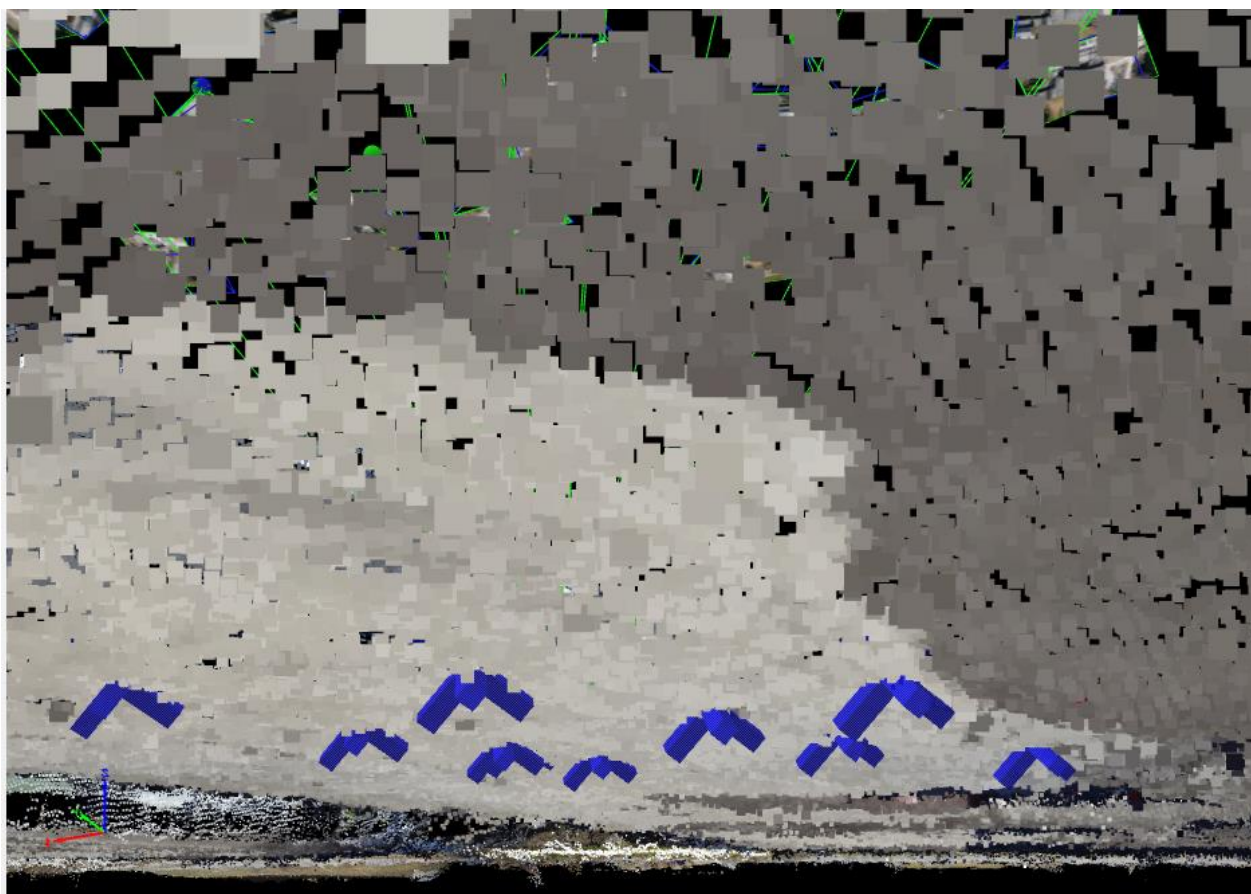
Helt på slutten av masteroppgaveprosessen fant jeg ut at jeg skulle måle inn flere punkt i et lite tilfeldig område for å se hvor godt bakken passer inn med noen tilfeldige flater. Jeg måtte gjøre dette i Postflight Terra 3D, og da ble det litt tungvint og jeg kunne dessverre ikke importere en flate, men noen visuelle resultater klarte jeg å få. Jeg målte tre områder med CPOS, ca. 20 punkt på hvert område. Fordi det er litt tungvint å legge inn punkt valgte jeg å ikke legge inn alle punktene. Listen med koordinater er i vedlegget.



Figur 11.17 Punktsky med punkt sett ovenifra.

