

Aase Vilde Follinglo og Sigrid Klakken

Effektivitetsstudie av fotogrammetrisk kartlegging med droner

Bacheloroppgave i Geomatikk

Veileder: Andras Ladai og Runde Strand Ødegård

Mai 2019

Aase Vilde Follinglo og Sigrid Klakken

Effektivitetsstudie av fotogrammetrisk kartlegging med droner

Bacheloroppgave i Geomatikk

Veileder: Andras Ladai og Runde Strand Ødegård

Mai 2019

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

Fakultet for ingeniørvitenskap

Institutt for vareproduksjon og byggteknikk

Oppgavens tittel:	Dato: 20. mai 2019		
Effektivitetsstudie av fotogrammetrisk kartlegging med droner	Antall sider: 79		
	Masteroppgave:	Bacheloroppgave	
X			
Navn: Aase Vilde Føllinglo og Sigrid Klakken			
Veileder: Andras Ladai og Rune Strand Ødegård			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/ veiledere: Gry Cathrine Stuve Kjellsmoen og Einar Gladhaug			

Sammendrag

Hovedmålet i oppgaven er «Hva er effektivitets forskjell mellom en amatørdrone (Dji) og en profesjonell drone (Wingtra)?» Oppgaven er gjennomført som en casestudie.

Oppgaven tar for seg dronene i sin helhet og viser en sammenligning på grunnlag av flere delmål innen problemstillingen. Sammen med de eksterne veilederne fra Statens Vegvesen ble alle enige om et prosjektområde som passet med hovedmålet og gjennomføringen av oppgaven.

All etterprosessering som er gjennomført har blitt gjort i programvarene WingtraHub og Agisoft. Der har det blitt utført beregninger av kvaliteten til de utførte flyvningene, og resultatene som kommer frem i rapporten er basert på dette. Analysene er gjennomført i Gemini Terreng og 3DReshaper.

Det har blitt konkludert med at det er en effektivitetsforskjell mellom dronene. Det blir forklart at den mest effektive dronen er Wingtra uten GCP, PPK ETPOS i motsetning til Dji uten GCP, RTK. Wingtra med GCP, PPK lokal base har den beste presisjonen på sine målinger, men begge dronene fungerer greit til hvert sitt formål.

Stikkord:

Effektivitet
Fotogrammetri
Drone
Kartlegging

Aase Vilde Føllinglo

Sigrid Klakken

(sign.)

Abstract

The main goal of the thesis is “What is the efficiency difference between an amateur drone (DJI) and a professional drone (Wingtra)?” The thesis is carried out as a case study.

The thesis deals with the drones as an entirety and shows a comparison based on several sub-goals within the topic question. Together with the external supervisors from the Norwegian Public Roads Administration (Statens Vegvesen), everyone agreed on a project area that suited the main goal and the implementation of the task.

All processing that has been carried out has been done in the WingtraHub and Agisoft software. There, calculations have been made of the quality of the performed flights, and the results that appear in the report are based on these. The analyzes were carried out in Gemini Terrain and 3DReshaper.

It has been concluded that there is a difference in efficiency between the drones. It is explained that the most efficient drone is Wingtra without GCP, PPK ETPOS as opposed to Dji without GCP, RTK. Wingtra with GCP, PPK local base has the best precision on its measurements, but both drones work fine for each purpose.

Forord

Denne oppgaven ble utarbeidet av Aase Vilde Follinglo og Sigrid Klakken, våren 2019. Oppgaven er skrevet under avdeling for vareproduksjon og byggteknikk ved NTNU Gjøvik.

Våren 2018 bestemte gruppen seg for å samarbeide om en bacheloroppgave med droner som tema. Statens Vegvesen ble kontaktet og de hadde ønsket om å lage en sammenligning av en ny drone de har gått til innkjøp av, og en drone som de har brukt på prosjekter tidligere.

Gruppen syntes dette temaet passet godt til vår bacheloroppgave siden droner er et tema som det kommer mer av i vårt fagfelt.

Vi vil gjerne rette en stor takk til våre eksterne veiledere fra Staten Vegvesen, Gry Cathrine Stuve Kjellsmoen og Einar Gladhaug for lån av utstyr og god hjelp til gjennomføring av prosjektet, samt våre veiledere fra NTNU Gjøvik, Andras Ladai og Rune Strand Ødegård som har vært til stor hjelp underveis i oppgaven. Vi vil også takke alle andre fra Statens Vegvesen og familiemedlemmer for god hjelp.

Innholdsfortegnelse

Abstract	ii
Forord	iii
Innholdsfortegnelse	iv
Figurliste.....	vi
Tabelliste	vii
Forkortelser	viii
Forklaringer	ix
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn og problemstilling	1
1.2 Omfang og begrensninger	2
1.3 Leserveiledning	3
2 Teori	4
2.1 Drone	4
2.1.1 Sivile droner	4
2.1.2 Regler for droneflyvning	5
2.2 Kamera.....	5
2.3 Fotogrammetri	7
2.3.1 Ground Sampling Distance (GSD).....	8
2.3.2 Stereofotogrammetri.....	9
2.3.3 Flyfotogrammetri	9
2.3.4 Nærfotogrammetri.....	9
2.3.5 Digital fotogrammetri.....	10
2.4 Aerotriangulering/Blokkutjevning.....	10
2.5 Ortorektifisering	11
2.6 DEM/DSM/DTM.....	12
2.7 Nøyaktighet og presisjon	13
3 Metode.....	14
3.1 Områdebeskrivelse	14
3.2 Utstyr	16
3.2.1 Dji, Phantom 4 RTK.....	16
3.2.2 WingtraOne	17
3.2.3 Generelle spesifikasjoner for Dji og Wingtra	18
3.2.4 Kameraspesifikasjoner for Dji og Wingtra	19
3.3 Planlegging	20

3.4	Feltarbeid	24
3.5	Programvare.....	25
3.5.1	Dji.....	25
3.5.2	Wingtra.....	25
3.5.3	Agisoft.....	26
3.5.4	Gemini Terreng	29
3.5.5	3DReshaper	30
4	Resultater.....	31
4.1	Flytider.....	31
4.1.1	Planlegging og flytider	31
4.1.2	Tider for etterprosessering	34
4.1.3	Antall dekar kartlagt per time.....	35
4.2	Kvalitet	37
4.2.1	Geometrisk kontroll mellom DTMe og GCPene.....	38
4.2.2	Tverrprofiler mellom DTMer og fasitsskannet.	40
4.2.3	Høydeforskjellen mellom fasitsskannet og DTMer.....	42
4.2.4	Kontroll av grunnriss mellom GCPer og DTMer.....	46
4.2.5	Bildekvalitet	49
5	Diskusjon.....	53
5.1	Planlegging	53
5.2	Gjennomføring.....	54
5.3	Etterprosessering	55
5.4	Flytider.....	56
5.4.1	Delmål 1	56
5.4.2	Delmål 2	57
5.4.3	Delmål 3	57
5.5	Kvalitet	58
5.5.1	Delmål 4	58
5.5.2	Delmål 5	59
5.5.3	Delmål 6	60
5.5.4	Delmål 7	60
6	Konklusjon og anbefalinger	62
	Litteraturliste	63
	Vedlegg	68
	Vedlegg 1	69

Figurliste

Figur 1: Det svarte er kamerahuset, sensor/film er den lysømfintlige brikken og lens er objektivet (Girod, 2018).....	5
Figur 2: Prinsippet for fotogrammetri hvordan et objekt blir tatt bildet av fra to forskjellige perspektiv (Girod, 2018).	7
Figur 3: Pikslene som danner et bilde av kontrollpunktet (Propeller, 2018).	8
Figur 4: Prinsippet til fremstillingen av et ortofoto. Det tilordnes en gråtoneverdi til hvert piksel i ortofotoet.(Larsen, 2007).	11
Figur 5: Oppsettet av datasettene i oppgaven.....	14
Figur 6: a) Kart over Norge (Statens Kartverk ,2019c), b) kart over deler av Etnedalen (Statens Kartverk ,2019c), c) utklipp av prosjektområdet (Etnedal Kommune, 2019) og d) utklipp fra Gemini Terreng av analyseområdet.....	15
Figur 7: Dji, Phantom 4 RTK med kontroll (Dronernds, 2019).....	16
Figur 8: WingtraOne (StartUp, 2016).	17
Figur 9: Forskjellige flyplanene for DJI.....	22
Figur 10: Flyplanen til Wingtra.....	23
Figur 11: Plasseringene til GCPene på hele prosjektområdet. Punktene pp04, pp05, pp12, pp13 og pp14 er innenfor analyseområdet.	24
Figur 12: Referanse innstillinger brukt i Agisoft.	28
Figur 13: Tverrprofil av Dji uten GCP, RTK, Wingtra uten GCP, PPK lokal base og fasitskannet. På tverrprofilene er det asfalt fra 0 til ca. -3,5meter fra senterlinjen. Fra -3,5m og utover er det en grøft som består av alt fra gjørme til pukk til store buldreteiner.	40
Figur 14: Tverrprofil av Dji med GCP, RTK, Wingtra med GCP, PPK lokal base og fasitskannet. På tverrprofilene er det asfalt fra 0 til ca. -3,5meter fra senterlinjen. Fra -3,5m og utover er det en grøft som består av alt fra gjørme til pukk til store buldreteiner.	41
Figur 15: Tverrprofil av Wingtra med GCP, PPK lokal base, Wingtra med GCP, PPK ETPOS og fasitskannet. På tverrprofilene er det asfalt fra 0 til ca. -3,5meter fra senterlinjen. Fra -3,5m og utover er det en grøft som består av alt fra gjørme til pukk til store buldreteiner.	41
Figur 16: Fargekart av høydeforskjellen mellom Dji uten GCP, RTK og fasitskannet. Grafen på siden viser standardavviket for modellen.	42
Figur 17: Fargekart av høydeforskjellen mellom Wingtra uten GCP, PPK lokal base og fasitskannet. Grafen på siden viser standardavviket for modellen.....	43
Figur 18: Fargekart av høydeforskjellen mellom Dji med GCP, RTK og fasitskannet. Grafen på siden viser standardavviket for modellen.	44
Figur 19: Fargekart av høydeforskjellen mellom Wingtra med GCP, PPK lokal base og fasitskannet. Grafen på siden viser standardavviket for modellen.....	45
Figur 20: Sammenstilling av standardavvikene mellom Dji uten GCP, RTK, Wingtra uten GCP, PPK lokal base, Dji med GCP, RTK og Wingtra med GCP, PPK lokal base mot fasitskannet.....	46
Figur 21: Faktiske bildestørrelse og skarphet på et bilde fra Dji.	49
Figur 22: Faktiske bildestørrelse og skarphet på et bilde fra Wingtra.	50
Figur 23: Lysforskjell på Dji sine bilder. Det øverste bildet er litt mørkere. Begge bildene har kamerainnstillingene ISO-100 og lukkertid på 1/2000sek. Øverste bildet har en blenderåpning på f-3,2 og nederste bildet har en blenderåpning på f-2,8.....	51
Figur 24: Ikke lysforkjeller på Wingtra sine bilder. Begge bildene har kamerainnstillingene ISO-320, lukkertid på 1/2000sek og blenderåpning på f-4,5.	52

Tabelliste

Tabell 1:.....	18
Generelle spesifikasjoner for Dji (Dji, 2019) og Wingtra (Wingtra, 2019a). Tomme felt er mangel på informasjon fra produsentene.	18
Tabell 2:.....	19
Kameraspesifikasjoner for Phantom 4 RTK (Dji, 2019) og WingtraOne (Wingtra, 2019c). Tomme felt er mangel på informasjon fra produsentene.	19
Tabell 3:.....	31
Tider for planleggingsprosessen og gjennomføringen av flyvningene til de forskjellige dronene uten GCPer. Den viser tiden for Dji, RTK, Wingtra, PPK lokal base og Wingtra, PPK ETPOS.....	31
Tabell 4:.....	32
Tider for planleggingsprosessen og gjennomføringen av flyvningene til de forskjellige dronene med GCPer. Den viser tiden for Dji, RTK, Wingtra, PPK lokal base og Wingtra, PPK ETPOS.....	32
Tabell 5:.....	33
Differansen for tidsbruken mellom de forskjellige flyvningene for planlegging og gjennomføring.	33
Tabell 6:.....	34
Tider for etterprosesseringen gjennomført uten GCPer. Den viser tiden for Dji, RTK, Wingtra, PPK lokal base og Wingtra, PPK ETPOS.....	34
Tabell 7:.....	35
Tider for etterprosesseringen gjennomført med GCPer. Den viser tiden for Dji, RTK, Wingtra, PPK lokal base og Wingtra, PPK ETPOS.....	35
Tabell 8:.....	36
Dji og Wingtra sine sammenlagte tider i timer, arealet på innsamlet data i antall dekar og antall dekar innhentet data per time. Den viser utregninger uten GCPer for Dji, RTK, Wingtra, PPK lokal base og Wingtra, PPK ETPOS.....	36
Tabell 9:.....	36
Dji og Wingtra sine sammenlagte tider i timer, arealet på innsamlet data i antall dekar innhentet data per time. Den viser utregninger med GCPer for Dji, RTK, Wingtra, PPK lokal base og Wingtra, PPK ETPOS.	36
Tabell 10:.....	37
Generell oppsummering fra Agisoft.....	37
Tabell 11:.....	38
Koordinater og standardavvik for innmålingene av GCPene.....	38
Tabell 12:.....	38
Resultatet fra en Geometriskkontroll mellom GCPene og alle de 7 forskjellige DTMe. De røde rutene viser hvilke punkter som er utenfor kravet. Kravet er satt til +/-5cm. Tabellen viser også standardavviket, middel, minimum/maksimum relativverdi og minimum/maksimum absoluttverdi.....	38
Tabell 13:.....	47
Kontroll av grunnriss mot GCPer for Dji. Gjennomført i programvaren Agisoft.....	47
Tabell 14:.....	48
Kontroll av grunnriss mot GCPer for Wingtra. Gjennomført i programvaren Agisoft.....	48

Forkortelser

- CSV:** Comma Separated Values
- DEM:** Digital Elevation Model
- DFA:** Digitale Fotogrammetriske Arbeidsstasjoner
- DTM:** Digital Terrain Model
- DSM:** Digital Surface Model
- GCP:** Ground Control Point
- GNSS:** Global Navigation Satellite System
- GSD:** Ground Sampling Distance
- INS:** Inertial Navigation System
- JPEG:** Joint Photographic Experts Group (file)
- KML:** Keyhole Markup Language
- PPK:** Post Processing Kinematic
- RINEX:** Receiver Independent Exchange Format
- RTK:** Real Time Kinematics
- TXT:** Text (file)
- UAV:** Unmanned Aerial Vehicle
- VTOL:** Vertical Take-off and Landing

Forklaringer

- CPOS:** Posisjonstjeneste på centimeternivå. Korreksjoner i sanntid fra Kartverket (Statens Kartverk, 2019b).
- ETPOS:** Etterprosessering av GNSS-målinger med observasjoner fra Kartverkets permanente geodetiske basestasjoner (Statens Kartverk, 2018).
- Georeferering:** Bildekoordinater som refereres til kartkoordinater. Man tar ett punkt i et bilde (x, y) og plasserer det i forhold til jordens overflate (GIS Resources, 2013).
- Grid:** Rutenett laget av parallelle linjer på for eksempel et kart (Dick, 2018a)
- Punktsky:** Enkelt forklart så er en punktsky en sammensetting av punkter som danner en sky. Hvert punkt som kommer frem er stedfestet med en X, Y og Z koordinat (Engebretsen, Holter og Søråsen, 2014).
- SOSI:** «SOSI-formatet er et filformat for utveksling av digitale geodata.» (SOSI-formatet, 2019)

1 Innledning

1.1 Bakgrunn og problemstilling

Denne oppgaven er skrevet på oppdrag fra Statens Vegvesen, og de var eksterne veiledere for denne oppgaven. Bakgrunnen er at bedriften har en økende etterspørsel av oppdrag hvor drone er et nyttig verktøy. Økningen har ledet til at Statens Vegvesen nylig kjøpte seg en drone fra Wingtra. De ville derfor vite om den nye dronen er mer effektiv enn deres tidligere brukte Dji drone. Det kommer fram på Wingtra sine nettsider at WingtraOne skal være 3 ganger så effektiv på én flyvning enn andre fixedwing droner og opp mot 20 ganger så effektiv på én flyvning som Multirotordroner (Wingtra, 2019b).

Fokuset i denne oppgaven vil dermed se på effektiviseringsforskjellen mellom en kostbar fotogrammetridrone mot en drone som koster ca. en tiendedel.

Staten Vegvesen ønsker en rapport med resultater som viser om det lønner seg å gå til innkjøp av en drone som ligger i en relativt høyere prisklasse enn den andre dronen. Om det er mulig å kunne spare på et slikt kjøp eller om det lønner seg å holde seg til de «rimeligere» modellene.

Det vil også bli gjennomført forskjellige kontroller i programvarer for å teste kvaliteten, og disse vil bli gjort både mot Ground Control Points (GCPer) og et bakkeskann som Statens Vegvesen har hentet inn. Dette skannet vil bli brukt som en fasit for Digital Terrain Models (DTMene).

Problemstilling:

Hva er effektivitets forskjellen mellom en amatørdrone (Dji) og en profesjonell drone (Wingtra)?

Delmål 1: Hvor stor forskjell er det på tidsforbruket på planlegging og flyvning mellom Dji og Wingtra?

Delmål 2: Hvor stor forskjell er det på tidsforbruket på etterprosesseringen mellom Dji og Wingtra?

Delmål 3: Hvor mange dekar per time kartlegger de to forskjellige dronene?

For å finne kvalitetsforskjellen mellom Dji og Wingtra kan man se på fire forskjellige delmål.

Delmål 4: Hva er høydeforskjellen mellom GCPer og DTMer til Dji og Wingtra?

Delmål 5: Hva er høydeforskjellen mellom skannet og DTMer til Dji og Wingtra?

Delmål 6: Hva er forskjellen i grunnriss mellom GCPer og bildekoordinatene til Dji og Wingtra?

Delmål 7: Hvordan er bildeskarpheiten til bildene fra Dji og Wingtra?

1.2 Omfang og begrensninger

Det ble bestemt i samråd med Statens Vegvesen at fokuset er på innhenting av data fra dronene og GCPer. Siden oppgaven ikke omhandler skanning, vil alt av skanning bli planlagt, gjennomført og etterprosessert av Statens Vegvesen. Dette skannet vil bli benyttet i denne oppgaven som en type kvalitetssjekk og kontroll. For mer informasjon om hvordan skannet er gjennomført se, Vedlegg 1.

1.3 Leserveiledning

Denne rapporten omhandler prosessen og resultatet av vår bacheloroppgave. Det som er fokusert på i denne oppgaven er effektivitetsforskjell på to typer droner.

Rapporten er delt opp i følgende deler

- **Innledning** - introduserer prosjektet, problemstilling og omfang.
- **Teori** – Presenterer det teoretiske innholdet rapporten er bygget på.
- **Metode** – Beskrivelse og forklaring av metodene og fremgangsmåten som er brukt for å komme frem til resultatene i rapporten
- **Resultater** – Beskriver resultatene som har kommet frem.
- **Diskusjon** – Resultatene som har kommet frem diskuteres og belyses fra flere vinkler før det svares på problemstillingen
- **Konklusjon** – Svarer på problemstillingen

2 Teori

2.1 Drone

Drone er et fly som er ubemannet. Det kan kontrolleres ved enten å fly det autonomt ved hjelp av programvare, sensorer og GPS, eller det kan kontrolleres med fjernstyring. Man kan få droner i forskjellige størrelser. De kommer fra små og personlige droner eller Nano-UAVer (Unmanned Air Vehicle) til fly med et vingespenn på over 40 meter.