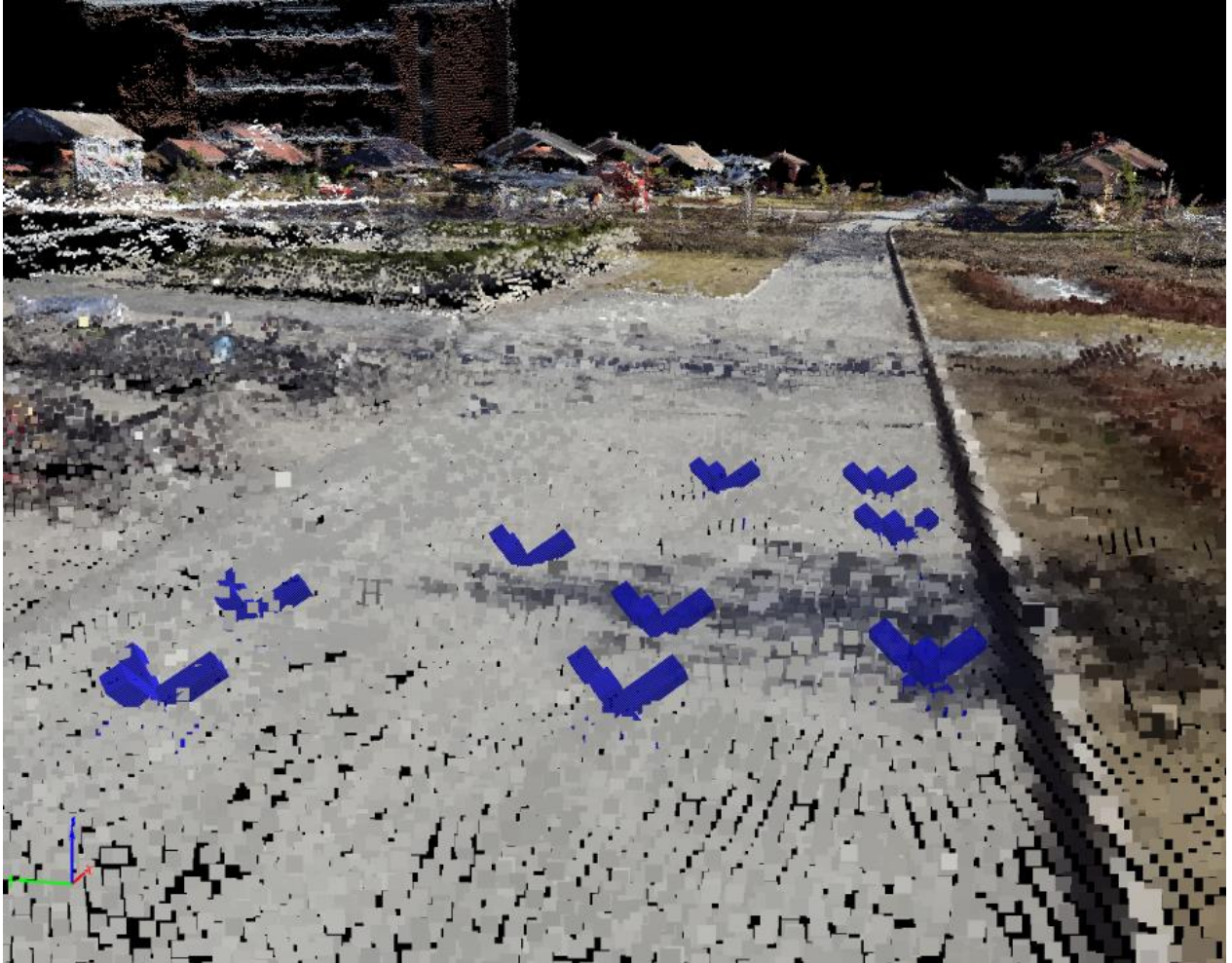


Figur 11.18 Sett nedenifra.

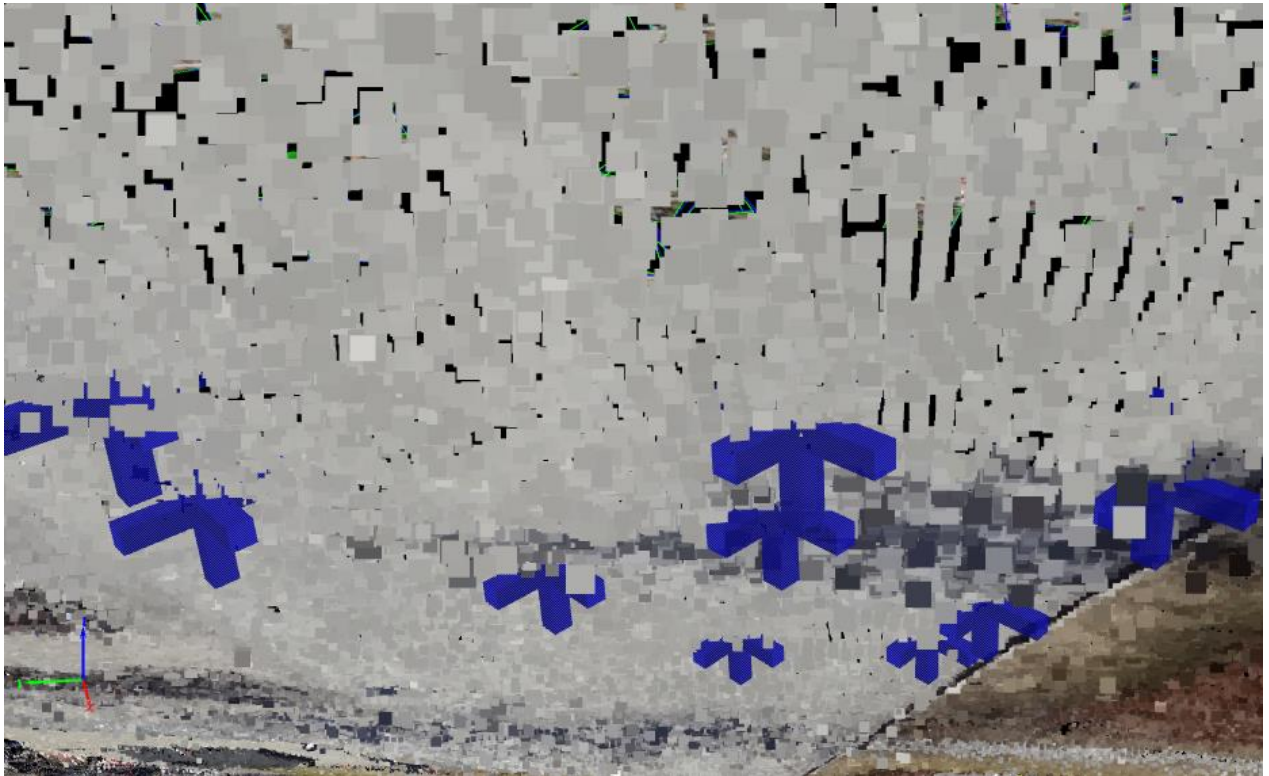


Figur 11.19 Enda et bilde av undersiden av punktskyen.

De tre bildene ovenfor er av et område som er en parkeringsplass. Et bilde ovenfra og to nedenifra. Jeg synes punktene treffer ganske bra. Det er vanskelig å si om de er for høye eller for lave. Et par av punktene er kanskje for høye og en par for lave, de andre er umulige å si for meg.