De siste årene har droner også i større grad blitt brukt til sivile formål. De var i hovedsak brukt til militære formål når de kom på markedet. Man kan i dag kjøpe mindre droner over nett eller disk. Disse kan kontrolleres med telefon eller håndkontroll. Disse dronene utstyres som regel med kamera.

Droner er mer kostnadseffektive i sammenlignet med bemannede fly. Droner vil også kunne redusere tapet av piloter i militær sammenheng (Jarslett og Tandberg, 2018).

2.1.1 Sivile droner

I de siste årene har det vært en kraftig økning av droner til sivilt bruk. Det er til overvåkning av miljø, vær og trafikk de vanligste dronene er brukt til. De har også i den senere tid blitt brukt til forskjellige sikkerhetsformål, slik som å kontrollere bygninger eller større ting som passasjerfly etter skader (Jarslett og Tandberg, 2018).

2.1.2 Regler for droneflyvning

Flyvning som skal utføres må skje på en hensynsfull måte som ikke medfører risiko eller skade for personer, luftfartstøy, fugler, dyr eller eiendom.

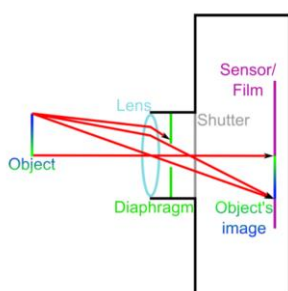
Under flyvning må dronen alltid være godt synlig for føreren. Med mindre man har mottatt spesialtillatelse for å fly i mørket, kan den kun flys i dagslys. Det er viktig å holde seg innenfor nødvendige sikkerhetsavstander når man er ute og flyr.

Man kan ikke fly nærmere enn 150 meter fra folkeansamlinger på mer en 100 personer, og det er ikke tillat å fly høyere enn 120 meter fra bakken eller vannet. Mennesker, kjøretøy eller bygninger som ikke er under pilotens kontroll, er det ikke lov å fly nærmere enn 50 meter. For fartøy som veier 250 gram eller mindre er det satt egne sikkerhetsavstander.

Når man kontrollerer et fartøy som er så lite, så kan man fly det når det er innenfor synsrekkevidde, i utvidet synsrekkevidde eller utenfor synsrekkevidde. Høydegrensen på denne flyvningen ligger på 50 meter over bakken eller vannet. Her gjelder ikke sikkerhetsavstanden til personer, bygninger eller kjøretøy. Selv om det gjelder andre regler på mindre fartøy, så skal flyvningen fortsatt blir gjennomført på en hensynsfull måte ovenfor andre (Luftfartstilsynet, 2019).

2.2 Kamera

Et kamera består av 3 hoveddeler. Et lystett kamerahus, et objektiv og en lysømfintlig brikke (bildebrikke) (Pihl, 2019). Figur 1, viser hvordan kameraet er bygd opp. Det er 4 kritiske parameter på et digitalkamera en må ha litt kunnskap om før man setter i gang med fotogrammetri: Brennvidde, Blenderåpning, Eksponeringstid og følsomhet.



Figur 1: Det svarte er kamerahuset, sensor/film er den lysømfintlige brikken og lens er objektivet (Girod, 2018).

Brennvidden (Foc i mm) påvirker zoomnivået (Girod, 2018). Det er avstanden mellom bildebrikken og objektivets sentrum som bestemmer lengden. Et normalt objektiv har en brennvidde som er like lang som diagonalen av bildebrikken. Denne avstanden er som oftest fast på hvert kamera og kan ikke endres (Pihl, 2017). En lengre brennvidde fører til et smalere synsfelt (Girod, 2018).

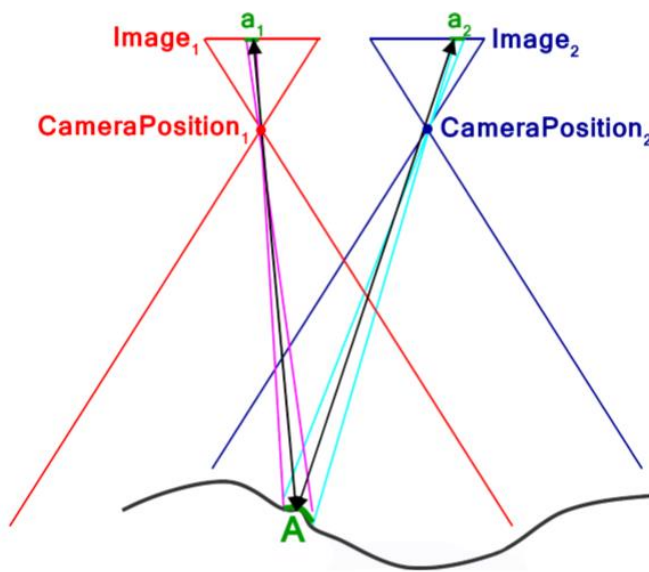
Blenderåpning (f-nummer) påvirker mengden lys som slipper inn til kamerahuset og hvordan lyset fordeler seg på bildebrikken (vignett). Altså om det er lik mengde lys på hele bildebrikken eller om lysstyrken er sterkere i sentrum forhold til kantene (Girod, 2018).

Lukkertid påvirker tidsintervallet på hvor lenge bildebrikken skal bli eksponert av lys (Løberg, 2006). Ved kortere eksponering er det mindre sjans for bevegelse på bilde motivet også kalt motion blur (Motion blur, 2019).

Følsomhet (ISO) påvirker hvor lysømfintlig bildebrikken er. En høy ISO vil si at bildebrikken trenger mindre lys, men det fører til økt støy (Girod, 2018). Lysfølsomheten er også avhengig av hvilken type bildebrikke som brukes. CMOS blir stadig mer populært på markedet og grunnene er at den er noe raskere og bruker mindre strøm (Pihl, 2019).

2.3 Fotogrammetri

Fotogrammetri er en type måleteknikk hvor det blir benyttet foto til å prøve å gjenskape en tredimensjonal modell av virkeligheten. Ved å bruke forskjellig perspektiv (a_1 og a_2) på to bilder av samme motiv (A) som vist på Figur 2, kan man beregne tredimensjonal informasjon. For å kunne beregne denne informasjonen må man vite posisjonen til kameraet i to stillinger og orienteringen på kameraet i stillingene (Girod, 2018).



Figur 2: Prinsippet for fotogrammetri hvordan et objekt blir tatt bildet av fra to forskjellige perspektiv (Girod, 2018).

Noe av det som også ligger i begrepet fotogrammetri er å kunne bestemme geometriske egenskaper som størrelse, form og beliggenheten til det fotograferte objektet.

Noe av det som regnes som deler av fotogrammetrien er bildetydning, bildetolkning og fotografisk registrering. Det viktigste bruksområdet innen fotogrammetrien er kartlegging (Dick, 2018b).

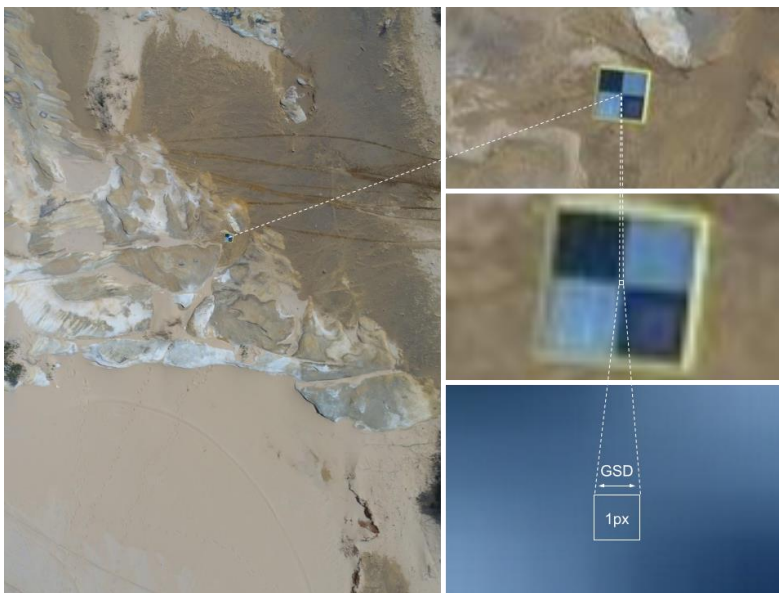
I tillegg til ortofoto kan fotogrammetri på en effektiv måte gi annen geografisk informasjon som Digital Elevation Model (DEM), topografiske funksjoner og linjekart. Fotogrammetri kan i hovedsak produsere nøyaktig og presis geografisk informasjon fra et stort spekter av bilder og fotografier. Måling som blir tatt på et fotogrammetrisk behandlet bilde eller fotografi, reflekterer målingen som har blitt utført på bakken. Istedenfor å dra ut i felt for å

måle områder, avstander og punkt posisjoner på jordens overflate, kan man benytte seg av de fotogrammetriske verktøyene for nøyaktig innsamling av informasjon fra bilder. De fotogrammetriske måtene for innsamling av geografisk informasjon sparer både tid og penger. Og det opprettholder den høyeste nøyaktigheten (Dick, 2018b).

2.3.1 Ground Sampling Distance (GSD)

Kort forklart er GSD avstanden mellom punktene i midten av hver prøve som er tatt av bakken. I digitale bilder er hver prøve en piksel. GSD er altså hvor stor hver piksel er på bakken.

Som vist på Figur 3 kan man se et AeroPoint, altså et kontrollpunkt på bakken. Dette bildet ble tatt med en Phantom 4 RTK med en avstand på ca. 30 meter. Zoomer man helt inn på dette bildet kan man se alle de individuelle pikslene som danner ett bilde. I dette eksemplet er størrelsen på de firkantede pikslene 0,82 cm. Dette er altså GSD (Propeller, 2018).



Figur 3: Pikslene som danner et bilde av kontrollpunktet (Propeller, 2018).

2.3.2 Stereofotogrammetri

Den vanligste fotogrammetriske metoden er Stereofotogrammetri, det vil altså si når et objekt blir fotografert fra to sider. Her benytter man stereobilder, også kalt bildepar. Disse har som regel 60% overlapp.

For å kunne gjøre målinger i bildene må fotograferingssituasjonen rekonstrueres i en orienteringsprosess. Denne prosessen består av indre og ytre orientering.

Stereofotogrammetri kan så deles inn i to hovedområder igjen, det er flyfotogrammetri og nærfotogrammetri (Dick, 2018b).

2.3.3 Flyfotogrammetri

Denne brukes til kartleggingsformål, der man bruker fly, droner eller satellitter til fotograferingen. Det aller meste av moderne kart i Norge er laget ved bruk av akkurat dette (Dick, 2018b).

2.3.4 Nærfotogrammetri

Close-range photogrammetry, eller nærfotogrammetri er innsamling av data på under 300 meter (Luhmann, et al., 2006). Nærfotogrammetri brukes for det meste i industrien til dimensjonsmålinger. Denne typen fotogrammetri blir utført fra stasjoner på bakken. Det er nødvendig å gjøre en kalibrering for å tilpasse prosessen til egenskapene ved kameraet før man kan bestemme de korrekte geometriske egenskapene for et objekt ved målinger i bilder av objektet. Først etter at dette er utført er det mulig å produsere en korrekt rekonstruksjon. Du sitter da igjen med den indre geometrien (form og dimensjon).

Ytre orientering forteller oss opptakskamerates plassering i rommet. Dette er gitt ved kameraets posisjon og fotograferingsretning i et romlig koordinatsystem (Dick, 2018b).

2.3.5 Digital fotogrammetri

Digital fotogrammetri er i dag en metode som er utbredt. Digitale Fotogrammetriske Arbeidsstasjoner (DFAer) vil altså si det er datamaskinene med programvare som skal kunne utføre orienteringsprosessen, samt målinger av geodata. Det er fra skanningen av analoge bilder eller fra digitale kameraer DFAene bruker bildefilene sine. Både i orienteringsprosessen (f.eks. aerotriangulering) og i datainnsamlingen (f.eks. terrengmodellering) er flere delprosesser automatisert og disse benytter seg av bildeanalyse (matching) (Dick, 2018b).

2.4 Aerotriangulering/Blokkutjevning

Aerotriangulering er metoden for å bestemme koordinater av terrengpunktene, og høyden på flybilder.

Aerotriangulering forutsetter at området som det gjelder blir fotografert fra to vinkler slik at det blir en stereoskopisk gjengivelse av terrenget. Det vil si at terrenget får en tredimensjonal virkning. For å danne utgangspunktet til en aerotriangulering må det være et antall punkter med forhåndsbestemte koordinater og høyde som er godt synlig i bildet.

For å fremskaffe orienteringsdata for bildene må det gjennomføres en Aerotriangulering med blokkutjevning. Dette er for å få frem passpunkter og ytre orienteringselementer i bildene. I etableringen av en bildeblokk må det sørges for at den er tilnærmet kvadratisk. Det gjøres ved å sørge for at formen og omkretsen blir liten i forhold til arealet. Flyfotografering over f.eks. enkeltstriper av vei er et unntak av dette.

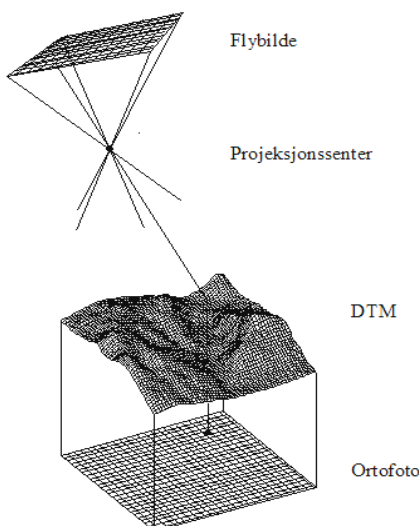
Punktplassering og -antall er et viktig element for at transformasjonspunkter, bildemålinger og annen basisdata skal ha en kvalitet som gir tilstrekkelig pålitelighet mot grove feil.

I forhold til toleransen til geodataene, skal resultatene fra aerotrianguleringen ha en slik kvalitet at det er høyde for forventede feilbidrag fra bildeorienteringen og kartkonstruksjonen.

Geodetisk bestemte kjentpunkter som forbinder bildeblokkene med terrenget er fundamentet for aerotrianguleringen. Koordinater som er bestemt ved hjelp av Global Navigation Satellite System (GNSS) for kameraets projeksjonssentre kan brukes som kjentpunkter. Dermed kan man redusere behovet for markmålte punkter. Ved strenge krav til nøyaktighet i sluttproduktet skal bestemmelsen av den ytre orienteringsrotasjon ved hjelp av GNSS uten aerotriangulering ikke benyttes. Målingen av samme bindingspunkter mellom bildestriper og bilder skal knytte sammen bildeblokkene. Disse fungerer som passpunkter ved senere bildeorientering og bestemmes i blokkutjevningen (nypunkter) (Statens Kartverk, 2009a).

2.5 Ortorektifisering

Ortorektifisering er et digitalt bilde som er transformert fra sin opprinnelige sentralproduksjon til en ortogonalprojeksjon. Altså til et digitalt ortofoto. Denne prosessen kalles ortorektifisering. På denne måten får ortofotoet egenskaper som et kart og kjent målestokk. For å beskrive den geometriske relasjonen mellom koordinatsystemet i det originale bildet og ortofotoet benytter rektifiseringen kolinearitetsbetingelsen (Figur 4). Det er den matematiske løsningen som benyttes av de tre ytre orienteringselementene til flybildet. Tanken rundt dette er at både projeksjonssentret, terrengpunktet og bildepunktet skal ligge på samme linje (Larsen, 2007).



Figur 4: Prinsippet til fremstillingen av et ortofoto. Det tilordnes en gråtoneverdi til hvert piksel i ortofotoet. (Larsen, 2007).

2.6 DEM/DSM/DTM

De tre forkortelsene DEM, DSM (Digital Surface Model) og DTM er de engelske forkortelsene for de digitale høydemodellene, digitale overflatemodellene og digitale terrengmodellene.

Digital høydemodell – dette er en type raster lag. I dette laget har hver celle en verdi som tilsvarer dens høyde. DEM-filer inneholder en forhøyning av terrenget over et spesifisert område. Intervallene mellom punktene i griden vil alltid bli referert til et geografisk koordinatsystem slik som lengde- og breddegrad eller UTM. For å kunne få mer informasjon ut av en DEM-fil er det viktig at punktene i griden er nærme hverandre. Detaljene av toppene og dalene i terrenget vil bli bedre modellert med lite gridavstand enn hvis intervallene på gridene er svært store.

Digital terrengmodell – en DTM kan beskrives som en terrengflate med X, Y og Z koordinater i tredimensjonal representasjon. Denne inkluderer også andre geografiske elementer og naturegenskaper enn bare høyder og opphøyelser. En DTM er i utgangspunktet en DEM som har blitt forsterket med andre elementer enn de opprinnelige dataene for å korrigere gjenstander som er produsert ved bruk av bare original data.

Siden det er en økende bruk av datamaskiner innen ingeniørfag og utvikling av raskere tredimensjonal datagrafikk, kommer DTM til og bli et kraftig verktøy for et stort antall applikasjoner i ingeniørvitenskap (Singh, 2016).

Digital overflatemodell – kort fortalt så er en digital overflatemodell en modell som fanger alle de naturlige og bygde overflatene på jordens overflate. Det kan være bygninger, skog, strømledninger osv. For å kunne fange alle disse detaljene brukes noe som heter et LiDAR-system, dette er essensielt en avstandsteknologi. Den består av lyspulser som reiser til bakken. Når lyspulsen treffer målet sitt og vender tilbake til sensoren, gir den en avstand til jorden (GISGeography, 2018).

2.7 Nøyaktighet og presisjon

Standardavvik er et relativt en-dimensjonalt statistisk fremvisning. Det er nøyaktighetsmål som er knyttet opp mot for eksempel en høyde eller et koordinat. Hovedformålet med et standardavvik er å finne kvalitetsverdi av de observasjonene som er gjort. For bruk til geomatikk er det mest vanlig å bruke gausske feillov vist med en fordelingskurve kalt normalfordeling (Skogseth og Norberg, 2014).

Teoretisk sett skal 2/3 av alle feil ligge innenfor standardavviket $s \times 3$, som er maksimalt tillatt feil. Hvis det er feil som ligger utenfor dette kravet, blir dette regnet som grovfeil. Dette er tilfeldig feil som oftest skyldes menneskelige feil.

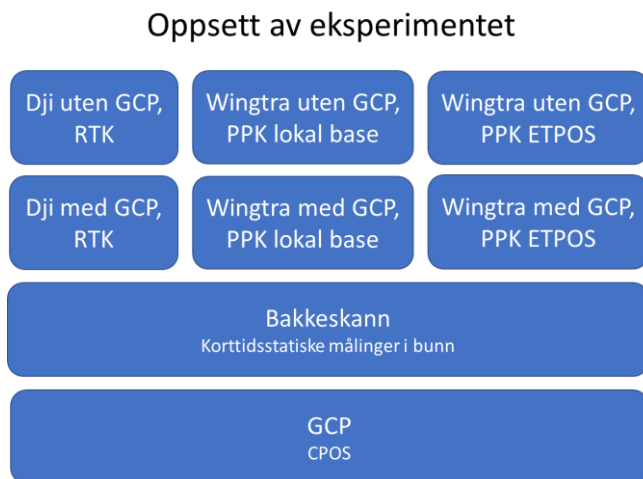
Formelen på standardavviket på en måling er, $s = \sqrt{\frac{\sum v^2}{n-1}}$

Denne formelen kan brukes på ett enkelt koordinat eller et samlet standardavvik. Her står s for standardavvik, v for enkeltavvik og n er antallet enkeltavvik (Statens kartverk, 2015, s 53).

Nøyaktighet og presisjon er to forskjellige begreper om matematisk statistikk. Ifølge Skogseth og Norberg (2014) er standardavvik etter statistikkens definisjon et uttrykk for spredning og presisjon. Oppførselen til de tilfeldige avvikene er det som inngår i definisjonen til presisjon. Nøyaktighet (absolutt) derimot forteller hvor nær målingene har truffet den sanne verdien. Systematiske avvik og grove feil inngår også i begrepet nøyaktighet.

3 Metode

Denne oppgaven er gjennomført som en case studie. Oppgaven er bygd opp av 4 forskjellige datasett hvor dronedataene videre i analysen vil bli delt opp i 6 forskjellige målinger. I Figur 5 er det en overordnet modell over hvordan datasettene er satt opp i forhold til hverandre.



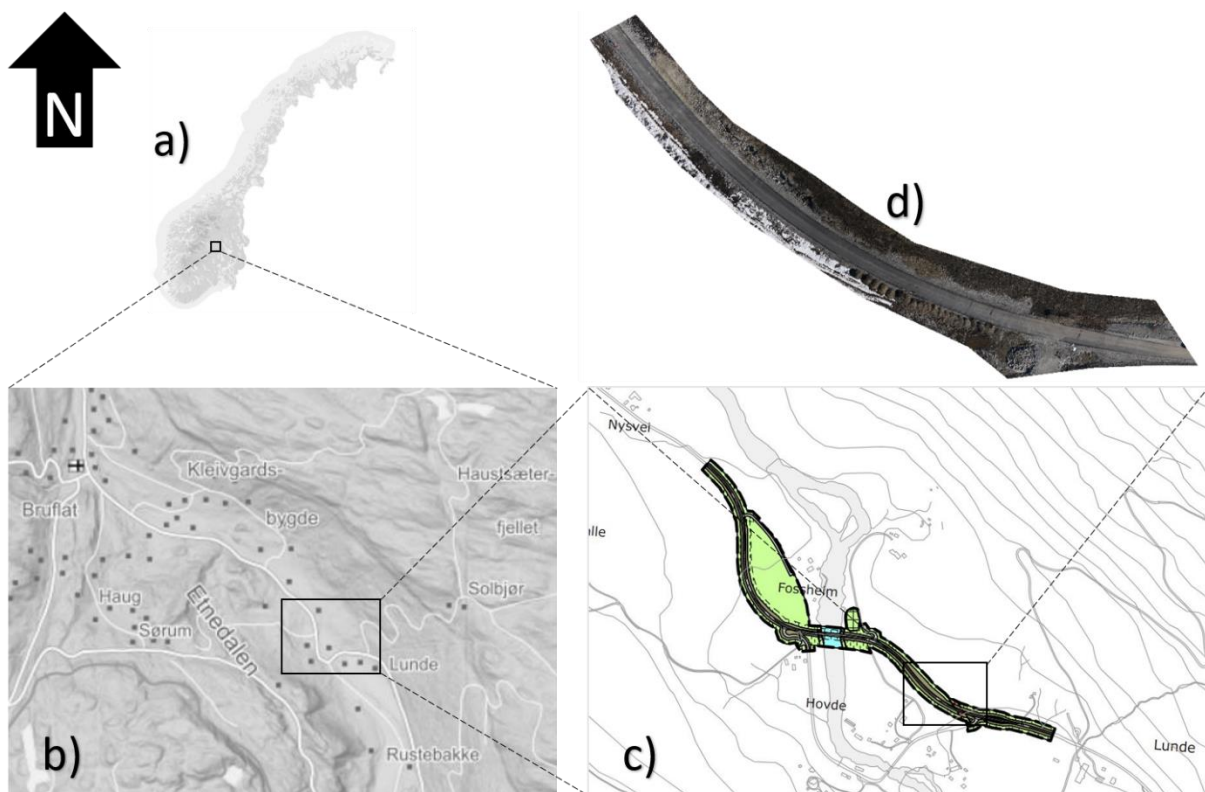
Figur 5: Oppsettet av datasettene i oppgaven.

3.1 Områdebeskrivelse

Prosjektområdet ble valgt ut ifra et av prosjektområdene til Statens Vegvesen. Området ligger i Norge, Oppland, Etnedal, Hellefossbrue (Figur 6). På området bygges det en ny bru som skal erstatte Lunde bru, som er en fredet steinhvelvsbru fra 1827 (Øderud, 2018). Det blir gjort for å skåne og bevare den gamle steinbruen, da den ikke tåler den tunge trafikken som har økt med årene. Contexo (2019) skriver at fylkesvei 251 som nå går over Lunde bru, også skal utvides med 1,5km for å koble på den nye bruen. Den nye bruen vil ha et spenn på 70meter med betongdekke. Bæringene på bruen skal bestå av limtrebuer med strekkstag i stål. Terrenget i området består av fjell, myr og skog.

Hellefossen ble valgt som prosjektområdet da dette var et område de eksterne veilederne fra Statens Vegvesen kjente til godt og har flydd over tidligere. Statens Vegvesen visste også at ved å velge en fredag som feltdag, vil det være betraktelig færre som jobbet på anlegget, noe som gir mindre støy i målingene.

Fra Statens Vegvesen ble det oppgitt at det er 7 stolper med fastmerker på anlegget som er laget ut ifra landsnettet og nettet er fortettet med 7 bolter ved bruen. Figur 6 c) er prosjektområdet som er hele området det skal flys, mens Figur 6 d) er analyseområdet, hvor det skal gjøre flere nærmere analyser. Det er ca. 25meter stigning i høyden gjennom prosjektområdet.



Figur 6: a) Kart over Norge (Statens Kartverk ,2019c), b) kart over deler av Etnedalen (Statens Kartverk ,2019c), c) utklipp av prosjektområdet (Etnedal Kommune, 2019) og d) utklipp fra Gemini Terreng av analyseområdet.

3.2 Utstyr

3.2.1 Dji, Phantom 4 RTK

Dji har revolusjonert systemene på Phantom 4 RTK for å sette en ny standard når det kommer til nøyaktighet for droner. Det har blitt integrert en ny Real Time Kinematics (RTK) modul som gir nøyaktighet med centimeter presisjon i sanntid, den krever også færre kontrollpunkter. På denne dronen finner man en redundant GNSS modul, som bevarer signalstyrken selv i områder med dårlig dekning. RTK- og GNSS modulen gir sammen en tryggere og mer presis flyvning. Det kommer også frem på Dji sine nettsider at Phantom 4 RTK har en nøyaktighet på 5 cm når flyhøyden er på 100 meter. Dette forutsetter at det er opphold og sol (DJI, 2019). Dronen benytter Kartverkets CPOS-tjenesten for RTK-korreksjoner (Statens Kartverk, 2019b).



Figur 7: Dji, Phantom 4 RTK med kontroll (Dronenerds, 2019).

3.2.2 WingtraOne

WingtraOne er en drone som tilbyr bred dekningssevne, høy nøyaktighet og brilliant oppløsning. Alt dette i en kartleggingsenhet. WingtraOne med sin enestående funksjonalitet, kan kartlegge et område på 240 amerikanske fotballbaner på 1 time. Den endelige oppløsningen av området skal gi muligheten til å se små detaljer, slik som en mynt som ligger på bakken. Det skal også være mulig å finne de eksakte koordinatene til denne mynten ned til den absolutte nøyaktighet som er på 1 cm (Wingtra, 2019a).

Man kan enten bruke WingtraOne Past Processing Kinematic (PPK) eller GCP for prosjekter med svært høy nøyaktighet som et krav. Flyr man WingtraOne uten PPK, er det anbefalt at man bruker minst 5 GCP og 3 kontrollpunkt. Punktene må måles inn nøyaktig, og plasseres slik at hvert punkt er synlig på flere bilder. De fleste programmer med etterprosessering tillater import av GCP-koordinater og gir et grensesnitt for å markere dem i bildene. Det er viktig å sjekke at koordinat- og høydesystemet er satt riktig (Wingtra Knowledge Base, u.å).



Figur 8: WingtraOne (StartUp, 2016).

3.2.3 Generelle spesifikasjoner for Dji og Wingtra

Tabell 1:

Generelle spesifikasjoner for Dji (Dji, 2019) og Wingtra (Wingtra, 2019a). Tomme felt er mangel på informasjon fra produsentene.

Generelle spesifikasjoner for Phantom 4 RTK og WingtraOne		
Spesifikasjoner	WingtraOne	Phantom 4 RTK
Oppløsning	Ned til 0.7 cm/px	
Nøyaktighet	Ned til 1 cm (absolutt nøyaktighet)	5 cm på 100 m
Dekning	400 ha på 3 cm/px (4 km ²)	
Drone type	Tailsitter VTOL (Vertical take-off and landing)	
Maks. kg under letting	4.5 kg	1391 g
Vekt (tom)	3.7 kg	
Maks. lastvekt	800 g	
Vingespenn	125 cm	
Dimensjoner på Wingtra	125 x 68 x 12	35 cm
Dimensjoner på pilot boks	57 x 37 x 20	
Batteri kapasitet	99 Wh	89 Wh
Dimensjon på batteri	80 x 60 x 75 mm	
Ladetid på batteri	1 time	1 time
Batteri type	Li-on, smart batteri teknologi.	LiPo 4s
Batteri vekt	604 g	468 g
Radio kobling	8 km. Toveis antenner for optimal rekkevidde	
GPS	Dobbelt redundans. Bruker GPS og Glonass	
Driftshastighet	16 m/s	16 m/s
Stigningshastighet	60 m/s	6 m/s
Vindmotstand	Opp til 45 km/t under flyving Opp til 30 km/t under landing	
Maks. flytid	55 minutter	30 minutter
Temperaturspenn	-20° C til 50° C.	0° C til 40° C
Maks. Høyde.	3000 m	4000 m
Vær.	Ingen nedbør, tåler lett regn.	
GCP som trengs	Ingen (med ppk)	
Nedstigningshastighet	40 m/s	3 m/s
Auto-landing nøyaktighet	< 5m	
Dekking på 120 m.	320 ha (3.2 km ²)	
Maks. Dekking av område	45 km ²	

3.2.4 Kameratekniske detaljer for Dji og Wingtra

Tabell 2:

Kameratekniske detaljer for Phantom 4 RTK (Dji, 2019) og WingtraOne (Wingtra, 2019c). Tomme felt er mangel på informasjon fra produsentene.

Kamera spesifikasjoner for dronene Phantom 4 RTK og WingtraOne		
	WingtraOne	Phantom 4 RTK
Camera type	Sony RX1RII	FC6310R
Technical specification	35mm lens, Full-frame sensor, 42 MP	8,8mm lens Full-frame sensor, 22MP
Main Quality features		
Kamera weight (including mount)	575g	
GSD range	0,7-2,5 cm/px	
Coverage at Lowest GSD	10 ha (at 0,7 cm/px) at 57m flight altitude.	
Coverage at 120m	210 ha (at 1,5 cm/px)	
Sensor type	Full frame, CMOS	Full frame, CMOS
Sensor size x	35,9 mm	
Sensor size y	24mm	
Mega pixel	42,4	
Shutter type	Leaf shutter	Electronic Shutter
Pixel in x	8000	
Pixel in y	5320	
Focal length of lens	35mm	8,8mm
Focal length equivalent (at 35mm)	35mm	24mm
Vertical angle of view	37,8°	
Horizontal angle of view	54,3°	
Minimal trigger time	0,6s	
Minimal trigger distance	9,6m	

3.3 Planlegging

For flyplanene er det flere parametere som må vurderes nøye før flyvningen:

Skal dronene fly med lik GSD eller på lik høyde?

Hvilket område skal brukes for flyvningen?

Hvilke innstillinger skal brukes på dronene?

Hva skal kamerainnstillingene være?

Hvordan skal flystripene gå?

Hvor skal GCPene plasseres?

Hvordan skal GCPene måles inn?

Det første en bør sjekke er om det er tillatt å fly på området. Det gjøres på nettsiden Safetofly.no. På siden kan det velges forskjellige temakart som viser om det er noen flyplasser i nærheten, militærbaser eller forbudssoner for droneflygning (UAS Norway, 2019). Dette må gjennomføres ifølge §54 i Forskrift om fartøy som ikke har fører om bord (2015).

Safetofly.no, ble sjekket og det var ingen forbudssoner i prosjektområdet.

GCPer skal måles inn med GNSS. Det skal brukes RTK og det skal måles 3 ganger med minimum 45min intervall. Det er også oppgitt at man kan forvente en nøyaktighet på 10-20mm + 2ppm ved bruk av RTK (Statens Kartverk, 2009b s.12). Det står ikke oppgitt noen spesifikk nøyaktighet i forhold til høyde, men det kommer frem at høyde er noe dårligere enn grunnriss.

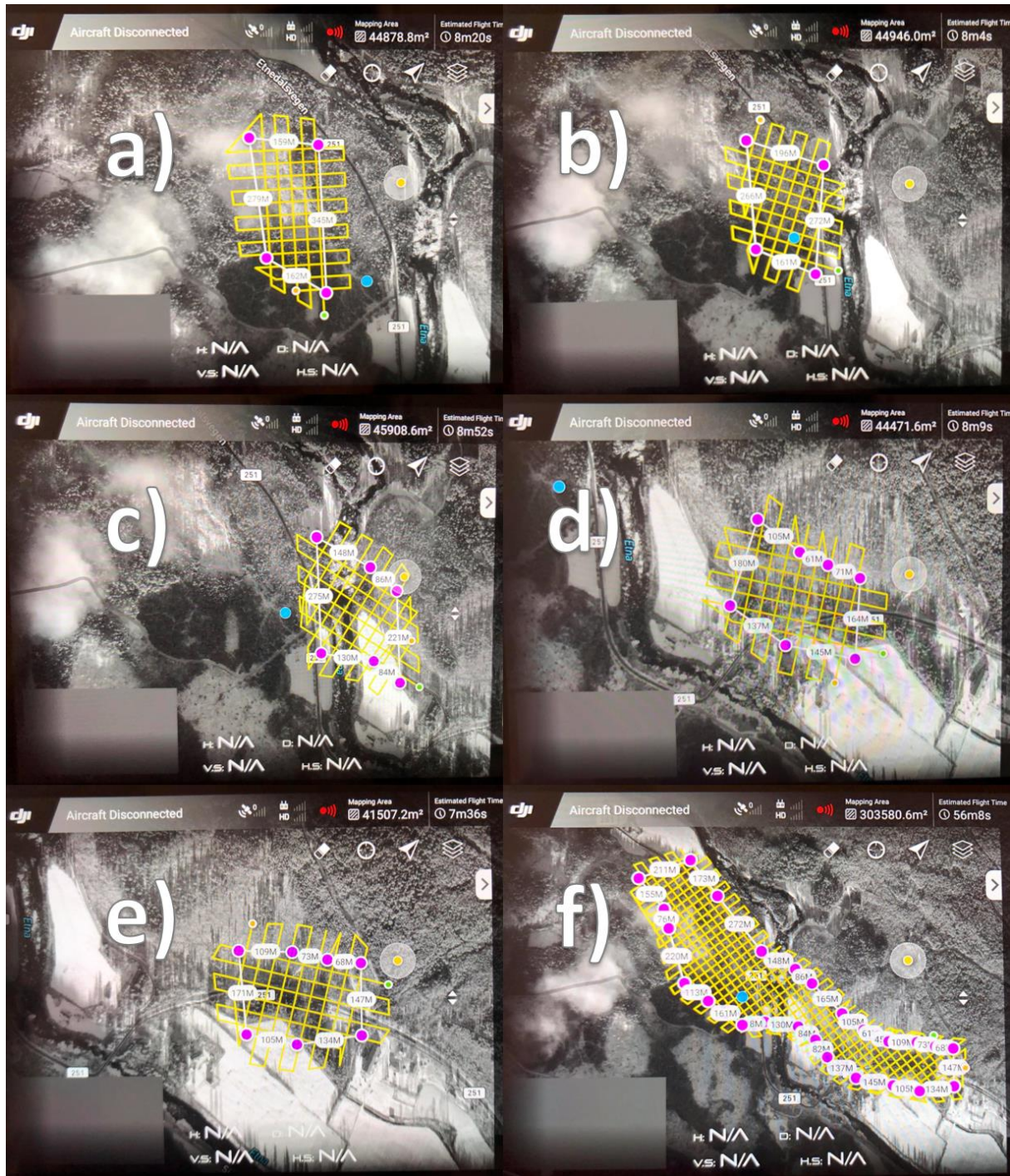
Det skal plasseres 15 GCPer hvorav 3+3 stykker skal plasseres ved starten og slutten av vegen. 2+2 stykker skal plasseres litt lengre inn i området, mens på ene siden av bruene skal det plasseres 5 stykker. Alle GCPene skal helst plasseres i ulendt terreng. Grunnen til det er fordi det er av interesse for Statens Vegvesen å se hvor bra dronene klarer å matche GCPer i ulent terreng. For dette prosjektområdet består ulendt terreng av alt fra gjørme, til pukkt til og med fast fjell og asfalt.

Dji og Wingtra trenger like mye planlegging før flyvning. Forskjellen er når selve flyvningen skal gjennomføres. Djien kan pakkes opp av kassen sin og flys med en gang siden den bruker CPOS, mens Wingtraen er utstyrt med mulighet for etterprosessering av GNSS. Dermed må en lokal GNSS base settes opp minimum 20min før flyvningen kan starte ut ifra Statens Vegvesen sin standard. Basen må også logge i minimum 20min etter at flyvningen er gjennomført. Det er også en mulighet for å bruke ETPOS til dette. Da slipper man å sette opp en lokal base og vente 40minutter. En kan da hente Receiver Independent Exchange Format (RINEX)-filer fra kartverket sine nettsider etter flyvningen. Nærmeste geodetiske basestasjon fra kartverket heter DOKK og ligger på Dokka (Statens Kartverk, 2019a). Det er ca. 20km unna prosjektområdet, noe som overskrider den anbefalte maksimale avstanden på 10km (Statens Kartverk, 2009b s.11). Innenfor 10km har målingene en oppnåelig nøyaktighetspotensial på 10mm+1ppm, noe som synker når avstanden øker (Statens Kartverk, 2009b s.11).

Det ble også planlagt hva slags utstyr som skulle være med, slik at alt av batterier var ladet og klart. Djien bruker ett batteri av gangen, men Statens Vegvesen eier 6 batterier som kan lades én og én om gangen, og hvert batteri bruker én time på å lade. Wingtra bruker 2batterier av gangen, og Statens Vegvesen eier 3 sett. Hvert sett lades sammen og det tar én time å lade ett sett.

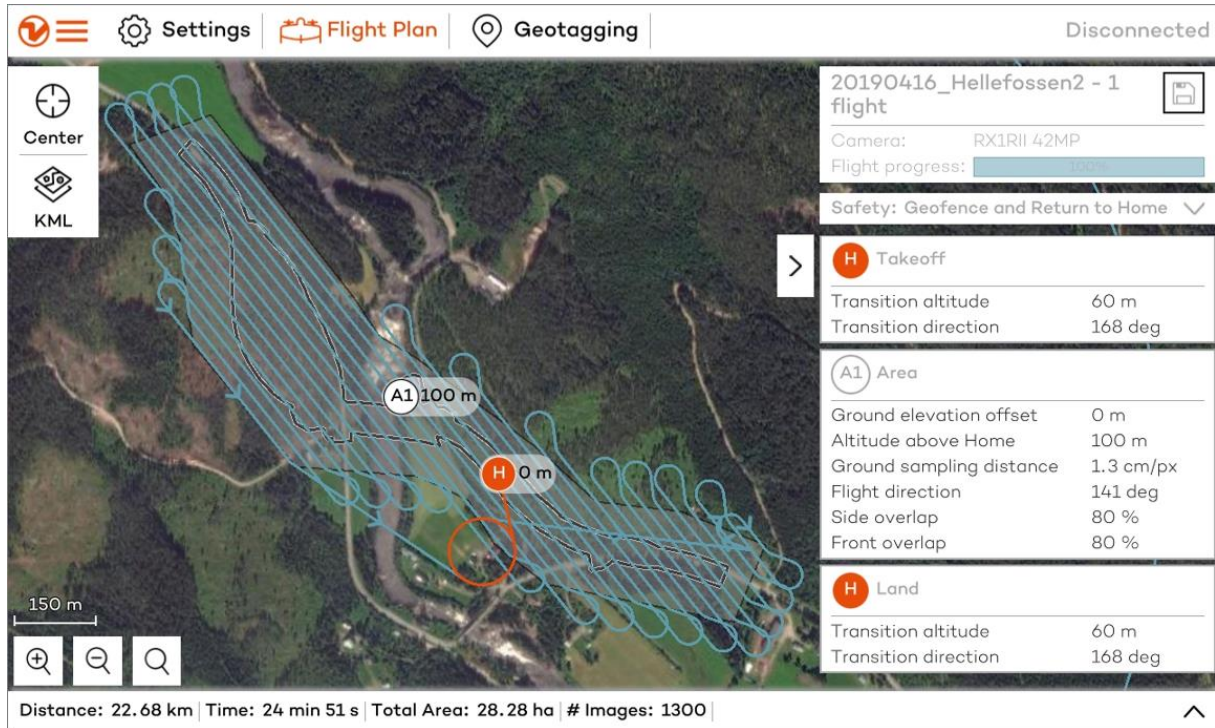
Det ble bestemt å fly begge dronene på 100m og med en lengde- og sideoverlapp på 80%. Det ble også bestemt at kameraene er så forskjellige at de vil bli brukt slikt som hver produsent anbefaler.