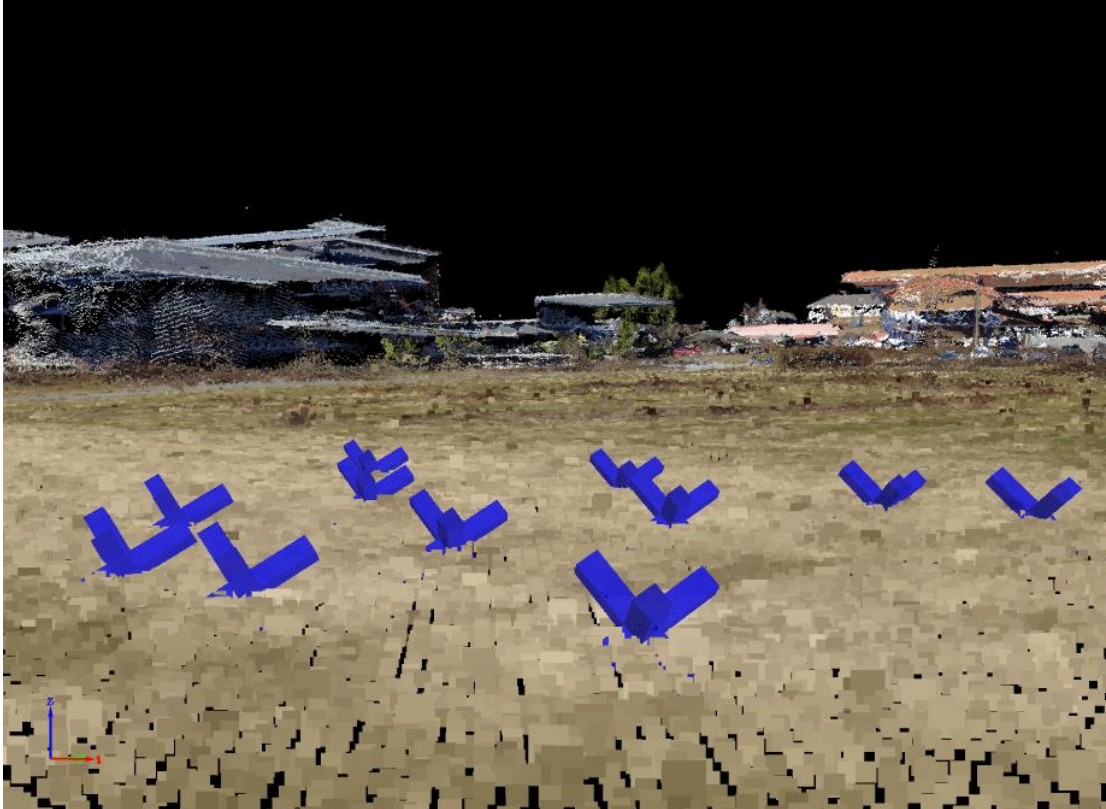
Figur 11.20 Ovenifra veien utenfor Sørhellinga.



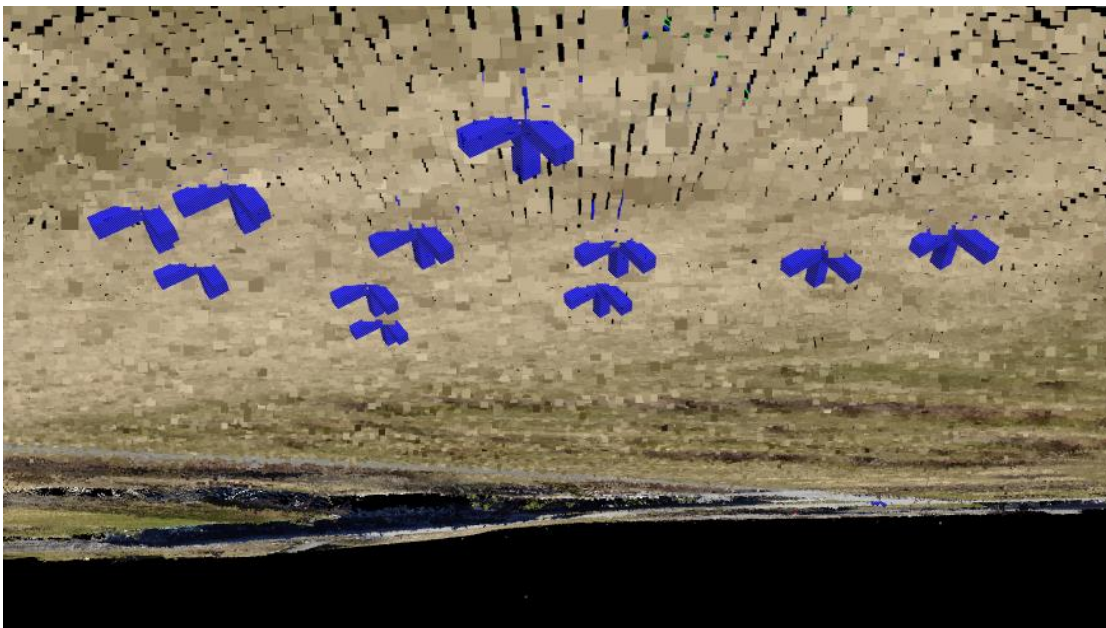
Figur 11.21 Undersiden av samme veien.

De to bildene ovenfor er veien utenfor Sørhellinga. Dette er en asfaltvei. Her virker det som om punktene er litt lavere enn veien.

Hittil har jeg sett på to områder der bakken er veldefinert. Neste område er på gress. Fordi gress stikker opp fra bakken vil jeg anta at mine CPOS-målte punkt vil ligge lavere enn punktskyen.



Figur 11.22 Gressplenen, ovenifra.



Figur 11.23 Gressplenen fra undersiden.

Figurene er på en gressplenen utenfor TF-bygget. Det virker som om de fleste punktene ligger litt høyere enn punktskyen.

Denne delen med flater er meget subjektiv. Den baserer seg på hvor jeg synes punktene ligger.

12 Diskusjon

Etter å ha vært gjennom prosessen med å få ut en god punktsky noen ganger virker det som om resultatet uten noen GCP er ganske bra i alle retninger. Med GCP er blir det en del bedre i høyden, men i X og Y er det ganske stabilt, tallverdiene beveger seg begge veier. Dette kan skyldes at det er et så høyt antall bilder som gjør at styrken i bildematchingen er så sterk.

12.1 GCP

Etter at punktskyen var laget uten at noen GCP var blitt brukt, var gjennomsnittene til nøyaktighetene i X-, Y- og Z-koordinaten på henholdsvis 0.0567, 0.08127 og 0.0791m. Tallene er hentet fra tabell 10.2.1. For X er det 2 punkt som drar opp snittet veldig, det samme gjelder for Y. Det er ikke de samme koordinatene som har stort avvik i X og Y. For høyden Z er det mye av det samme, men feilen i høyden er ofte høy hvis det er en høy feil i enten X eller Y. KP3 har stor feil i Y og Z, og TAK4 er høy i X og Z. Punktet KP11 er ca. 10 cm feil i alle retninger. Dette er det eneste punktet som har denne egenskapen.

For å teste punktskyens nøyaktighet valgte jeg å bruke GCP. I tabell 10.2.4 bruker jeg punktene KP7, KP9 og TAK2. Her ser jeg på forbedringen til punktskyen ved hjelp av GCP. Raden lengst til høyre, EGCPP, viser feilen for koordinatene for den originale posisjonen i forhold til den estimerte posisjonen. Dette er tall Postflight Terra 3D kom fram til med litt hjelp fra meg. For KP7 går feilen i X fra -0,058 til -0,065, og så ender den på -0,072 når det er blitt brukt 9 GCP for å rette opp punktskyen. Y-koordinaten forbedrer seg med litt over en centimeter når punktskyen har blitt forbedret med 3 GCP. Med 9 GCP går den tilbake til cirka utgangspunktet. Høyden synker fra 0,017 videre til 0,011 for så å gå ned til -0,003. Feilen i høyden her blir til slutt bare 3mm. For det neste punktet, KP11, går X-koordinaten fra -0,045 for ingen GCP til -0,050 med 3 GCP, og ender så på -0,070 med 9 GCP. Y er i utgangspunktet -14,8cm feil. Dette er veldig mye. Det er en mulighet for at det er en grovfeil her. Høyden for KP11 starter med å være 2,5cm for høy, så blir den høynet til 4,3cm for å så gå ned igjen til 2,6cm med 9 GCP. For punktet på taket, TAK2, holder koordinatene seg ganske stabile. I grunnrisset beveger de seg ca. 1cm, mens bare 2 og 1mm opp og ned i høyden. Se tabellen for eksakte tall.

Den andre testen jeg gjorde med punktene var å teste de beregnede koordinatene opp mot koordinatene målt med CPOS. Dette er gjort i tabell 10.2.5. Tallene blir ofte de samme eller bare noen millimeter ifra.

En usikkerhet er at de punktene som var på bakken var spikret fast, men fordi det kjørte biler og var mye folk i bevegelse i området kan det hende dette muligens påvirket posisjonen deres.

Jeg har ikke funnet noen lignende forsøk med RTK på droner før meg. SensFly viser til nøyaktighet ned mot 3cm når de reklamerer for eBee RTK. Jeg kan tenke meg at dette

muligens kan oppnås hvis det blir brukt RTK i stedet for CPOS, da RTK skal være litt mer nøyaktig. Lenger ned i teksten kommer faktorer som kan forbedre resultatet.

12.2 Visuelt og annet

Det er ikke lett å vise fram en punktsky med noen få bilder. En trenger bevegelse for å klare og oppfatte hvordan den er.

I kapittel 11.2 kan en se hvordan bygg og hus blir. Resultatene er så varierte, så det er vanskelig å kunne si noe generelt om dette. En mulighet for å forbedre dette kan være å ta bilder fra bakken på veggene. Så lenge det samme kameraet blir brukt kan dette kanskje fungere.

Som det står i kapittel 11.3 så må det være tett og tydelig vegetasjon for at det skal bli med i punktskyen. Tette grantrær og busker kommer med, men de tynne greinene til løvtrærne som ikke hadde blader blir borte. Hvis skog skal kartlegges burde dette gjøres når det er løv på trærne.

Å finne kanten på fortauskanten eller midtstripen i veien gikk ganske greit. Det var en fordel å forandre litt på punktstørrelsen og se litt fra forskjellige vinkler. Når en trykker på et punkt kommer dette punktet opp i alle bilder punktet er med i. Dette er noe som trengs å brukes for å finne spesielt midtstripen i veier. Denne funksjonen er bra å bruke til det meste. For å se bilder om dette se kapittel 11.4.

Jeg synes det så ut som om min flatetest (11.5) treffer ganske bra på høyden, så det kan være en mulighet å bruke punktskyen til masseberegning. Det har ikke noe å si om hele modellen er i feil høyde, for dette vil ikke påvirke resultatet hvis en starter på en høyde som er for høy og slutter på den samme for høye høyden.

12.3 Faktorer som kan gi bedre resultat:

- Vindforhold. Jeg tror vinden påvirker nøyaktigheten til GNSS-dataene.
- CPOS/RTK er ganske nøyaktig, men ikke nok. Når CPOS/RTK blir bedre kommer også resultatene her til å bli bedre.
- Ved bruk av GCP burde disse måles inn med totalstasjon fremfor CPOS. Dette vil gi millimeternøyaktighet fremfor centimetersnøyaktighet.
- Bruke mange og godt spredte/plasserte GCP for bildene som skal prosesseres.
- Hvis mulig, fly fra to forskjellige høyder og bruk begge datasettene.

12.4 Veien videre

Det er mange tester som kan gjøres videre for å undersøke dronekartlegging med RTK. Det jeg virkelig burde ha prøvd er å se hvor godt resultatet blir i forhold til en flyving uten GNSS-data som bruker GCP. Forskjellige flyhøyder og overlapp burde også utforskes.

13 Konklusjon

Oppgaven gikk hovedsakelig ut på å se på nøyaktigheten til punktskyen, samt noe av det visuelle rundt den, og hvis det er mulig å finne noen spesielle detaljer. For å kunne ha gjort en bedre undersøkelse måtte jeg ha hatt mange flere punkt å testet mot. Statisk har jeg alt for få punkt. I kapittel 10 bruker jeg GCP for å teste punktskyen. Det ser ut som om nøyaktigheten til punktskyen uten GCP eller etter bruk av GCP er ganske lik, som regel noe sted rundt 5-6cm. Det er noen punkt som er en del over og dermed drar opp snittet. Noen punkt er ned mot noen millimeter feil og andre over 10 centimeter feil. Koordinatene til de forskjellige GCP varierer innad i punktet også. Det er vanskelig å trekke noen eksakt konklusjon av det datagrunnlaget jeg har.