DJI sine kamerainnstillinger ble slik at blenderåpningen og lysfølsomheten får justere seg selv, mens lukkertiden ble satt til 1/2000s for å unngå motion blur (se kapittel 2.2). Kameraet har en helning på -60grader, hvor -90grader er horisontalt ned mot bakken. Dji ble bestemt å fly i en S-form både ene og andre retningen, slik at den krysser sine egne linjer for å få en 3D-modell (DJI, 2018). Det ble også bestemt å fly DJI i én flyplan som var lik arealplanen se Figur 9, f). Det ble prøvd å legge inn arealplanen som en Keyhole Markup Language (KML) i GS RTK. Flyplanen ble noe spesiell siden det var ett polygon og ikke en rett linje. Det var også problemer med at det kun kom opp flylinjer i en retning. Det ble bestemt å kun lagre flybildene som Joint Photographic Experts Group (JPEG)-filer siden det er et stort område som skal kartlegges, noe som vil føre til mange bilder og mye data.



Figur 9: Forskjellige flyplanene for DJI.

For Wingtra ble kamera innstilt med en blenderåpning på f-4,5, lukketid på 1/2000 og lysfølsomheten justerer seg selv. Det er ikke mulighet for å justere kameraets vinkel, derfor peker kameraet rett ned mot bakken. Det ble også bestemt å fly Wingtra i én flyplan, med linjer kun den ene veien. Se planlagt flyplan i Figur 10.

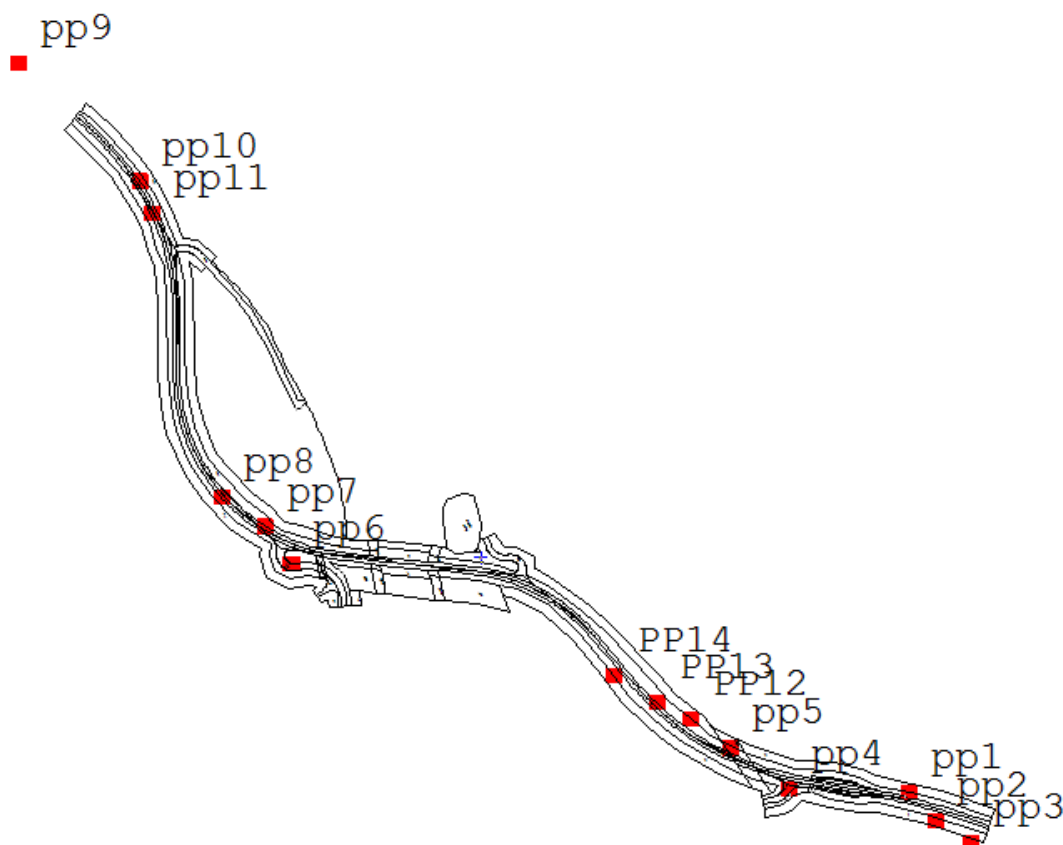


Figur 10: Flyplanen til Wingtra.

Etter flyvingene ble det skrevet en logg med flytider, sted og pilot. Denne blir ikke nevnt videre i oppgaven siden Statens Vegvesen har valgt å beholde den internt.

3.4 Feltarbeid

GCPene ble plassert noe annerledes enn det som var planlagt. Siden de fleste fastmerkene var nederst i veganlegget ble dette stedet mer egnet for skanning og dermed plassen hvor de 5 GCPene som skal være innenfor analyseområdet plassert, se Figur 11. Det er punktene pp04, pp05, PP12, PP13 og PP14 som er innenfor analyseområdet.



Figur 11: Plasseringene til GCPene på hele prosjektområdet. Punktene pp04, pp05, pp12, pp13 og pp14 er innenfor analyseområdet.

GCPene ble innmålt som planlagt, med CPOS, de 5 punktene i analyseområdet ble derimot ikke innmålt med totalstasjon som planlagt. Alle punktene ble målt inn 3 ganger med 10 observasjoner og med et tidsintervall på minst 45min. PP12, PP13 og PP14 ble målt inn 4 dager senere enn de andre GCPene.

Det oppsto en del tekniske problemer ved flyvningene. DJI var nylig kalibrert, men den krevde å bli kalibrert igjen da dette er noe den krever ganske ofte. Dermed ble det brukt tid på å finne ut hvordan den kalibreres. Videre var det problemer med flyplanen. På grunn av

tekniske problemer med programvaren og mangel på kunnskap om dronen oppsto det problemer med å få gjennomført hele flyvningen i ett. Problemet var at GS RTK ikke oppga at flyplanen som var laget, var for stor til å gjennomføres. Det ble derfor laget en flyplan på 15min estimert flytid. Denne flyvningen ble også for stor, så til slutt ble det laget 5 flyplaner på ca. 10min estimert flytid, se fly planene i Figur 10 a)-e).

For Wingtra ble det også møtt på tekniske problemer. Etter første flyvning manglet bildene GPS-koordinater på grunn av Wingtra antennen løsnet, noe som førte til at det måtte flys to ganger.

3.5 Programvare

3.5.1 Dji

Dji sin flyplan ble laget på medfølgende pad i programvaren GS RTK. Flyplanen ble laget på frihånd ut fra arealplanen.

Dronen brukte CPOS som gir sanntidskorreksjoner for koordinatene. Bildene trengte dermed ikke å bli etterprosessert i egnet programvare før de blir prosessert i programvaren Agisoft.

3.5.2 Wingtra

Wingtra sin flyplan ble laget på medfølgende pad i programvaren WingtraPilot. Flyplanen ble laget ut fra en KML. KMLen er en omgjort SOSI-fil fra ytterste polygon fra byggeplanens anleggsgrense.

Bildene må etterprosesseres for å korrigere koordinatene på innhentet data. Dette ble gjort i den medfølgende programvaren WingtraHub. Denne programvaren geotagger bildene og bør gi centimeter nøyaktighet (Wingtra, 2019d). Til vanlig må koordinatene til den lokale basen eller basestasjonen skrives over fra RINEX-filen til WingtraHub, men siden dette er et prosjekt Statens Vegvesen flyr jevnlig over, er både koordinatene til den lokale basen og til nærmeste basestasjon til Statens Kartverk allerede lagret i programvaren.

3.5.3 Agisoft

Agisoft Metashape Professional er en programvare som er utviklet av Agisoft. Dette er en frittstående programvare som har mange forskjellige funksjoner. Noen av disse er fotogrammetrisk prosessering av digitale bilder, generer 3D spatial data som kan brukes i GIS-applikasjoner, kulturarv dokumentasjon og produksjon av visuelle effekter samt for indirekte målinger av objekter av ulike skalaer (Agisoft, 2019).

Et Keypoint i ett 2D bilde blir sett på som et «interessant» punkt i programvaren. Punktet inneholder ofte høy kontrast eller interessant tekstur. For å beregne de relative plasseringene til kameraet brukes keypoint. Dette er for å lage en «low density» modell. Altså en modell med lav tetthet. Deretter blir det generert en «high density» punktsky basert på plasseringen av de tidligere punktene og plasseringen til kameraet.

I programvaren blir det også satt en Keypoint limit. Numrene her indikerer en øvre grense for antall punkter på et bilde programvaren vil bruke senere i en punktjusteringsprosess. Jo større tallet er, jo flere antall punkt vil programvaren prøve for å potensielt øke nøyaktigheten i punktskyen. Ved å bruke nullverdien vil programmet finne så mange punkter som mulig, men det kan føre til et stort antall upålitelige punkter (Agisoft, 2018).

Et Tiepoint er et Keypoint som kan bli identifisert på to eller flere bilder. Dette kan brukes til å beregne en 3D-posisjon.

Her er det også en limit, en Tielimit. Denne setter standarden for den øverste grensen på hvor mange Tiepoints som blir brukt for å knytte flere bilder sammen. Grenseparameteret optimaliserer ytelsen og påvirker ikke kvaliteten på modellen. For lav eller for høy grenseverdi på punktene kan føre til at deler av punktskyen blir borte. Ved å bruke en 0-verdi gjelder ikke funksjonen til å knytte bildene. Det kan fikse et problematisk bilde, men det tar lang tid. Antall Tiepoints kan reduseres, og punktskyen kan bli tynnet. Men justeringene vil bli uendret. Det antallet som er anbefalt er 4 000, men denne øker om objektet er lite og det er behov for høy nøyaktighet (Agisoft, 2018).

For å klassifisere punktene på bakken må man gjennomføre to trinn. Det første trinnet består av at punktskyen er delt opp i flere celler i en viss størrelse. I hver celle er det laveste punktet markert. Den første tilnærmingen av terrengmodellen kommer etter triangulering av disse punktene. På andre trinn blir et nytt punkt lagt til i bakkeklassifiseringen, dette forutsetter

disse kravene: at de ligger innenfor en viss avstand fra terrengmodellen og at vinkelen mellom terrengmodellen og linjen for å koble det nye punktet til et punkt i bakkeklassifiseringen er mindre enn en viss vinkel. Det andre trinnet gjentas så lenge det fortsatt er punkt som skal kontrolleres.

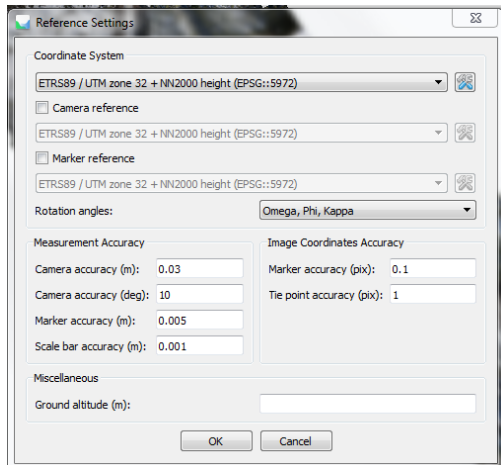
Det er noen parametere som skal sjekkes for å kjøre en klassifiseringsprosedyre:

Maks vinkel – denne bestemmer hvor mye denne egenskapen skal kontrolleres mens man tester et punkt, for eksempel på bakken. Det vil altså si den setter en begrensning for en vinkel mellom terrengmodellen å linjen for å koble det bestemte punktet med et punkt fra bakkeklassifiseringen. Dette parameter bestemmer forutsetningen for maksimal skråning på bakken i modellen.

Maksimal avstand – dette parameter bestemmer forutsetningen for den maksimale variasjonen av bakkenivået på modellen. Og som det forrige parameter så kontrolleres også dette ved å teste et punkt, for så å koble det bestemte punktet mot et annet for å sette en begrensning for vinkelen.

Cellestørrelse – her blir størrelsen på cellen bestemt i punktstyken for så og settes inn i prosedyren for klassifisering av punktene på bakken. Størrelsen på cellene burde bestemmes ut ifra størrelsen på det største området i punktstyken som ikke inneholder punkter i bakken, bygninger, skog osv.

I programvaren laster man inn bildene fra flyvingen, disse lastes inn fra en index-fil. Når bildene er lagt inn konvertere man bildene til riktig koordinatsystem og setter Rotation angles til Omega, Phi, Kappa (Interial Navigation System, INS). Grunnen til man bruker det alternativet er fordi dette er vinklene som brukes for å rotere det geodetiske koordinatsystemet (X, Y og Z) og justerer det med det interne treghetsnavigasjonssystemet i dronen, også kjent som bildekoordinatsystemet (PIX4D, u.å). Kamera nøyaktigheten blir satt til 0.03meter/3cm se Figur 12. Grunnen til at det settes 0.03meter/3cm nøyaktighet på posisjonsdataene på de geotaggede bildene ifra dronen er at GPS-posisjonene da vektet høyt i beregningen. Dette forteller programmet at GPS-posisjonene er «riktige» og ikke trenger å forbedres. Disse valgene ble gjort på grunnlag av at det er de Statens Vegvesen bruker og anbefaler til denne slags behandling av dataen.



Figur 12: Referanse innstillinger brukt i Agisoft.

Neste steg er å sette inn GCPer, de legges inn som en Comma Separated Values (CSV)-fil. Det er en KOF-tekstfil som er redigert fra Text (TXT)-fil til CSV. Før dette gjøres dobbeltsjekker man om koordinatsystemet er riktig. Når dette er gjort er det neste steget «Align photos». Det som skjer da er at programmet finner kameraets posisjon og orienterer hvert bilde så det da bygges en punktskymodell. Det siste som gjøres da er «Build denser cloud». Det blir da laget en punktsky av dronebildene, og et resultat kommer frem.

På grunn av at det er blitt lagt inn GCP-punkter så er det anbefalt at man går igjennom en matching av disse. De bildene som inneholder GCP, får opp et lite «flagg» i programmet. Hvis man da sorteret slik at det bare er de bildene som kommer frem, er dette en effektiv måte og gjennomføre matchingen. Man kan da gå igjennom disse og forsikre seg at «flagget» er plassert riktig i GCPene.

For at bildene skulle få en absolutt nøyaktighet måtte de georefereres. Dette ble gjort ved å bruke GCPer hvor koordinatene er kjent med absolutt nøyaktighet. Det trengs minst 3 GCPer for å få georeferert et slikt system (Girod, 2018).

GCP står for Ground Control Points som vil på norsk blir kalt passpunkter. Dette er punkter med kjente koordinater som man lett kan finne igjen på ortofotoene. De ble brukt for å georeferere slik at bildet får en mer presis absolutt nøyaktighet. Slike punkter som ikke brukes til georefereringen kan benyttes som kontrollpunkter for å sjekke nøyaktighet på datasettet (Girod, 2018). I denne oppgaven ble skannet brukt som slike kontrollpunkter.

Det siste som ble gjort i Agisoft var å produsere ortofoto.

3.5.4 Gemini Terreng

Gemini terreng er en programvare som er utviklet av Powel. Det er et norskutviklet 3D-verktøy som er laget for infrastrukturprosjekter i Norge. Det har en god dataflyt og har mange forskjellige funksjoner (Powel Construction, 2019). Noen eksempler er arealplanlegging i 3D, masseberegning, dokumentasjon og landskapsanalyser hvorav de to sistnevnte ble brukt i denne oppgaven. I 2017 kom versjon 12, og det er denne som ble brukt i oppgaven.

De fleste analysene ble gjennomført i denne programvaren.

Først ble alle 7 punktskyene i las-format lagt inn. Videre ble alle lagene klippet ut slik at analyseområdet er likt avgrenset. Deretter ble hver punktsky triangulert.

Trianguleringsmetoden som programvaren bruker er Delauney-triangulering. Denne metoden går ut på at det dannes linjer mellom alle punktene. Her velges maks lengde på triangellinjene og minimum punktavstand (Powel Construction, 2017). For trianguleringen ble maks lengde på bruddlinjer satt til 1m, maks lengde på triangellinje satt til 5,5m og minimum punktavstand satt til 0,005m.

Det ble gjennomført geometrisk kontroll for å få svar på delmålene ang. kvalitet mellom dronedataene og GCPene.

Geometrisk kontroll er en metode for å dokumentere kvaliteten på et utført arbeid. Her kan innsamlet data sammenstilles med en fasit, for eksempel en prosjektert fagmodell. Ut fra denne kontrollen vil man få dokumentasjon på om innsamlet data er innenfor toleransekravene som settes (Powel Construction, 2017). I denne oppgaven er innsamlet data, DTMe fra dronene og fasiten er GCPene og bakkeskannet.

Det ble også laget tverrprofiler i programvare for å fremstille forskjellene mellom DTMe til dronene og mellom fasitskannet. For å kunne generere tverrprofiler må det opprettes en linjedefinisjon, den ble laget kun for å få midtlinjen på tverrprofilene, så den ble laget langs asfaltveien i analyseområdet. Til tverrprofilene ble rutenettet tilpasset slik at det ble 1m mellom hver påskrift på vertikalaksen og 2m på horisontalaksen. Det ble også endret til tydeligere farger på presentasjonen til sjiktene.

Triangelnettene ble videre eksportert til XML for videre analyser.

3.5.5 3DReshaper

3DReshaper er en programvare som er veldig brukervennlig. Den behandler alle typer punktskyer fra flere typer applikasjoner som digital terrengmodellering, geologi, kulturarv m.m.

Det er også et verktøy for å behandle ulike 3D-punktskyer, uansett hvor de kommer fra. Dette kan være fra UAVer, laserskanning eller 3Dskannere. 3DReshaper har verktøyene man trenger uansett hvilke utfordringer man har med punktskyer (3DReshaper, 2015).

Fasitskannet ble lagt inn som en punktsky og 4 DTMer ble lagt inn som XML-filer.

Det ble gjennomført en *Compare 2 objects and show colored map*. Her er det mulighet til å velge hvilket lag som er «fasiten». Det er også mulighet til å velge hvilken retning analysen blir gjort. Det kan velges kun høyde, 2D eller 3D. Det skal også velges en grense for maks tillatt differanse mellom lagene.

I Compare prosessen ble det kun gjort analyse for høyden mellom modellene. Maks avvik ble satt til +/-0,25m. Grafene for standardavvikene for alle de forskjellige modellene ble endret slik at det var 5cm mellom hvert trinn med 0m forskjell i midten.