Punktskyen har mange mangler visuelt. De fleste veggene er veldig dårlig gjengitt. Det er mye skurr og umulig å gjenkjenne noe. Mange vegger er veldig mangelfulle eller eksisterer ikke i det hele tatt. Dette kan en se eksempler på i figurene i kapittel 11.2. Vegetasjonen må være tett for at det skal bli noe resultat. Grantrær, veldig tette busker og noen av stammene til løvtrær er det som kommer med i punktskyen. Det var ikke blader på trærne da forsøket ble gjennomført. Dette påvirker resultatet av trærne. Det ser ut som om det er mulig å finne enden på midtstripen på en vei. Dette er ikke veldig nøyaktig og burde bli testet opp mot CPOS. Noe jeg har tenkt at dronekartlegging har et potensiale for er masseberegning. Jeg har dessverre ikke fått testet dette, men ut ifra resultatene fra min simple flatetest (11.5) virker det som om det er potensiale for masseberegning.

I denne masteroppgaven har det vært litt eksperimentering, forsøk og noen usikkerheter. Mange av resultatene har vært subjektivt bedømt. Derfor synes jeg ikke at den burde brukes som noen form for fasit for bruk av dronekartlegging med eBee eller andre droner.

14 Litteraturliste

- A.Tiltnes. (2010). *Kvalitetsevaluering og forbedring av ytre orientering til bilder tatt fra drone*.
- Arnesen, M. (2015). *Droner – Alt du trenger å vite*. Tilgjengelig fra: <https://nrkbeta.no/2015/01/23/droner-alt-du-trenger-a-vite/#hobby>.
- ET Spatial Techniques. *Triangulated Irregular Network*: ET Spatial Techniques. Tilgjengelig fra: http://www.ian-ko.com/resources/triangulated_irregular_network.htm.
- Falkner, E. & Morgan, D. (2002). *Aerial Mapping - Methods and Applications*. Second Edition utg. USA: Lewis Publisher.
- gis-lab. Tilgjengelig fra: <http://wiki.gis-lab.info/w/%D0%9A%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BA%D0%BE%D0%B5%D0%B2%D0%B2%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5%D0%B2%D0%93%D0%98%D0%A1%D0%A7%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%8C7:%D0%A1%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D1%8B%D0%BA%D0%BE%D0%BE%D1%80%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D1%82>.
- J.E.Smilden. (2002). *Dødens droner*. 2002/11/11 utg.
- Kartverket, s. (2015). *Produksjon av geodat Versjon 2015 – høringsversjon*. Tilgjengelig fra: <http://kartverket.no/Documents/Standard/H%C3%B8ringer%20standarder/Produksjon-av-geodata-2015-horing.pdf>.
- Kartverket. *EUREF89 NTM*. Tilgjengelig fra: <http://www.statkart.no/Documents/Posisjonstjenester/EUREF89NTMbeskrivelse.pdf>.
- Kartverket. *Høydesystemer*. Tilgjengelig fra: <http://kartverket.no/Documents/Standard/Bransjestandarder%20utover%20SOSI/hoydesys.pdf>.
- Kartverket. *Omløpsfotografering*. Tilgjengelig fra: <http://kartverket.no/kart/flyfoto/nasjonalt-program-for-omlopsfotografering/>
- Kartverket. *RTK*. Tilgjengelig fra: kartverket.no/Systemsider/Ordbok/R/RTK/.
- Kartverket. (2013). *Katrprojeksjoner*. Tilgjengelig fra: <http://www.statkart.no/Kunnskap/Kart-og-kartlegging/Jordens-rutenett/Katrprojeksjoner/>.
- Kartverket CPOS. (2015). *CPOS*. Tilgjengelig fra: <http://kartverket.no/Posisjonstjenester/CPOS/>.
- Lied & Kjølleberg. (2013). *Droneguide*. Tilgjengelig fra: <http://snutt.nrk.no/multimedia/dronekrigen/dette-er-droner>.
- M.Arnesen. (2015). *Droner – Alt du trenger å vite*. Tilgjengelig fra: <https://nrkbeta.no/2015/01/23/droner-alt-du-trenger-a-vite/#hobby>.
- Maalen-Johansen, I. (2013-2014). *Forelesninger fotogrametriseringene*. GMFO.
- Microsoft. *UltraCam Eagle*. Tilgjengelig fra: <http://www.microsoft.com/en-us/ultracam/UltraCamEagleSpecs.aspx>.
- Microsoft_Asia. (2011). Tilgjengelig fra: <http://www.cnurs.com/chan-pin/shenyang/>.
- Nasjonal sikkerhetsmyndighet. Tilgjengelig fra: <http://nsm.stat.no/aktuelt/videreforer-praksis-foto-fra-luft/>.
- NovArel. *RTK*. Tilgjengelig fra: <http://www.novatel.com/an-introduction-to-gnss/chapter-4-advanced-gnss-concepts/real-time-kinematic-rtk/>.
- SensFly. *eBee RTK*. Tilgjengelig fra: https://www.sensefly.com/fileadmin/user_upload/documents/brochures/eBee_RTk_en.pdf.
- Statens Kartverk. (2009). *Kart og geodata Bransjestandard*. Tilgjengelig fra: <http://www.statkart.no/Documents/Standard/Bransjestandarder%20utover%20SOSI/KartOgGeodata-v2.pdf>.

Statens Kartverk. (2013a). *Hvordan lages landkart?* Tilgjengelig fra:
<http://www.kartverket.no/Kunnskap/Kart-og-kartlegging/Hvordan-lages-kart/>

Statens Kartverk. (2013b). *Produktspesifikasjon for ortofoto i Norge*. Tilgjengelig fra:
<http://www.statkart.no/Documents/Standard/SOSI%20kap3%20Produktspesifikasjoner/Ortofoto/ProduktspesifikasjonOrtofotoversjon45-20130110.pdf> (lest 02.02.2015).

Statens Kartverk. (2014). *CPOS brukerveiledning*. Tilgjengelig fra:
<http://kartverket.no/Posisjonstjenester/CPOS/CPOS-brukerveiledning/>.

Statens Kartverk. (2015). *Ortofoto*. Tilgjengelig fra: <http://www.statkart.no/Kart/Flyfoto/Ortofoto/>.
Store Norske Leksikon. (2009). *Fotogrammetri*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/fotogrammetri>.

15 Vedlegg

Spesifikasjoner for kameraet finnes her: http://www.sony-asia.com/product/DSC-WX220/specs?site=hp_en_AP_i.