4 Resultater

4.1 Flytider

4.1.1 Planlegging og flytider

For flytidene i Tabell 3 og Tabell 4 ble det tatt tidtaking for planleggingsprosessen og gjennomføringen av flyvningene.

Tabell 3:

Tider for planleggingsprosessen og gjennomføringen av flyvningene til de forskjellige dronene uten GCP. Den viser tiden for *Dji, RTK, Wingtra, PPK lokal base og Wingtra, PPK ETPOS.*

Flytider uten GCP						
	Dji uten GCP, RTK		Wingtra uten GCP, PPK lokal base		Wingtra uten GCP, PPK ETPOS	
		Tid		Tid		Tid
Planlegging		00:20:00		00:10:00		00:10:00
Gjennomføring	Oppstart	00:03:00	GNSS lokal base og oppstart	00:20:00	Oppstart	00:07:00
	Flyvning 1	00:14:20	Flyvning 1	00:24:51	Flyvning 1	00:24:51
	Batteribytte og forflytning	00:10:00	GNSS lokal base og avslutning	00:20:00	Avslutning	00:02:00
	Flyvning 2	00:15:27				
	Batteribytte og forflytning	00:10:00				
	Flyvning 3	00:15:57				
	Batteribytte og forflytning	00:10:00				
	Flyvning 4	00:14:30				
	Batteribytte og forflytning	00:05:00				
	Flyvning 5	00:15:19				
Avslutning	00:02:00					
Sum		02:15:33		1:14:51		00:43:51

Dji uten GCP, RTK endte opp med en sammenlagt tid på 2timer, 15minutter og 33sekunder.

Wingtra uten GCP, PPK lokal base sin sammenlagte tid endte på 1time, 14minutter og

51sekunder. Wingtra uten GCP, PPK ETPOS endte opp med en sammenlagt tid på 0timer, 43minutter og 51sekunder.

Det kommer fram fra resultatet at Wingtra uten GCP, PPK ETPOS bruker kortest tid.

Tabell 4:

Tider for planleggingsprosessen og gjennomføringen av flyvningene til de forskjellige dronene med GCP. Den viser tiden for *Dji, RTK, Wingtra, PPK lokal base og Wingtra, PPK ETPOS.*

Flytider med GCP						
	Dji med GCP, RTK		Wingtra med GCP, PPK lokal base		Wingtra med GCP, PPK ETPOS	
		Tid		Tid		Tid
Planlegging		00:20:00		00:10:00		00:10:00
GCP	Utsetting og innmåling 1	01:00:00	Utsetting og innmåling 1	01:00:00	Utsetting og innmåling 1	01:00:00
	Innmåling 2	00:20:00	Innmåling 2	00:20:00	Innmåling 2	00:20:00
	Innmåling 3	00:20:00	Innmåling 3	00:20:00	Innmåling 3	00:20:00
Gjennomføring	Oppstart	00:03:00	GNSS lokal base og oppstart	00:20:00	Oppstart	00:07:00
	Flyvning 1	00:14:20	Flyvning 1	00:24:51	Flyvning 1	00:24:51
	Batteribytte og forflytning	00:10:00	GNSS lokal base og avslutning	00:20:00	Avslutning	00:02:00
	Flyvning 2	00:15:27				
	Batteribytte og forflytning	00:10:00				
	Flyvning 3	00:15:57				
	Batteribytte og forflytning	00:10:00				
	Flyvning 4	00:14:30				
	Batteribytte og forflytning	00:05:00				
	Flyvning 5	00:15:19				
	Avslutning	00:02:00				
Sum		03:55:33		2:54:51		02:23:51

Dji med GCP, RTK endte opp med en sammenlagt tid på 3timer, 55minutter og 33sekunder.

Wingtra med GCP, PPK lokal base sin sammenlagte tid endte på 2timer, 54minutter og 51sekunder. Wingtra med GCP, PPK ETPOS endte opp med en sammenlagt tid på 2timer, 23minutter og 51sekunder.

Det kommer fram fra resultatet at Wingtra med GCP bruker kortest tid.

Tabell 5:

Differansen for tidsbruken mellom de forskjellige flyvningene for planlegging og gjennomføring.

Differansen for tid til de forskjellige flyvningene				
Drone 1	Drone 2	Flytider for drone 1	Flytider for drone 2	Differanse
Dji uten GCP, RTK	Wingtra uten GCP, PPK lokal base	02:15:33	01:14:51	01:00:42
Dji med GCP, RTK	Wingtra med GCP, PPK lokal base	03:55:33	02:56:51	00:58:42
Dji uten GCP, RTK	Wingtra uten GCP, PPK ETPOS	02:15:33	00:43:51	01:31:42
Dji med GCP, RTK	Wingtra med GCP, PPK ETPOS	03:55:33	02:23:51	01:31:42
Dji uten GCP, RTK	Wingtra med GCP, PPK lokal base	02:15:33	02:56:51	00:41:18
Dji med GCP, RTK	Wingtra uten GCP, PPK lokal base	03:55:33	01:14:51	02:40:42
Dji uten GCP, RTK	Wingtra med GCP, PPK ETPOS	02:15:33	02:23:51	00:08:18
Dji med GCP, RTK	Wingtra uten GCP, PPK ETPOS	03:55:33	00:43:51	03:11:42

Ut ifra Tabell 5 kommer det fram at maks tidsintervall mellom to forskjellige dronene er på 3time, 11minutter og 42sekunder. Denne tiden gjelder for Dji med GCP, RTK mot Wingtra uten GCP, PPK ETPOS. Det vil si at hvis man vil bruke kortest mulig tid, er Wingtra uten GCP, PPK ETOS det lureste valget.

Det er kun 0timer, 41minutter og 18sekunder som skiller korteste tiden til Dji uten GCP, RTK i forhold til den lengste flytiden til Wingtra med GCP, PPK lokal base.

Fra resultatene i Tabell 5 er kortest tidsintervall mellom de to forskjellige dronene på 0timer, 8minutter og 18sekunder. Det er Dji med GCP, RTK mot Wingtra med GCP, PPK lokal base.

4.1.2 Tider for etterprosessering

Etterprosesseringstidene i Tabell 6 og Tabell 7 er hentet fra WingtraHub og Agisoft, mens det er gjort tidtaking for den manuelle GCP-plasseringene.

Tabell 6:

Tider for etterprosesseringen gjennomført uten GCPer. Den viser tiden for Dji, RTK, Wingtra, PPK lokal base og Wingtra, PPK ETPOS.

Tider for etterprosessering uten GCPer			
Etterprosessering	Dji uten GCP, RTK	Wingtra uten GCP, PPK lokal base	Wingtra uten GCP, PPK ETPOS
	Tid	Tid	Tid
Wingtra hub		00:13:47	00:13:41
Matching time	00:40:22	00:43:07	00:43:07
Alignment time	00:13:49	00:04:27	00:04:27
Depth maps generation time	02:12:00	00:49:53	00:49:53
Dense cloud generation time	03:08:00	00:28:05	00:28:05
DEM, reconstruction processing time	00:01:24	00:03:22	00:03:22
Orthomosaic, processing time	01:32:00	01:34:00	01:34:00
Sum	07:47:35	3:56:41	3:56:35

Dji uten GCP, RTK endte opp med en sammenlagt tid på 7timer, 47minutter og 35sekunder.

Wingtra uten GCP, PPK lokal base sin sammenlagte tid endte på 3timer, 56minutter og 41sekunder. Wingtra uten GCP, PPK ETPOS endte opp med en sammenlagt tid på 3timer, 56minutter og 35sekunder.

Det kommer fram fra resultatet at Wingtra uten GCP, PPK ETPOS brukte kortest tid.

Tabell 7:

Tider for etterprosesseringen gjennomført med GCP'er. Den viser tiden for Dji, RTK, Wingtra, PPK lokal base og Wingtra, PPK ETPOS.

Tider for etterprosessering med GCP'er			
Etterprosessering	Dji med GCP, RTK	Wingtra med GCP, PPK lokal base	Wingtra med GCP, PPK ETPOS
	Tid	Tid	Tid
Wingtra hub		00:13:47	00:13:41
Matchingtime	00:41:39	00:43:59	00:43:59
Alignment time	00:14:39	00:04:15	00:04:15
Optimization time	00:01:00	00:00:19	00:00:19
Depth maps generation time	02:16:00	01:02:00	01:02:00
Dense cloud generation time	03:26:00	00:45:29	00:45:29
DEM, reconstruction processing time	00:01:16	00:02:43	00:02:43
Orthomosaic, processing time	01:54:00	01:32:00	01:32:00
GCP-plassering manuelt	02:00:00	01:00:00	01:00:00
Sum	10:34:34	05:24:32	05:24:26

Dji med GCP, RTK endte opp med en sammenlagt tid på 10timer, 34minutter og 354sekunder. Wingtra med GCP, PPK lokal base sin sammenlagte tid endte på 5timer, 24minutter og 32sekunder. Wingtra med GCP, PPK ETPOS endte opp med en sammenlagt tid på 5timer, 24minutter og 26sekunder.

Det kommer fram fra resultatet at Wingtra med GCP'er brukte kortest tid.

4.1.3 Antall dekar kartlagt per time

Antall dekar som er innsamlet areal med data er utregnet fra flyplanene. For Dji i GS RTK tilsvarer dette arealene fra flyplanene a-e på Figur 9 og for Wingtra i Wingtra Pilot tilsvarer det arealet i flyplanen på Figur 10. Tidene som er brukt i Tabell 8 og Tabell 9 er hentet fra sammenlagte resultater fra planleggingen og flyvningene fra Tabell 3 og Tabell 4.

Tabell 8:

Dji og Wingtra sine sammenlagte tider i timer, arealet på innsamlet data i antall dekar og antall dekar innhentet data per time. Den viser utregninger muten GCP for Dji, RTK, Wingtra, PPK lokal base og Wingtra, PPK ETPOS.

Antall dekar kartlagt per time for flyvninger uten GCP			
	Dji uten GCP, RTK	Wingtra uten GCP, PPK lokal base	Wingtra uten GCP, PPK ETPOS
Tid i timer	2,259	1,248	0,731
Areal i dekar	221,712	282,800	282,800
Dekar per time	98,139	226,693	386,956

Ut fra resultatene ser man at Dji uten GCP, RTK har samlet inn 98 dekar per time. Wingtra uten GCP, PPK lokal base har samlet inn 227 dekar per time og Wingtra, PPK ETPOS har samlet inn 387 dekar per time.

Det kommer fram fra resultatene at Wingtra uten GCP, PPK ETPOS samler inn flest dekar per time.

Tabell 9:

Dji og Wingtra sine sammenlagte tider i timer, arealet på innsamlet data i antall dekar innhentet data per time. Den viser utregninger med GCP for Dji, RTK, Wingtra, PPK lokal base og Wingtra, PPK ETPOS.

Antall dekar kartlagt per time for flyvninger med GCP			
	Dji med GCP, RTK	Wingtra med GCP, PPK lokal base	Wingtra med GCP, PPK ETPOS
Tid i timer	3,926	2,914	2,398
Areal i dekar	221,712	282,800	282,800
Dekar per time	56,475	97,043	117,956

Ut fra resultatene ser man at Dji med GCP, RTK har samlet inn 56 dekar per time. Wingtra med GCP, PPK lokal base har samlet inn 97 dekar per time og Wingtra med GCP, PPK ETPOS har samlet inn 118 dekar per time.

Det kommer fram fra resultatene at Wingtra med GCP, PPK ETPOS samler inn flest dekar per time.

4.2 Kvalitet

Tabell 10:

Generell oppsummering fra Agisoft.

Oppsummering fra Agisoft		
Parameter	Dji	Wingtra
antall bilder	1513	915
tie points	986,105	694,209
flying altiture	123m	96,7
ground resolution	3,11cm/pix	1,24cm/pix
coverage area	1,02km ²	0,474km ²

En kan se ut ifra Tabell 10 at Dji har nesten 600 flere bilder enn Wingtra. Djien har flydd på 123m over startpunktet og Wingtraen har flydd på 97m over startpunkt. GSDen til Dji er halvparten så lav i forhold til Wingtraen sin oppløsning på bildene. Det er også en betydelig forskjell på arealet til innsamlet data mellom dronene.

4.2.1 Geometrisk kontroll mellom DTMe og GCPene

Tabell 11:

Koordinater og standardavvik for innmålingene av GCPene.

Punkter	Nord	Øst	Høyde	Standardavvik 3DKK
pp1	6748178,248	538987,140	241,607	0,003
pp2	6748148,081	539015,179	241,024	0,008
pp3	6748124,111	539054,473	242,093	0,009
pp4	6748182,102	538857,449	241,889	0,008
pp5	6748226,344	538793,271	242,306	0,013
pp6	6748425,724	538317,848	253,810	0,008
pp7	6748466,457	538289,663	254,413	0,004
pp8	6748497,992	538242,557	256,100	0,015
pp10	6748840,320	538153,948	266,419	0,008
pp11	6748805,879	538166,500	265,205	0,010
PP12	6748257,533	538749,783	247,239	0,004
PP13	6748275,492	538713,568	247,075	0,004
PP14	6748304,686	538668,124	250,554	0,003

Ut fra resultatene i Tabell 11 ser man at ingen av standardavvikene skiller seg ut.

Tabell 12:

Resultatet fra en Geometrisk kontroll mellom GCPene og alle de 7 forskjellige DTMe. De røde rutene viser hvilke punkter som er utenfor kravet. Kravet er satt til +/-5cm. Tabellen viser også standardavviket, middel, minimum/maksimum relativverdi og minimum/maksimum absoluttverdi.

Geometrisk kontroll mellom GCPene og DTMer										
Punkter	Øst	Nord	Høyde	Differanse						
				Dji uten GCP, RTK	Dji med GCP, RTK	Wingtra uten	Wingtra med	Wingtra uten	Wingtra med	Fasitskannet
						GCP, PPK lokal base	GCP, PPK lokal base	GCP, PPK ETPOS	GCP, PPK ETPOS	
pp1	6748178,248	538987,140	241,607	0,033	0,010	-0,111	-0,032	0,187	0,041	
pp2	6748148,081	539015,179	241,024	-0,022	-0,019	-0,118	-0,046	0,175	-0,008	
pp3	6748124,111	539054,473	242,093	-0,053	-0,037	-0,102	-0,032	0,182	-0,023	
pp4	6748182,102	538857,449	241,889	0,004	-0,002	-0,090	-0,017	0,222	-0,012	-0,015
pp5	6748226,344	538793,271	242,306	-0,023	-0,024	-0,130	-0,071	0,227	-0,010	-0,073
pp6	6748425,724	538317,848	253,810	-0,046	-0,058	-0,109	-0,032	0,204	0,000	
pp7	6748466,457	538289,663	254,413	-0,012	-0,021	-0,066	-0,014	0,229	0,042	
pp8	6748497,992	538242,557	256,100	0,030	0,025	-0,064	0,010	0,235	0,043	
pp10	6748840,320	538153,948	266,419	-0,057	-0,058	-0,098	-0,032	0,210	0,035	
pp11	6748805,879	538166,500	265,205	-0,008	-0,023	-0,087	-0,018	0,258	0,036	
PP13	6748275,492	538713,568	247,075	0,061	0,004	-0,090	-0,024	0,201	0,025	-0,030
PP14	6748304,686	538668,124	250,554	-0,028	-0,044	-0,096	-0,029	0,187	0,040	-0,010
Totalt antall målepunkt				12	12	12	12	12	12	4
punkt innenfor krav				9	10	0	11	0	12	3
punkt uten krav (avvist)				3	2	12	1	12	0	1
Standardavvik				0,037	0,026	0,019	0,019	0,025	0,026	0,029
Middel				-0,010	-0,021	-0,097	-0,028	0,210	0,017	-0,032
Minium				-0,057	-0,058	-0,130	-0,071	0,175	-0,023	-0,073
Maksimum				0,061	0,025	-0,064	0,010	0,258	0,043	-0,010
Minimum absoluttverdi				0,004	0,002	0,064	0,010	0,175	0,000	0,000
Maksimum absoluttverdi				0,061	0,058	0,130	0,071	0,258	0,043	0,073

For den Geometriske kontrollen mellom GCPene og de forskjellige DTMen er det utregnet hvilke punkter som er innenfor og utenfor kravet som er +/-5cm. Kontrollen har også regnet ut et standardavvik, en middel (gjennomsnitt), en relativ minimum og maksimum verdi og en minimum og maksimum absolutt verdi.

Ved å se på tabellen er det første man legger merke til at alle punktene til både Wingtra uten GCP, PPK lokal base og Wingtra uten GCP, PPK ETPOS er utenfor kravet. Ved å se på gjennomsnittet ser man at hele DTMen til Wingtra uten GCP, PPK lokal base ligger 9,7cm under de innmålte GCPene og DTMen til Wingtra uten GCP, PPK ETPOS ligger 21cm over. Til gjengjeld har Wingtra uten GCP, PPK lokal base et standardavvik på 1,9cm, mens Wingtra uten GCP, PPK ETPOS har et standardavvik på 2,5cm.

Wingtra med GCP, PPK lokal base er mye mer innenfor kravet. Det er kun pp5 som ikke er innenfor kravet. Standardavviket her er det samme som for Wingtra uten GCP, PPK lokal base, mens gjennomsnittsverdien er på 2,8cm under de innmålte GCPene.

For Wingtra med GCP, PPK ETPOS har derimot alle punktene blitt godkjent, det som er forskjellen her er at gjennomsnittet er på 1,7cm, men standardavviket er noe høyere. Det ligger på 2,6cm.

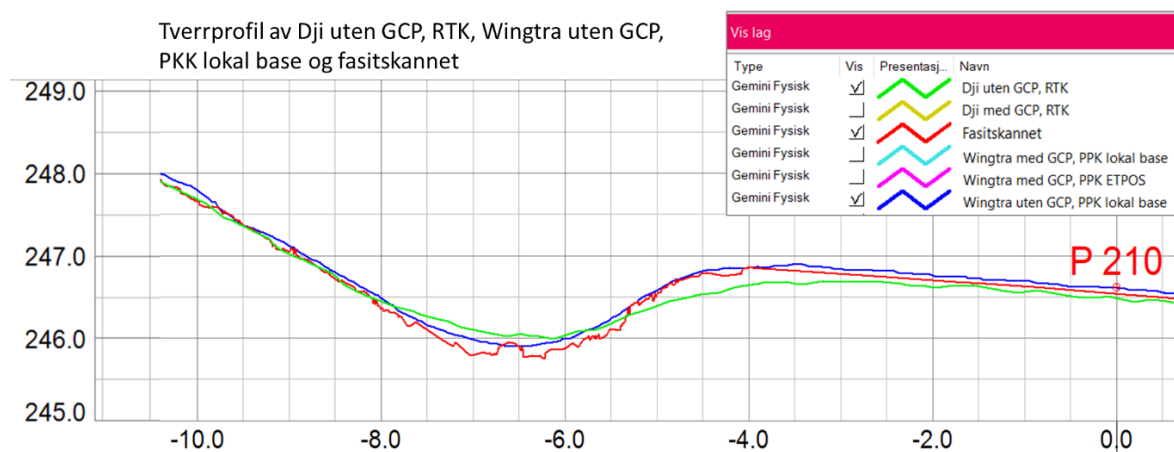
For Dji uten GCP, RTK er det 3 punkter som er utenfor kravet. Standardavviket er 3,7cm, altså noe større enn alle Wingtra sine standardavvik. Gjennomsnittet forteller at DTMen ligger 1cm under GCP innmålingene.

Derimot til Dji med GCP, RTK er det kun 2 punkter som er utenfor kravet. Standardavviket for denne er noe høyere og ligger på 2,6cm. Gjennomsnittet har økt og ligger for denne DTMen på 2,1cm.

Siden Wingtra uten GCP, PPK ETPOS er 21cm under GCPene er det valgt å ikke legge så mye vekt på denne DTMen videre i resultatene.

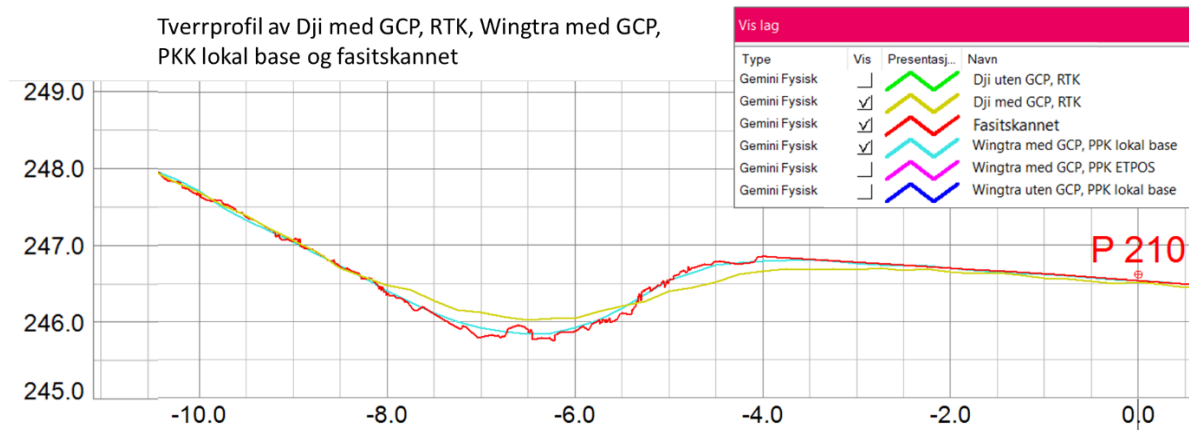
4.2.2 Tverrprofiler mellom DTMer og fasitsskannet.

Det er valgt ett likt utsnitt for å sammenligne de forskjellige DTMene mot skannet. Dette utsnittet er valgt da det representerer de fleste andre tverrprofilene. Se Vedleggene 2-4 for alle tverrprofiler fra Gemini Terreng. På tverrprofilene er det asfalt fra 0 til ca. 3,5meter fra senterlinjen. Fra 3,5m og utover er det en grøft som består av alt fra gjørme til pukk til store buldrester.



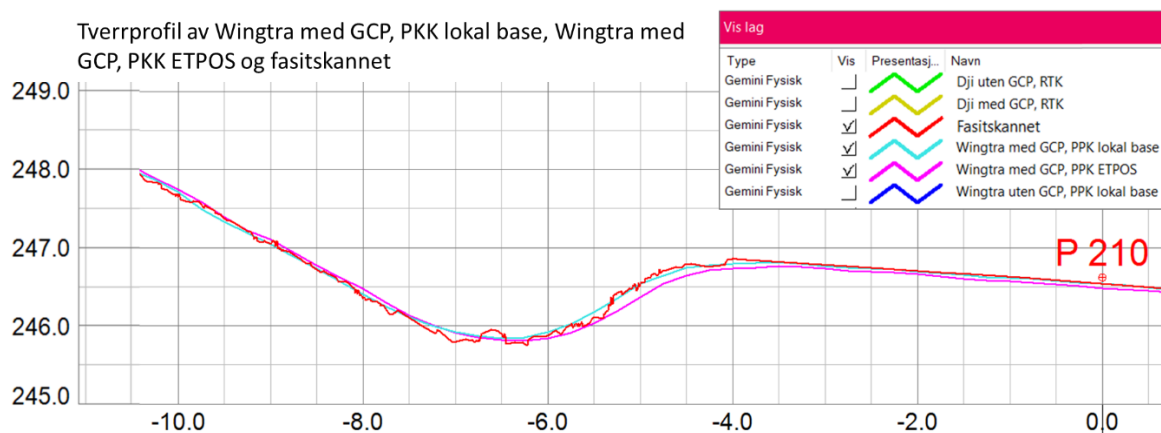
Figur 13: Tverrprofil av Dji uten GCP, RTK, Wingtra uten GCP, PPK lokal base og fasitsskannet. På tverrprofilene er det asfalt fra 0 til ca. -3,5meter fra senterlinjen. Fra -3,5m og utover er det en grøft som består av alt fra gjørme til pukk til store buldrester.

I Figur 13 vises Dji uten GCP, RTK, Wingtra uten GCP, PPK lokal base og fasitsskannet. Det kommer fram en liten tendens til at DTMen til Dji er noe mer glattet ut, i forhold til skannet. Den kutter topper og legger til litt i grøfter. Derimot Wingtraen følger skannet overraskende bra. På asfalten lager begge DTMene forholdsvis flate linjer, men en kan se at det er litt mellomrom mellom skannet og dronemodellene.



Figur 14: Tverrprofil av Dji med GCP, RTK, Wingtra med GCP, PPK lokal base og fasitskannet. På tverrprofilene er det asfalt fra 0 til ca. -3,5meter fra senterlinjen. Fra -3,5m og utover er det en grøft som består av alt fra gjørme til pukk til store buldresteinene.

På Figur 14, ser man Dji uten GCP, RTK, Wingtra uten GCP, PPK lokal base og fasitskannet. Det er tendenser til det samme som for Figur 13. Dji kutter toppene og legger til i grøften, mens Wingtra følger mer skannet. På asfalten her ser man at begge DTMen med GCP er tettere på skannet enn for DTMen uten GCP.

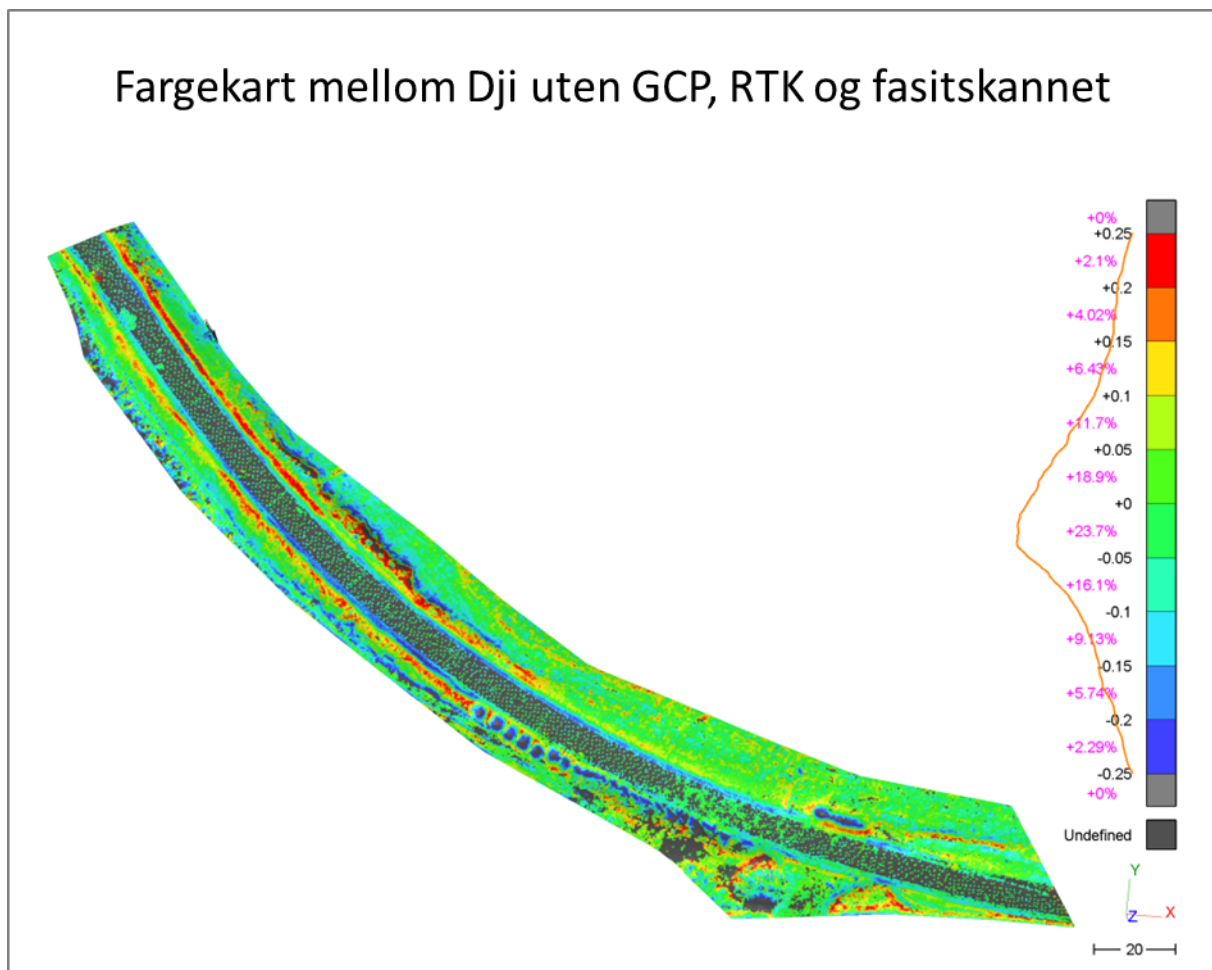


Figur 15: Tverrprofil av Wingtra med GCP, PPK lokal base, Wingtra med GCP, PPK ETPOS og fasitskannet. På tverrprofilene er det asfalt fra 0 til ca. -3,5meter fra senterlinjen. Fra -3,5m og utover er det en grøft som består av alt fra gjørme til pukk til store buldresteinene.

På Figur 15 ser man Wingtra med GCP, PPK lokal base, Wingtra med GCP, PPK ETPOS og fasitskannet. Her kommer det fram fra resultatet at DTMen til Wingtra med GCP, PPK ETPOS ligger noe lavere i både toppene, grøftene og på asfalten, mens DTMen til Wingtra med GCP, PPK lokal base ligger noe tettere på fasitskannet.

4.2.3 Høydeforskjellen mellom fasitskannet og DTMer

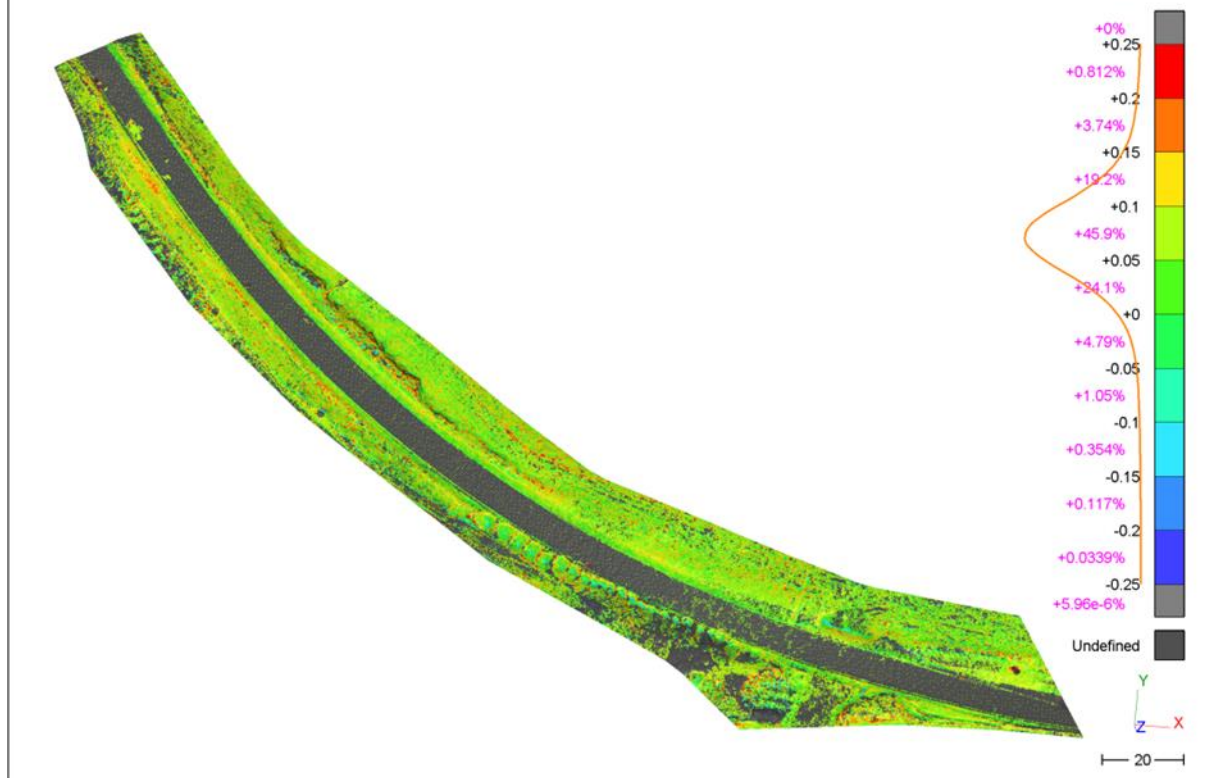
De kommende bildene viser relative modeller med høydeforskjellen. Fasitskannet er brukt som fasit i alle disse modellene som gjør de sammenlignbar. Grafen på siden viser standardavviket for modellen.



Figur 16: Fargekart av høydeforskjellen mellom Dji uten GCP, RTK og fasitskannet. Grafen på siden viser standardavviket for modellen.

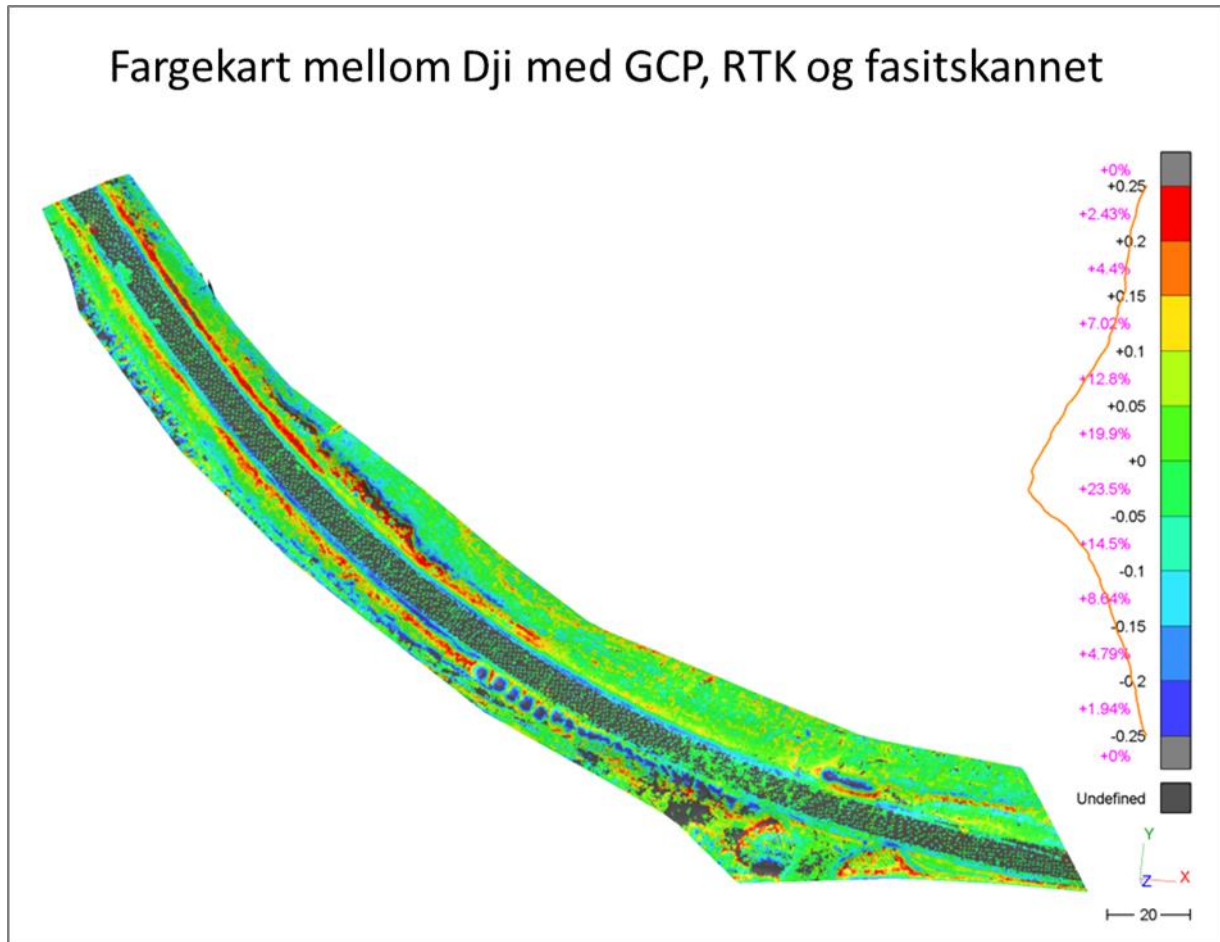
På Figur 16 kan en se at det er en del fargeforskjeller på fargekartet. Denne figuren viser høydeforskjellen mellom Dji uten GCP, RTK og fasitskannet. Toppene heller mot blå og grøftene mot gul og rød. Asfalten og en del av den flateren massen rundt har fått en tydelig grønnfarge. Ved å se på grafen på Figur 16, kan man se at toppunktet for kurven til standardavviket ligger innenfor 0 til -5cm. Standardavviket har en lang slak kurve fra toppunktet og ut til begge endene av skalaen på +/- 25cm.

Fargekart mellom Wingtra uten GCP, PPK lokal base og fasitskannet



Figur 17: Fargekart av høydeforskjellen mellom Wingtra uten GCP, PPK lokal base og fasitskannet. Grafen på siden viser standardavviket for modellen.

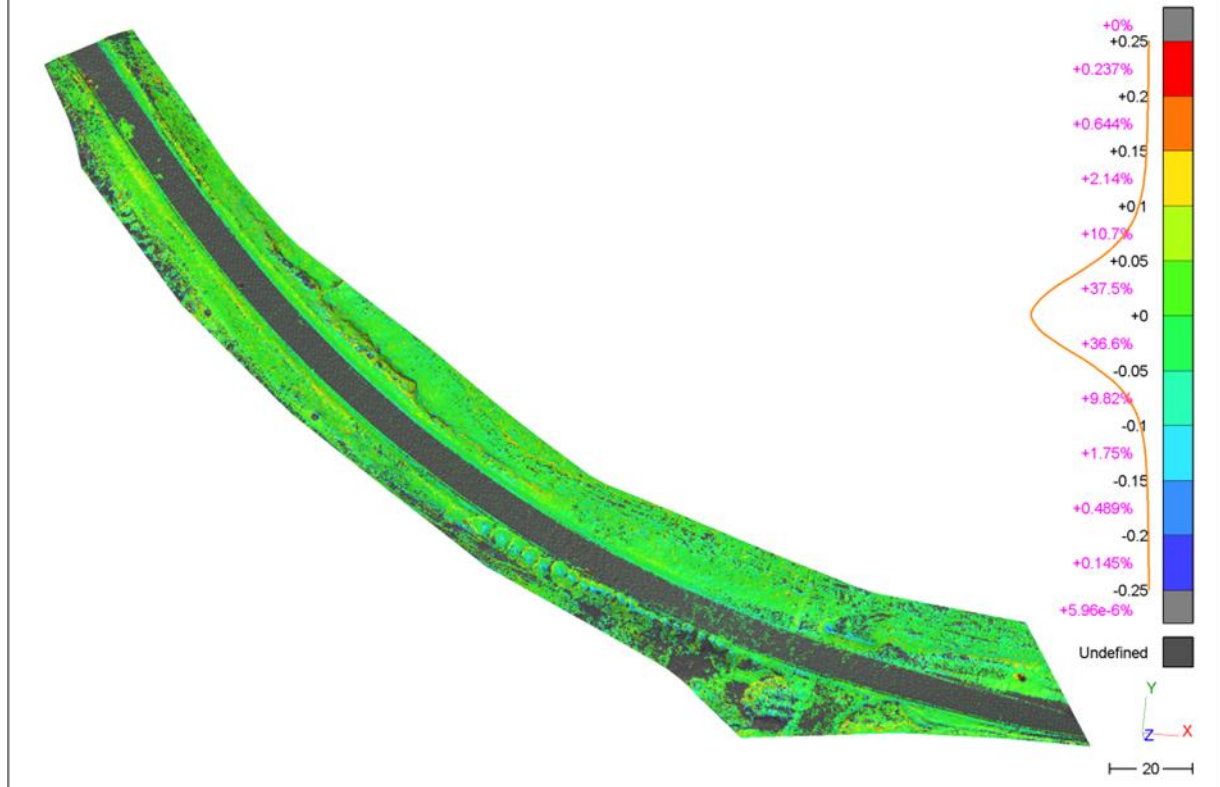
For Figur 17 viser høydeforskjellen mellom Wingtra uten GCP, PPK lokal base og fasitskannet. En kan se at fargekartet har tendenser til en mer jevn farge på hele modellen. Det er fortsatt enkelte toppe som heller mot en mer blågrønn farge, men den er ikke på langt nær så blå som forrige figur (Figur 16). Grafen ved siden av har også en helt annen form på kurven enn Figur 16. Her er kurven mye brattere fra toppunktet og ned til sidene. Man kan se at toppen på kurven ligger noe høyt da størst prosentandel av standardavviket ligger innenfor 5-10cm.