Liste over koordinater for flatetest:

| | | | | | | | |
|------|-------------|------------|--------|------|-------------|------------|--------|
| 1.1 | 6615525.763 | 600143.870 | 95.777 | 2.8 | 6615627.673 | 600075.195 | 98.975 |
| 1.2 | 6615525.485 | 600143.047 | 95.759 | 2.9 | 6615627.811 | 600076.773 | 98.942 |
| 1.3 | 6615525.211 | 600141.571 | 95.752 | 2.10 | 6615627.966 | 600078.526 | 98.935 |
| 1.4 | 6615525.000 | 600139.923 | 95.717 | 2.11 | 6615628.030 | 600079.706 | 98.941 |
| 1.5 | 6615524.867 | 600138.583 | 95.677 | 2.12 | 6615629.377 | 600079.758 | 98.925 |
| 1.6 | 6615526.459 | 600138.494 | 95.677 | 2.13 | 6615629.348 | 600078.173 | 98.938 |
| 1.7 | 6615526.570 | 600140.025 | 95.724 | 2.14 | 6615629.201 | 600076.524 | 98.945 |
| 1.8 | 6615526.539 | 600141.856 | 95.754 | 2.15 | 6615629.161 | 600075.028 | 98.965 |
| 1.9 | 6615526.471 | 600143.632 | 95.789 | 2.16 | 6615629.082 | 600073.436 | 98.978 |
| 1.10 | 6615526.447 | 600145.296 | 95.837 | 2.17 | 6615630.483 | 600073.036 | 98.998 |
| 1.11 | 6615528.071 | 600145.508 | 95.814 | 2.18 | 6615630.823 | 600074.720 | 98.958 |
| 1.12 | 6615528.330 | 600143.994 | 95.783 | 2.19 | 6615630.936 | 600076.649 | 98.937 |
| 1.13 | 6615528.337 | 600142.305 | 95.738 | 2.20 | 6615630.947 | 600078.438 | 98.942 |
| 1.14 | 6615528.450 | 600140.475 | 95.705 | 3.1 | 6615513.514 | 600006.146 | 97.254 |
| 1.15 | 6615528.438 | 600139.063 | 95.671 | 3.2 | 6615513.486 | 600004.830 | 97.261 |
| 1.16 | 6615529.426 | 600138.781 | 95.692 | 3.3 | 6615513.393 | 600003.512 | 97.268 |
| 1.17 | 6615530.058 | 600140.247 | 95.737 | 3.4 | 6615513.421 | 600002.132 | 97.280 |
| 1.18 | 6615530.361 | 600141.454 | 95.777 | 3.5 | 6615513.277 | 600000.365 | 97.278 |
| 1.19 | 6615530.541 | 600142.800 | 95.796 | 3.6 | 6615513.171 | 599998.808 | 97.282 |
| 1.20 | 6615530.739 | 600144.341 | 95.841 | 3.7 | 6615511.726 | 599998.720 | 97.247 |
| 2.1 | 6615626.335 | 600079.897 | 98.946 | 3.8 | 6615511.579 | 600000.191 | 97.233 |
| 2.2 | 6615626.074 | 600078.207 | 98.932 | 3.9 | 6615511.554 | 600001.671 | 97.221 |
| 2.3 | 6615625.824 | 600076.589 | 98.956 | 3.10 | 6615511.766 | 600003.472 | 97.237 |
| 2.4 | 6615625.701 | 600074.872 | 98.984 | 3.11 | 6615510.602 | 600004.006 | 97.166 |
| 2.5 | 6615625.558 | 600072.568 | 98.995 | 3.12 | 6615510.062 | 600002.385 | 97.155 |
| 2.6 | 6615627.340 | 600072.239 | 99.020 | 3.13 | 6615509.846 | 600001.196 | 97.164 |
| 2.7 | 6615627.575 | 600073.782 | 98.999 | 3.14 | 6615509.651 | 599999.653 | 97.174 |

| | | | |
|------|-------------|------------|--------|
| 3.15 | 6615508.346 | 599999.651 | 97.150 |
| 3.16 | 6615508.105 | 600001.007 | 97.123 |
| 3.17 | 6615508.128 | 600002.183 | 97.104 |
| 3.18 | 6615508.306 | 600003.353 | 97.098 |

- !** **Important:** Click on the different icons for:
- ?** Help to analyze the results in the Quality Report
 - i** Additional information about the feature

💡 Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary **i**

| | |
|--|---|
| Project | Allekoordlagtinn_opptimuntatt3 |
| Processed | 2015-Apr-21 12:03:08 |
| Camera Model Name | DSC-WX220_4.4_4896x3672 (RGB) |
| Average Ground Sampling Distance (GSD) | 2.88 cm / 1.13 in |
| Area Covered | 0.2149 km ² / 21.4935 ha / 0.083 sq. mi. / 53.1392 acres |
| Image Coordinate System | WGS84 |
| Output Coordinate System | WGS84 / UTM zone 32N |
| Processing Type | full Aerial nadir |
| Feature Extraction Image Scale | 1 |
| Camera Model Parameter Optimization | optimize externals and all internals |

Quality Check **i**

| | | |
|------------------------------|--|----------|
| ? Images | median of 48235 keypoints per image | ✓ |
| ? Dataset | 174 out of 174 images calibrated (100%), all images enabled | ✓ |
| ? Camera Optimization | 0.53% relative difference between initial and final focal length | ✓ |
| ? Matching | median of 15454.6 matches per calibrated image | ✓ |
| ? Georeferencing | no 3D GCP | ⚠ |