Figur 18: Fargekart av høydeforskjellen mellom Dji med GCP, RTK og fasitskannet. Grafen på siden viser standardavviket for modellen.

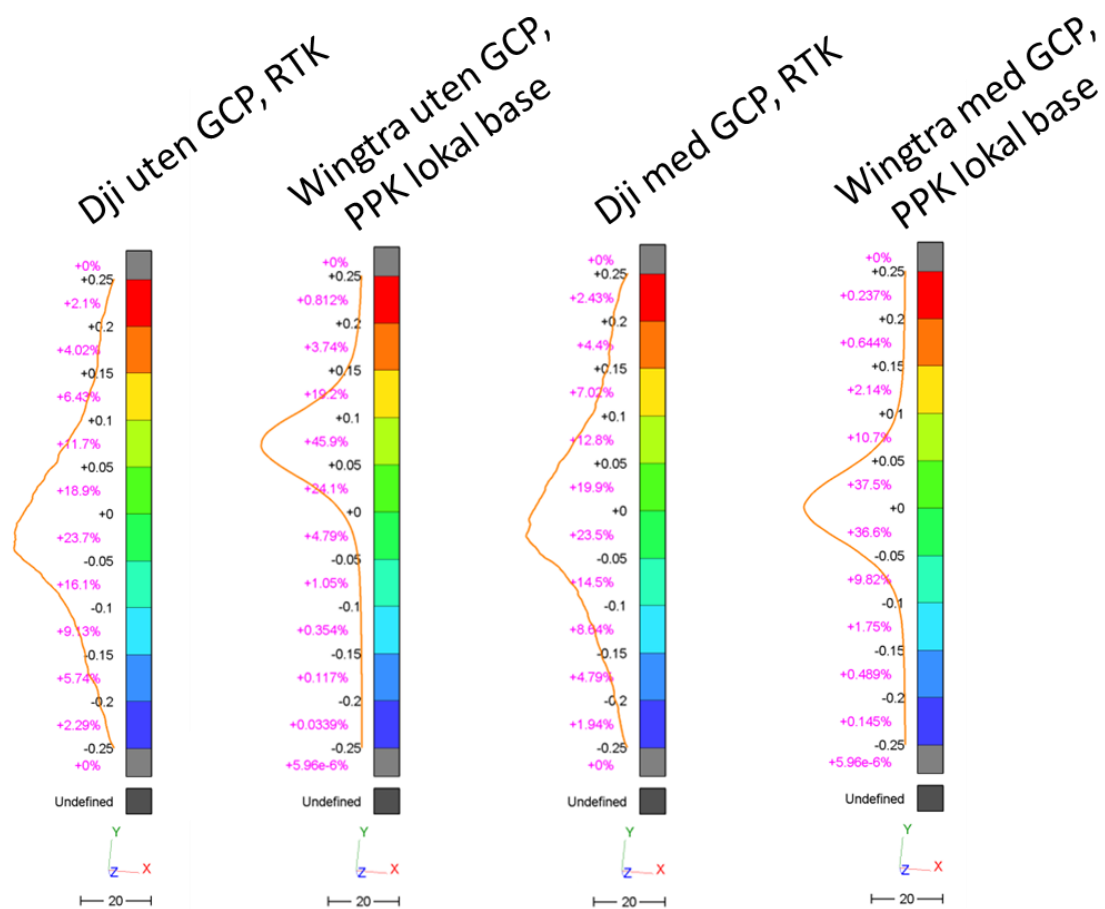
Figur 18 har helt like fargeforskjeller som Figur 16. Forskjellen for denne modellen Dji med GCP, RTK er at toppunktet på grafen treffer litt nærmere 0cm.

Fargekart mellom Wingtra med GCP, PPK lokal base og fasitskannet



Figur 19: Fargekart av høydeforskjellen mellom Wingtra med GCP, PPK lokal base og fasitskannet. Grafen på siden viser standardavviket for modellen.

På Figur 19 så er fargeforskjellene det samme som for Figur 17, men grafene er noe forskjellige. Kurven på grafen er den samme, men toppunktet til kurven er flyttet nærmere 0m.



Figur 20: Sammenstilling av standardavvikene mellom Dji uten GCP, RTK, Wingtra uten GCP, PPK lokal base, Dji med GCP, RTK og Wingtra med GCP, PPK lokal base mot fasitskannet.

På Figur 20 er det en sammenstilling av grafene fra Figur 16 til Figur 19. Det er tydelig forskjell på kurven til grafene mellom Djien og Wingtraen. Djien har som tidligere nevnt en noe mer spredt graf i forhold til Wingtraen. Derimot så er det ikke så stor forskjell på plasseringen av toppunktet for Djien med og uten GCPer. For Wingtraen er det derimot en tydelig forskjell.

4.2.4 Kontroll av grunnriss mellom GCPer og DTMer

Resultatene for grunnrisskontrollene kommer fra Agisoft sine rapporter. Det er kun på de to datasettene hvor det er benyttet GCPer det er mulig å gjøre en grunnrisskontroll. For både Tabell 13 og Tabell 14 så ser man de sammenlagte avvikene for x, y- og z-retning. Det som er inni parentesene bak Image er antall bilder det er festet GCPer på.

Tabell 13:

Kontroll av grunnriss mot GCPer for Dji. Gjennomført i programvaren Agisoft.

Kontroll av grunnriss mot GCPer for Dji					
Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
pp01	-0,237	-0,439	-0,031	0,500	0,328 (23)
pp02	0,646	-0,007	1,243	1,401	0,365 (8)
pp03	0,753	-0,286	0,599	1,004	0,308 (33)
pp04	0,519	0,621	-0,849	1,173	0,282 (27)
pp05	-1,038	1,309	2,025	2,625	0,242 (9)
pp06	-1,474	0,004	0,819	1,686	0,213 (7)
pp07	0,097	-0,739	-0,509	0,903	0,277 (23)
pp08	0,412	-0,526	-0,877	1,102	0,241 (5)
pp11	-1,225	2,796	1,563	5,386	0,243 (3)
PP13	-0,333	0,027	-1,249	1,293	0,207 (6)
PP14	1,139	0,345	-2,590	2,850	0,347 (17)
Total	0,834	1,006	1,319	1,857	0,298

Ut fra resultatene i Tabell 14, kan man se at nesten alle avvikene i grunnriss er innenfor kravet på 2cm for Dji. Det er kun pp11 som er utenfor kravet i grunnriss. Alle avvikene er innenfor kravet på 5cm i høyde, men en ser at pp05 og pp11 har en noe høyere verdi. Det kommer også fram fra resultatene at pp10 ikke har nok data innsamlet for å bli beregnet for Dji.

Det er 161 bilder hvor det er blitt manuelt plassert GCPer for Dji.

Tabell 14:

Kontroll av grunnriss mot GCPer for Wingtra. Gjennomført i programvaren Agisoft.

Kontroll av grunnriss mot GCPer for Wingtra					
Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
pp01	0,160	-0,776	3,034	2,876	0,498 (5)
pp02	1,495	0,203	5,769	1,403	0,216 (4)
pp03	1,399	1,140	1,156	2,142	1,338 (8)
pp04	0,657	0,641	0,962	1,330	0,844 (6)
pp05	-0,924	0,677	9,804	4,125	0,293 (7)
pp06	-1,184	-1,097	2,420	2,909	0,847 (3)
pp07	-0,209	-1,609	1,046	1,931	0,936 (8)
pp08	-1,006	-0,531	0,921	1,464	0,649 (7)
pp10	0,277	0,414	2,821	2,865	0,648 (5)
pp11	0,341	-0,583	-0,767	1,022	0,633 (7)
PP13	0,428	-1,510	0,320	0,304	0,844 (4)
PP14	-0,120	-0,102	0,706	0,724	0,842 (4)
Total	0,813	0,867	3,908	4,085	0,846

Resultatene i Tabell 14 viser også for Wingtra at alle avvikene er innenfor 2cm i grunnriss. For høyde med et krav på +/-5cm er det kun pp05 som ikke er godkjent.

Det er 68 bilder hvor det er manuelt plassert GCPer for Wingtra.

4.2.5 Bildekvalitet

For et fullstendig bilde av ortofotoene fra området, se vedlegg 5 og 6.

Det er tatt ut et par bilder som er sammenlignbare, ved å ta bilder av ca. samme plassering fra begge dronene.



Figur 21: Faktiske bildestørrelse og skarphet på et bilde fra Dji.

På Figur 21 viser ett enkelt bilde fra Dji, for å vise et utklipp fra den faktiske bildestørrelsen. Pp04 er det på sprayede krysset i bildet. En kan se at det er litt mørkt i skyggene enkelte steder.



Figur 22: Faktiske bildestørrelse og skarphet på et bilde fra Wingtra.

På Figur 22 ser man et bilde fra Wingtra. Det viser den faktiske bildestørrelsen. Pp04 er det hvite krysset på bildet.

Det kommer fram fra resultatene på Figur 21 og Figur 22 at Dji har et noe mer ut-zoomet bilde. En ser hele veien av asfalten på høyre siden og så vidt kanten på veien til venstre på Dji sitt bilde, mens på Wingtra sine bilder ser man kun litt av asfaltkulderen til høyre.

Djien har en dårligere GSD i forhold til Wingtra (Tabell 10), noe som resulterer i et mer uskarpt bilde.



Figur 23: Lysforskjell på Dji sine bilder. Det øverste bildet er litt mørkere. Begge bildene har kamerainnstillingene ISO-100 og lukkertid på 1/2000sek. Øverste bildet har en blenderåpning på f-3,2 og nederste bildet har en blenderåpning på f-2,8.

Ut fra resultatet på Figur 23 kan man se at bildene fra Dji er noe forskjellig. Det øverste bilde er litt mørkere enn det under.



Figur 24: Ikke lysforkjeller på Wingtra sine bilder. Begge bildene har kamerainnstillingene ISO-320, lukkertid på 1/2000sek og blenderåpning på f-4,5.

Figur 24 viser at det er mer likhet mellom Wingtra sine bilder i forhold til Dji sine bilder.

5 Diskusjon

5.1 Planlegging

Oppgaven består av 8 forskjellige datasett, GCPene, fasitskannet, Dji og Wingtra dataene. Grunnen til at det ble valgt å bruke CPOS på alle disse var først og fremst fordi Dji-dronen bruker RTK. For at målingene skal bli sammenlignbare med like kvalitetskrav ble det derfor viktig at alt ble holdt i ett og samme system. Den hurtigste metoden for å måle inn GCPer er ved hjelp av CPOS, dermed er dette en metode som blir mye brukt av Statens Vegvesen. Dette førte også til at det ble naturlig å velge CPOS for disse målingene. Dette er også grunnen til at fasitskannet ble basert ut fra korttidsstatiske målinger for å passe med resten.

For planleggingen ble det tidligere nevnt en del parametere som måtte velges før en eventuell flyvning (kapittel 3.3). Disse skal nå begrunnes noe mer.

Det ble valgt å fly begge dronene på samme høyde, da dette gjør de sammenlignbare. Hovedgrunnen til at det ble valgt like høyder er fordi dette er en studie på effektivisering. Dermed er tid en stor faktor i denne oppgaven. Ulempen med dette derimot er at dronene ender opp med to forskjellige GSDer som vil si at dronene får to forskjellige kvaliteter. Men siden det er to forskjellige kameraer på disse to dronene vil kvaliteten bli noe forskjellig uansett. Siden Djien har et dårligere kamera, ville den ha måttet flydd lavere for å få en lik GSD som Wingtraen. Dette ville igjen videre ført til at Djien bruker mer tid på innhenting av dataene. Derfor falt valget på å gå for samme høyde siden tiden på den ene dronen da vil bli adskillig lengre.

For de resterende innstillingene på dronene ble det ikke gjort noen endringer.

For kameraene ble det valgt å bruke nesten alle innstillingene fra produsentene. Grunnen til dette er for at oppgaven ikke skal bli for kamerafokusert, men siden bilder er en del av fotogrammetri er det noen enkle ting det ble tatt hensyn til for å optimalisere kameraene. For Djien ble det omgjort på innstillingene angående lukkertid. Grunnen til det er at den originalt sto på 1/400sek, noe som ga tydelig motion blur (kapittel 2.2) da dronen ble testet med en

flyhøyde på 100m. Wingtraen var allerede innstilt på 1/2000sek, og det kunne ikke sees noen motion blur på disse bildene, derfor ble det valgt å sette lukkertiden på Djien til 1/2000sek.

Det ble også valgt å beholde vinkelen på kameraene slikt som anbefalt fra produsentene. Denne innstillingen har derimot litt å si for hvordan flystriper man velger. For Djien som har et kamera med en vinkel er det anbefalt å fly kryssende flystriper (kapittel 3.3). Grunnen til det er at når den flyr bortover i for eksempel skog, vil den kun få bildet av trærne fra to sider. Hvis man derimot flyr på kryss igjen vil man også kunne få bilde av trærne fra alle 4 sider. Dette blir derimot et helt annet scenario for Wingtraen da den flyr med kameraet innstilt rett ned. Dette fører dermed til at man får bildet rett ovenfra på treet, noe som fører til at man har bilde fra alle 4 sider. Dermed trengs det kun å ha flystriper ene veien.

5.2 Gjennomføring

Den originale flyplanen til DJI ble laget under planleggingen før gruppen skulle ut i felt.

Dagen for feltarbeidet da flyvningen med DJI skulle utføres fikk gruppen beskjed på kontrollen til DJI at flyplanen ikke var mulig å igangsette på grunn av at den var for stor. Den beskjeden kom ikke opp under planleggingen av flyplanen. På andre forsøk så ble flyplanen oppdelt i flere deler, denne gangen gikk flyvningen bra, men når DJI kom tilbake for batteri skiftning så ville den ikke fortsette i den samme flyplanen og måtte starte helt på nytt.

Dermed ble det bestemt at den skulle deles opp i 5 ca like lange deler der den bare trengte ett batteri for hver flyvning.

5.3 Etterprosessering

Ved første gjennomkjøring av et datasett fra Wingtra i Agisoft viste at PP12, var en grov feil (kapittel 2.7). Dermed ble punktet droppet for å ikke påvirke resultatene noe videre. Grunnen til at PP12 har skilt seg ut er mest trolig på grunn av at punktet ble plassert på gjørme. Denne gjørmen kan dermed ha vært frosset på den første innmålingen som ble gjort tidlig på morgenen, og deretter tinet utover dagen på 2. og 3. innmåling.

Grunnen til at pp9 ikke ble med i beregningene var fordi det endte opp utenfor flyplanområdet. Dermed ble det for lite data tilknyttet punktet, og den ble derfor droppet.

For etterprosesseringen i Agisoft ved den manuelle GCPmarkeringen ble det oppdaget at gjenstander dekker enkelte av punktene på bildene. For pp05 så har punktet landet under en strømledning, noe som kan ha påvirket resultatet. Det ble også lagt merke til at pp06 har et bilde hvor punktet har havnet bak en gravemaskinskuff, noe som skaper en usikkerhet med denne beregningen.

Ut fra Tabell 10, så kommer det fram at Djien er fløyet på 123m. Noe som ikke gir helt mening siden flyhøyden ble valgt til 100m. Det kan tenkes at grunnen til dette er høydeforskjellen gjennom hele prosjektområdet. Hvis Agisoft har valgt et nullpunkt helt Nordvest i prosjektområdet, vil det kunne føre til at dronen teknisk sett har flydd over lovlig grense (kapittel 2.1.2) helt Sørøst i prosjektområdet ifølge programvaren.

Det ble også valgt å ikke legge for mye analyse av datasettene fra Wingtra med ETPOS da dette datasettet har en litt for stor usikkerhet siden basestasjonen er utenfor 10km anbefalingen fra Statens Kartverk (kapittel 3.3). Resultatet i Tabell 12 viser også tydelig at hele DTMen for Wingtra uten GCP, PPK ETPOS bommer med 21cm i gjennomsnitt på høyde.

5.4 Flytider

5.4.1 Delmål 1

Hvor stor forskjell er det på tidsforbruket på planlegging og flyvning mellom Dji og Wingtra?

Resultatene i kapittel 4.1.1, viser en del forskjeller på oppgavene ved å fly de forskjellige dronene. Djien har en betydelig høyere tid ut i felt, både med og uten GCPer, noe som kunne vært minket ved å bruke en programvare hvor det tillates å mellomlande, bytte batterier for så å fortsette på samme oppdraget. Dette er noe som også bruker ekstratid, men det kunne ha spart litt tid.

Det kommer også tydelig fram i kapittelet at det tar litt tid å opprette GCPene. Ifølge Dji og Wingtra skal begge disse dronene kunne flyes uten GCPer (kapittel 3.2.2), noe som også kunne spart feltarbeidet for en del tid. Dette er også grunnen for at det er gjort to beregninger av tid, en med og en uten GCPer.

Det må også tas høyde for at det kanskje ble bruket noe mer tid på planleggingen og flyvningene siden gruppen ikke bruker dette utstyret til vanlig.

For Statens Vegvesen er ofte planleggingen noe som blir gjort i det man kommer ut i felt og får sett området på nært hold, derfor inngår dette i flytiden sine resultater.

Det må også nevnes at om størrelsen på området hadde vært større, ville Djien trolig ha brukt enda lengre tid. Grunnen til det er at da måtte man ha begynt å lade batteriene til Djien (kapittel 3.3).

Ut ifra kun de beregnede tidene som vist i kapittel 4.1.1 bruker Wingtra uten GCP, PPK ETPOS kortest tid. Kvalitet er derimot ikke vurdert enda.

5.4.2 Delmål 2

Hvor stor forskjell er det på tidsforbruket på etterprosesseringen mellom Dji og Wingtra?

Det kommer fram i resultatet (kapittel 4.1.2) at Djien bruker nesten dobbelt så lang tid på etterprosesseringen. Det er Dense cloud generation time som er den tiden som skiller seg mest ut i begge tabellene for etterprosesseringen, både for med og uten GCP'er. Grunnen til at denne prosesseringen bruker minst tre ganger så lang tid kan være fordi at det er dobbelt så mye data innsamlet fra Dji. Noe som mest trolig kommer av flylinjene som er nevnt i kapittel 3.3.