? Preview **i**

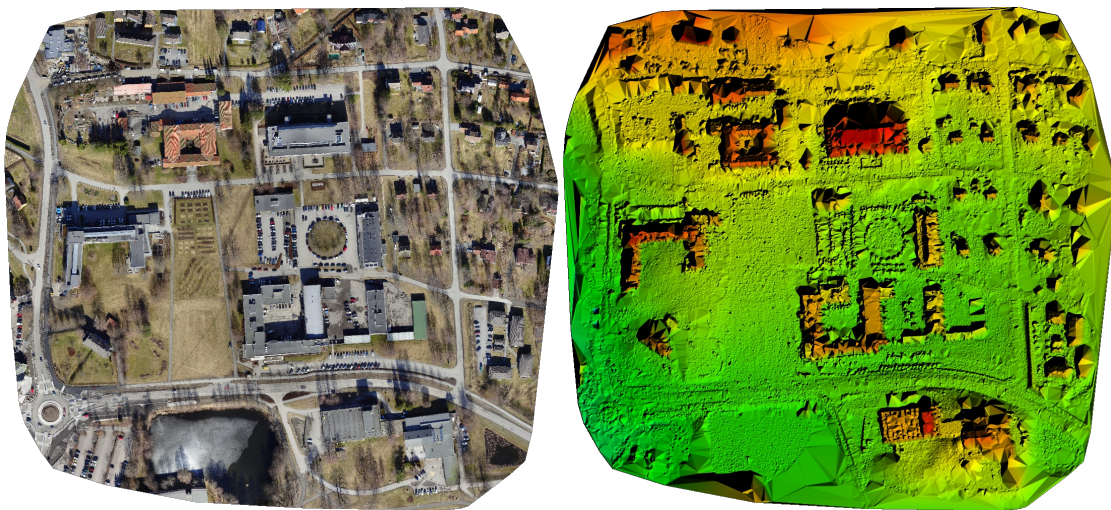


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details



| | |
|-----------------------------|----------------|
| Number of Calibrated Images | 174 out of 174 |
| Number of Geolocated Images | 174 out of 174 |

? Initial Image Positions

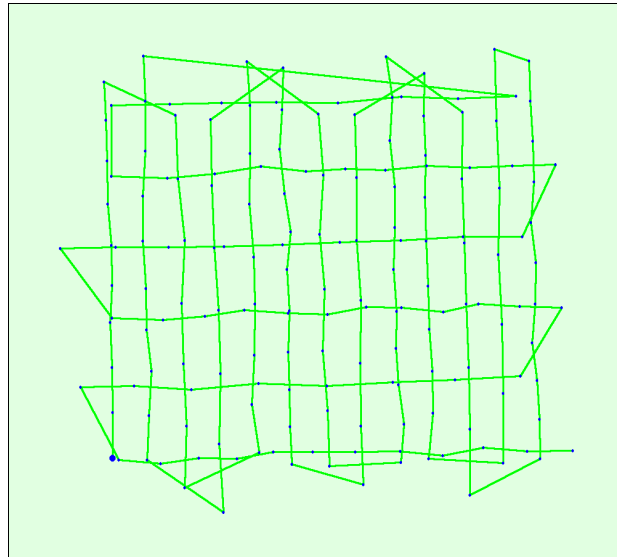


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

? Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions



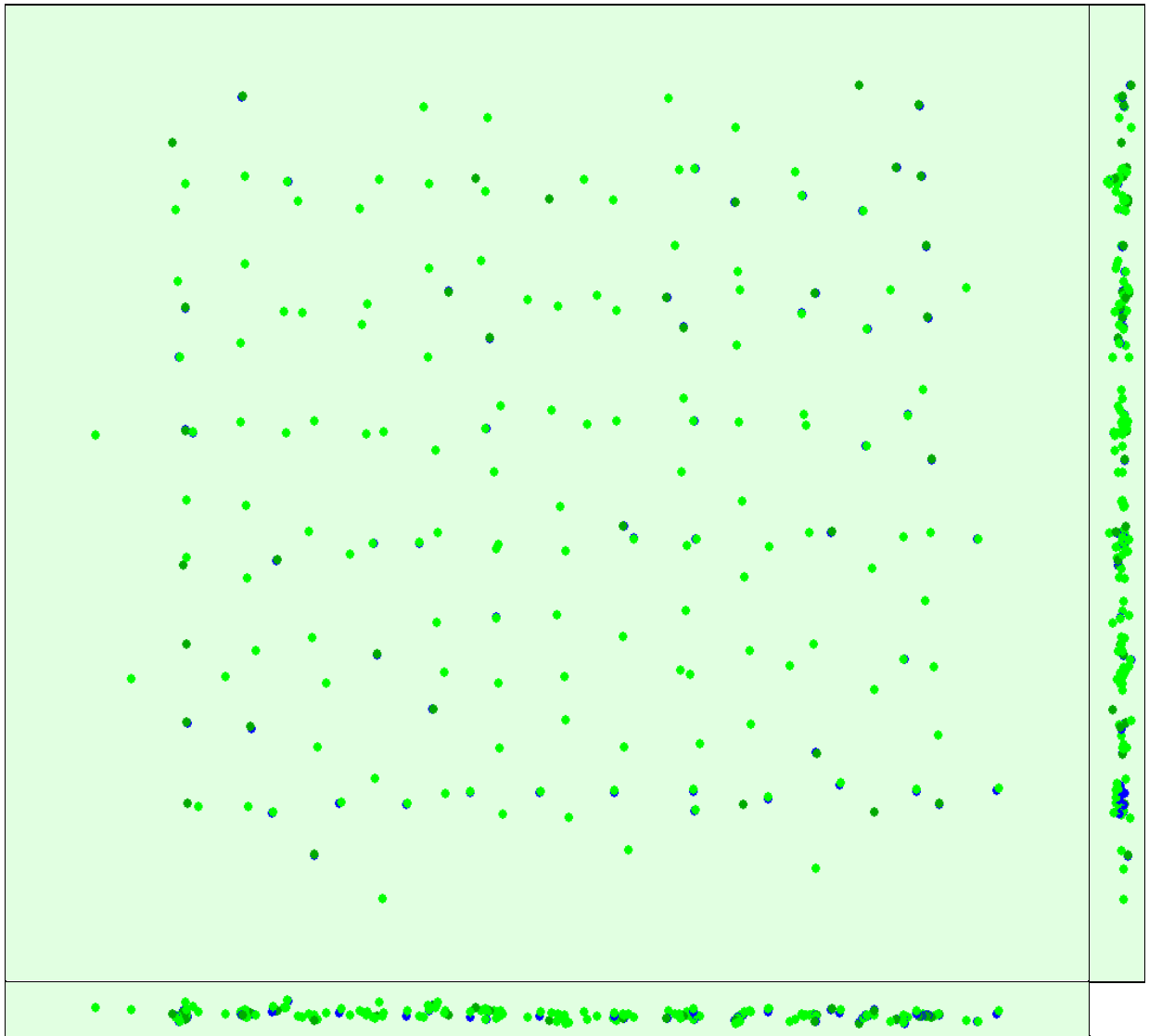
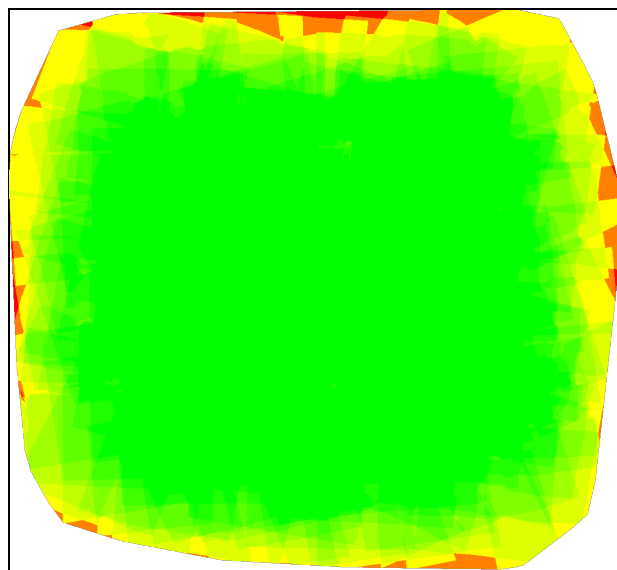


Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane).

? Overlap



Number of overlapping images: 1 2 3 4 5+

Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Bundle Block Adjustment Details



| | |
|--|---------|
| Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment | 2681551 |
| Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment | 1008458 |
| Mean Reprojection Error [pixels] | 0.24483 |

Internal Camera Parameters

DSC-WX220_4.4_4896x3672 (RGB). Sensor Dimensions: 6.17 [mm] x 4.63 [mm]



EXIF ID: DSC-WX220_4.4_4896x3672

| | Focal Length | Principal Point x | Principal Point y | R1 | R2 | R3 | T1 | T2 |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|--------|-------|-------|-------|
| Initial Values | 3628.284 [pixel] 4.572 [mm] | 2447.997 [pixel] 3.085 [mm] | 1836.004 [pixel] 2.314 [mm] | 0.012 | -0.045 | 0.050 | 0.005 | 0.003 |
| Optimized Values | 3608.987 [pixel] 4.548 [mm] | 2469.724 [pixel] 3.112 [mm] | 1845.308 [pixel] 2.325 [mm] | 0.002 | -0.030 | 0.029 | 0.001 | 0.002 |

2D Keypoints Table



| | Number of 2D Keypoints per Image | Number of Matched 2D Keypoints per Image |
|--------|----------------------------------|--|
| Median | 48235 | 15455 |
| Mn | 27688 | 3238 |
| Max | 67043 | 26401 |
| Mean | 47926 | 15411 |

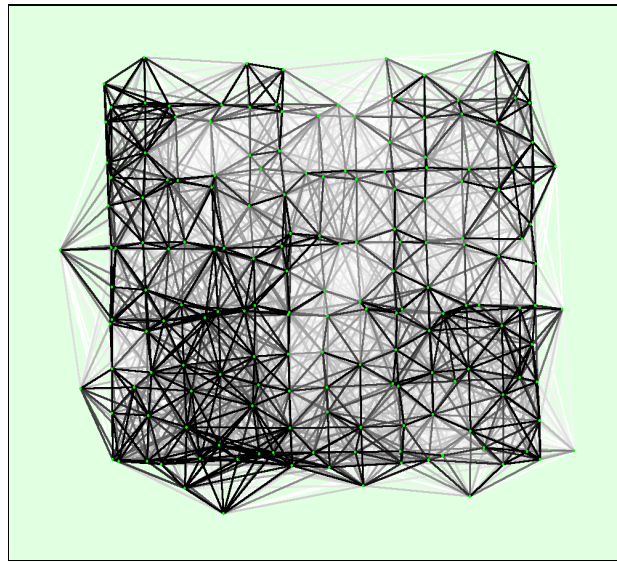
3D Points from 2D Keypoint Matches



| | Number of 3D Points Observed |
|--------------|------------------------------|
| In 2 Images | 694740 |
| In 3 Images | 172512 |
| In 4 Images | 63470 |
| In 5 Images | 30477 |
| In 6 Images | 16943 |
| In 7 Images | 10413 |
| In 8 Images | 6921 |
| In 9 Images | 4616 |
| In 10 Images | 3065 |
| In 11 Images | 2017 |
| In 12 Images | 1303 |
| In 13 Images | 786 |
| In 14 Images | 511 |
| In 15 Images | 310 |
| In 16 Images | 174 |
| In 17 Images | 118 |
| In 18 Images | 53 |
| In 19 Images | 15 |
| In 20 Images | 11 |
| In 21 Images | 2 |
| In 23 Images | 1 |

3D Points from 2D Keypoint Matches





Number of matches 25 222 444 666 888 1111 1333 1555 1777 2000

Figure 5: Top view of the image computed positions with a link between matching images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images.

Geolocation Details



? Absolute Geolocation Variance



| Min Error [m] | Max Error [m] | Geolocation Error X[%] | Geolocation Error Y[%] | Geolocation Error Z[%] |
|------------------|---------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| - | -2.77 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| -2.77 | -2.22 | 0.00 | 0.00 | 2.86 |
| -2.22 | -1.66 | 0.00 | 0.00 | 0.71 |
| -1.66 | -1.11 | 0.00 | 0.71 | 4.29 |
| -1.11 | -0.55 | 2.86 | 5.00 | 0.00 |
| -0.55 | 0.00 | 50.00 | 47.86 | 45.71 |
| 0.00 | 0.55 | 47.14 | 46.43 | 46.43 |
| 0.55 | 1.11 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.11 | 1.66 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.66 | 2.22 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2.22 | 2.77 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2.77 | - | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Mean | | -0.024295 | -0.068174 | -0.149505 |
| Sigma | | 0.144368 | 0.236498 | 0.514558 |
| RMS Error | | 0.146398 | 0.246128 | 0.535838 |

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

| Geotag Orientational Variance | RMS [degree] |
|-------------------------------|--------------|
| Omega | 3.893926 |
| Phi | 4.176012 |
| Kappa | 6.257147 |

Geolocation RMS error of the orientation angles given by the difference between the initial and computed image orientation angles.



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Postboks 5003
NO-1432 Ås
67 23 00 00
www.nmbu.no