Tiden for manuell GCP-plassering er også noe diffus, da det ble glemt å stoppe tiden etter å ha gjennomført Dji. Dermed ble hele tiden tatt for begge datasettene og fordelt ut på antall punkt som er plassert i hvert datasett. Hvor mange punkter som er plassert på hvilke datasett ser man i kapittel 4.2.4.

Når det kommer til etterprosesseringen så skal denne gjøres på to forskjellige måter som nevnt i kapittel 3.2.1 og 3.5.2. Dji trenger ingen etterprosessering i motsetning til Wingtra. En skulle tro at dette ville påvirke tiden en del, men denne etterprosesseringen i WingtraHub har brukte overaskende kort tid. Denne prosessen ville også tatt litt lengre tid, hvis koordinatene ikke hadde vært lagret i programvare.

5.4.3 Delmål 3

Hvor mange dekar per time kartlegger de to forskjellige dronene?

For å regne ut antall dekar pr time ble kun tiden for planlegging og flyvningene brukt. Grunnen til det er at Wingtra lover at dronen deres er mer effektiv på én flyvning i felt enn andre multirotkoptere (se kapittel 1.1). Derfor ble det testet om dette også gjaldt generelt, og ikke bare for én flyving. Derfor ble alle flyvningene fra Dji testet mot den ene flyvningen til Wingtra.

Det er tydelig fra resultatene i kapittel 4.1.3 at Wingtra med ETPOS bruker kortest tid uansett om det blir brukt GCP'er eller ikke.

Grunnen til at det ble brukt arealene fra flyplanene og ikke fra etterprosesseringsprogrammene er fordi ingen av droneprodusentene kan garantere at man får fullstendige datasett med lovet kvalitet utenfor flyplanene.

Resultatet ville blitt noe helt annet om man hadde brukt arealet programvarene hevder er innhentet. For eksempel er det stor forskjell på innsamlet areal i Tabell 10. Noe tyder på at innsamlet areal fra Dji er dobbelt, som kan skyldes at den har kryssede flylinjer. Det kan også tenkes at det kommer av at Djien har vinklet kamera, noe Wingtraen ikke har. Hvis dette hadde vært tilfellet og man kunne stolt på kvaliteten utenfor flyplanene hadde Djien brukt kortest tid.

5.5 Kvalitet

5.5.1 Delmål 4

Hva er høydeforskjellen mellom GCPer og DTMer til Dji og Wingtra?

For de innmålte GCP punktene i Tabell 11, er alle målingene innenfor 2cm, akkurat som lovet fra kartverket sin CPOS tjeneste (Kapittel 3.3). Enkelte av punktene slikt som pp5, pp8 og pp11 er punkter som er plassert på gjørme eller steiner, hvor det var vanskelig å måle inn. Dette kan ha hatt en innvirkning på målingene, men siden alle er innenfor kravet til kartverket, er det valgt å beholde de i denne studien.

Resultatene fra den geometriske kontrollen i kapittel 4.2.1 viser at alle de forskjellige DTMene ligger litt lavt i forhold til GCPene.

Det som er litt merkelig med denne testen er at alle målingene gjort med GCPer, er DTMer hvor de er georeferert ned mot GCPene. Dette vil si at DTMen burde ha blitt tilpasset GCPene slik at de matcher bedre. Dette er ikke tilfellet for Dji med GCPer. Dji uten GCPer ligger 1cm under GCPene i gjennomsnitt, mens gjennomsnittet blir satt ned til 2cm under GCPene når det er tatt hensyn til GCPene. Grunnen til dette kan være at gjennom georefereringen så har DTMen blitt misdannet, noe som har gitt et dårligere gjennomsnitt.

For Wingtraen derimot så er de georefererte DTMene med GCPer bedre plassert enn de uten GCPer. Dette er mer som forventet da DTMene blir tilpasset for å passe GCPene bedre, men

ved en georeferering ved bruk av mer enn 3 punkter så vil modellen bli omgjort i både x-,y-, z-retning og målestokken kan bli omgjort. Dette er noe som kanskje kan være litt uheldig, da dronene lager en komplett modell, som burde stemme ganske bra. Slik som man ser for Wingtra uten GCP, PPK ETPOS så blir ikke modellen helt bra selv om det brukes GCPer (Wingtra med GCP, PPK ETPOS). Gjennomsnittet til alle Wingtra sine modeller er fortsatt en del dårligere enn Dji sine modeller. Siden gjennomsnittet ikke blir helt som forventet selv ved bruk av GCPer så det er blitt vurdert om det kanskje er en mulighet å kun justere høyden på modellene. Hvis man trekker fra gjennomsnittet, hvordan ville modellen da passet med GCPene?

For fasitskannet er det kun pp05 som er utenfor kravet. Grunnen til det er som nevnt tidligere mest sannsynlig fordi punktet er plassert i gjørme.

5.5.2 Delmål 5

Hva er høydeforskjellen mellom skannet og DTMer til Dji og Wingtra?

I resultatene fra kapittel 4.2.2 kommer det fram på tverrprofilene at DTMene er noe forskjellig fra de to dronene. Skannet har en god del mer detaljer i seg. Grunnen til at det ble valgt å beholde skannet så detaljert er fordi det var av interesse for Statens Vegvesen se på hvordan kvaliteten ble utenfor harde faste områder. Det kommer tydelig fram at begge dronene er god på asfalten, men Wingtra skiller seg positivt ut når det kommer til ulendt terreng. Det mest naturlige ville kanskje vært at Dji hadde en modell som matchet skannet bedre, siden den har mer data innsamlet, men det ser ikke slik ut på tverrprofilene. Den kutter både topper og grøfter noe som er en fordel å ha noenlunde riktig, hvert fall hvis dronen skal brukes for innhenting av data til masseberegning.

Ut fra resultatene i Figur 20, ser en som nevnt tidligere en sammenstilling mellom de forskjellige standardavvikene. Det er tydelig at standardavviket til Dji er mer spredt, men at toppunktene er nesten det samme for med og uten GCPer. Ifølge kapittel 2.7 så vil dette bety at Dji sine målinger generelt har en dårligere presisjon, men en bedre absolutt nøyaktighet.

Derimot for Wingtraen sine målinger er kurven mer samlet, men toppunktet varierer mye i forhold til om det er med eller uten GCPer. Det vil dermed si ifølge kapittel 2.7 at Wingtraen sine målinger generelt har en høyere presisjon, men den har kun bra nøyaktighet ved bruk av GCPer.

5.5.3 Delmål 6

Hva er forskjellen i grunnriss mellom GCPer og bildekoordinatene til Dji og Wingtra?

Ved å se på resultatene i kapittel 4.2.4, så er det en god del forskjell på antallet manuelt plasserte GCPer. Dette kan ha hatt en innvirkning på resultatet ved at det er mer sikkerhet over resultatene til Dji. Derimot det at et er en del forskjeller fra punkt til punkt over hvor mange GCPer som er plassert, kan det resultere i noen ujevnheter. Men alt i alt bør alle resultatene både for Dji og Wingtra være god nok til å brukes, side det er minst brukt 3, GCPer for å plassere punktet. Dette fører til at programvare kan si fra om differansen mellom de 3 er for stor. Hvis det kun hadde blitt markert 1 eller 2 GCPer, så risikerer man at det ikke blir gjort noe beregning, eventuelt hvis en er feil, klarer ikke programvaren finne ut hvilke som er feil. Så ut ifra at alle har minst plassert GCPer av ett punkt på 3 bilder, vil det bety at man har kontroll over resultatene.

5.5.4 Delmål 7

Hvordan er bildeskarpheten til bildene fra Dji og Wingtra?

Som man kan se i sammenligningen av skarpheten i bildene fra Wingtra og DJI i kapittel 4.2.5 så kan man se en betraktelig forskjell på skarpheten i bildene. Hovedgrunnen til dette er at dronene har to forskjellige kameraer med forskjellig kvalitet. Det kan også ha noe med og gjøre at under flyvning så gikk gruppen for de innstillingene som var anbefalt for hvert kamera for at sammenligningen skulle bli så lik som mulig. Det hadde vært en mulighet å endre innstillingene på hvert kamera, men ettersom dronene blir brukt til jobbsammenheng så har gruppen fått erfare at de pilotene som bruker de til dagligdags ikke vil bruke tid på å endre disse innstillingene for de forskjellige flyvningene som utføres.

Som nevnt i kapittel 3.3 så ble blenderåpningen og ISO satt til å justere seg selv på Dji og kun ISO til å justere seg selv på Wingtra. Dette kan være en faktor for at det ble en slik lysforskjell som det ble på DJI bildene.

Det at kameraet til Dji har valgt en lav ISO er greit. Da dette vil unngå en del støy på bildet (kapittel 2.2). Når den brukes samme ISO, men forandrer blenderåpningen, vil det bli en tydelig lysforskjell. Siden en lavere f-verdi vil slippe inn mer lys (kapittel 2.2), noe som gjenspeiles i resultatene i Figur 23.

Lukkertiden ble satt til 1/2000sek for begge dronene, men denne verdien kunne helt sikkert vært noe lavere. Som nevnt tidligere i kapittel 5.1 ble oppdaget motion blur for lukkertiden 1/400sek til Dji, men det ble aldri testet noen verdier imellom disse to.

6 Konklusjon og anbefalinger

Hva er effektivitets forskjellen mellom en amatørdrone og en profesjonell drone?

En kan se i Tabell 8, som viser antall dekar per time til de forskjellige dronene at det er en markant effektivitetsforskjell mellom en amatørdrone (Dji) og en profesjonell drone (Wingtra). I resultatene er den mest effektive dronen Wingtra uten GCP, PPK ETPOS som har samlet inn 387 dekar per time, i motsetning til Dji uten GCP, RTK som kun samlet inn 98 dekar per time. Tatt i betraktning at dette er de to korteste flyvningene til hver drone.

Ut ifra alle delmålene konkluderer derimot gruppen med at hovedfokuset blir til slutt kvaliteten på arbeidet, i geomatikkbransjen blir dette sett på som en vesentlig del. Selv om det er tid spart, så er det nøyaktighet og presisjon på innsamlet data som er essensielt. Dermed kan man trygt si at det er Wingtra med GCP, PPK lokal base som har den beste presisjonen på sine målinger. Selv om produsentene mener man ikke trenger GCP, er dette fortsatt nødvendig for at den absolutte nøyaktigheten skal bli god nok.

Selv om det er Wingtra som gir den beste presisjonen, så kommer det an på hvilke typer målinger som skal utføres. På et slik område med et så stort areal som gruppen utførte sine flyvninger på, er det definitivt å foretrekke en drone som Wingtra. Skal det utføres flyvninger på et mindre område for eksempel en bygning, kan det være en fordel å bruke Dji, dette er en drone som passer ypperlig til mindre områder der man ikke trenger så store flyplaner.

Litteraturliste

- 3DReshaper (2015) *Software*. Tilgjengelig fra: <https://www.3dreshaper.com/en/software-en/>
(Hentet: 12. mai 19)
- Agisoft (2018) *Key Points Meaning*. Tilgjengelig fra:
<https://www.agisoft.com/forum/index.php?topic=9241.0> (Hentet: 09. mai 2019)
- Agisoft (2019) *About Metashape*. Tilgjengelig fra: <https://www.agisoft.com> (Hentet: 07. mai 2019)
- Contexo (2019) *Fv251 Hellefossbruen*. Tilgjengelig fra: <https://www.contexo.no/aktive-prosjekter/fv251-hellefossbrue> (Hentet: 29. mars 2019)
- Dick, Ø (2018a) *Grid – Rutenett*. Tilgjengelig fra: [https://snl.no/grid - rutenett](https://snl.no/grid_-_rutenett) (Hentet: 19. mai 2019)
- Dick, Ø (2018b) *Fotogrammetri*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/fotogrammetri> (Hentet: 13. april 2019)
- DJI (2018) *Phantom 4 RTK User Manual*. Tilgjendelig fra:
http://dl.djicdn.com/downloads/phantom_4_rtk/20181015/Phantom_4_RTK_User_Manual_v1.4_EN_.pdf (Hentet: 19. mars 2019)
- DJI (2019) *Phantom 4 RTK Spec*. Tilgjengelig fra: <https://www.dji.com/no/phantom-4-rtk/info#specs> (Hentet: 20. mars 2019)
- Dronenerds (2019) *DJI Phantom 4 RTK + D-RTK 2 Mobile Station Combo*. Tilgjengelig fra:
<https://www.dronenerds.com/products/drones/enterprise-drones/dji-phantom-4-rtk-d-rtk-2-mobile-station-combo-p4rtk-dji.html> (Hentet: 16. mai 2019)
- Engebreetsen, N. S. Holter, I. H og Søråsen, R. A. (2014) *Bruk av droner i vegprosjekt*. Bacheloroppgave. Høgskolen i Oslo og Akershus. Tilgjengelig fra:
https://fagarkivet.oslomet.no/en/item/asset/dspace:4766/Engebreetsen_Nikolai%20_S.pdf?fbclid=IwAR000KinEPdAjcK3yG-Z5198Z_xNaDzx9W1Th6qX_dB6V86jfVdhO__3vk8 (Hentet: 06. mai 2019)

Etnedal kommune (2019) *Valdreskart*. Tilgjengelig fra:

<https://valdreskart.no/Content/Main.asp?layout=valdres&time=1554384613&vwr=asv>

(Hentet: 03. april 2019)

Forskrift om luftfartøy som ikke har fører om bord (2015) *Forskrift om luftfartøy som ikke*

har fører om bord mv. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2015-11-30-1404?q=forskrift%20om%20luftfart%C3%B8y%20som%20ikke> (Hentet: 09.

april 2019)

GISGeography (2018) *DEM, DSM & DTM Differences – A look at elevation models in GIS.*

Tilgjengelig fra: <https://gisgeography.com/dem-dsm-dtm-differences/> (Hentet: 15. mai 2019)

GIS Resources (2013) *Georeferencing?* Tilgjengelig fra:

<http://www.gisresources.com/georeferencing-2/> (Hentet: 18. mai 2019)

Girod, L. (2018) Introduction to photogrammetry. *GEO4530 Geodesy and photogrammetry.*

Tilgjengelig fra: http://folk.uio.no/lucg/docs/Photogrammetry_GEO4530_2018.pdf

(Hentet: 19. mars 2019)

Jarslett, Y. Tandberg, E. (2018) *Drone*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/drone> (Hentet: 21. mars

2019)

Larsen, B. (2007) *Overflatedeformasjon*. Masteroppgave. Universitet i Oslo. Tilgjengelig fra:

<https://www.duo.uio.no/bitstream/handle/10852/12495/forsidesluttbok.pdf?sequence=1>

(Hentet: 10. mai 2019)

Luftfartstilsynet. (2019) *Sikkerhets avstander og maksimal flygehøyde*. Tilgjengelig fra:

<https://luftfartstilsynet.no/droner/kommersiell-bruk-av-drone/sikkerhetsavstander-og-maksimal-flygehoeyde/> (Hentet: 09. mai 2019)

Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S. and Harley, I. (2006) *Close Range Photogrammetry.*

Dunbeath: Whittles Publishing. Tilgjengelig fra:

<http://www.tiespl.com/sites/default/files/pdfebook/Full%20page%20Html%20interface/pdf/Photogrammetry.pdf> (Hentet: 19. mars 2019)

- Løberg, M.M. (2006) *Lukker og blender*. Tilgjengelig fra: <https://www.fotografi.no/arkiv/lukker-og-blender> (Hentet: 03. april 2019)
- Motion blur (2019) *Wikipedia*. Tilgjengelig fra: https://en.wikipedia.org/wiki/Motion_blur (Hentet: 15. mai 2019)
- Pihl, R. (2017) Brennvidde, *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: [https://snl.no/brennvidde - fotografi](https://snl.no/brennvidde_-_fotografi) (Hentet: 20. mars 2019)
- Pihl, R. (2019) Kamera, *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/kamera> (Hentet: 20. mars 2019)
- PIX4D Support (U. Å) *How are defined omega, phi, kappa?* Tilgjengelig fra: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202558969-How-are-defined-omega-phi-kappa> (Hentet 18. mai 2019)
- Powel Construction (2017) *Gemini Terreng: Hjelpesfunksjon*.
- Powel Construction (2019) *Gemini Terreng: Innovativ planlegging i 3D*. Tilgjengelig fra: <https://www.powelconstruction.no/produkter/gemini-terreng> (Hentet: 30. april 2019)
- Propeller (2018) *What is Ground Sample Distance (GSD) and How Does it Affect Your Drone Data?* Tilgjengelig fra <https://www.propelleraero.com/blog/ground-sample-distance-gsd-calculate-drone-data/> (Hentet: 16. mai 2019)
- Singh, S. (2016) *Confused Between DEM, DTM and DSM*. Tilgjengelig fra: <http://www.gisresources.com/confused-dem-dtm-dsm/> (Hentet: 15. mai 2019)
- Skogseth, T. og Norberg, D. (2014) *Grunnleggende landmåling*. 3. utg. Oslo: Gyldendal Undervisning
- SOSI-formatet (2019) *Wikipedia*. Tilgjengelig fra: <https://no.wikipedia.org/wiki/SOSI-formatet> (Hentet: 14. mai 2019)
- StartUp (2016) *Wingtra AG*. Tilgjengelig fra: <https://www.startup.ch/wingtra> (Hentet: 16. mai 2019)

Statens Kartverket (2009a) *Kart og geodata*. Tilgjengelig fra

<https://www.kartverket.no/globalassets/standard/bransjestandarder-utover-sosi/kartoggeodata-v2.pdf> (Hentet: 06. mai 2019)

Statens Kartverk (2009b) *Satellittbasert posisjonsbestemmelse*. Tilgjengelig fra:

<https://www.kartverket.no/globalassets/standard/bransjestandarder-utover-sosi/satbaspossystemer.pdf> (Hentet: 20. april 2019)

Statens Kartverk (2018) *ETPOS*. Tilgjengelig fra:

<https://www.kartverket.no/Posisjonstjenester/ETPOS/> (Hentet: 10. mai 2019)

Statens Kartverk (2019a) *Basestasjoner*. Tilgjengelig fra:

<https://www.kartverket.no/globalassets/arkiv/posisjonstjenester/basestasjoner.pdf>
(Hentet; 10. mai 2019)

Statens Kartverk (2019b) *CPOS*. Tilgjengelig fra:

<https://www.kartverket.no/posisjonstjenester/cpos/> (Hentet: 15. mai 2019)

Statens Kartverk (2019c) *Norgeskart*. Tilgjengelig fra:

<https://www.norgeskart.no/#!?project=norgeskart&layers=1002&zoom=4&lat=7197864.00&lon=396722.00> (Hentet: 03. april 2019)

UAS Norway (2019) *Safe to fly*. Tilgjengelig fra: <https://www.safetofly.no/> (Hentet: 08. april 2019)

Wingtra (2019a) *Technical Specifications*. Tilgjengelig fra: <https://wingtra.b-cdn.net/wp-content/uploads/Wingtra-Technical-Specifications.pdf> (Hentet: 19. Mars 2019)

Wingtra (2019b) *WINGTRAONE PROFESSIONAL SURVEYING AND MAPPING DRONE*.
Tilgjengelig fra: <https://wingtra.com/mapping-drone-wingtraone> (Hentet: 28. mars 2019)

Wingtra (2019c) *RGB CAMERAS*. Tilgjengelig fra: <https://wingtra.com/mapping-drone-wingtraone/mapping-cameras> (Hentet: 20. mars 2019)

Wingtra (2019d) *SOFTWARE*. Tilgjengelig fra: <https://wingtra.com/mapping-drone-wingtraone/drone-flight-planning-software/> (Hentet: 07. mai 2019)

Wingtra Knowledge Base (u.å) *Mapping Recommendations*. Tilgjengelig fra:

<https://knowledge.wingtra.com/mapping-recommendations> (Hentet: 16. mai 2019)

Øderud, H.T. (2018) Lunde bru, *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra:

https://snl.no/Lunde_bru (Hentet: 28. mars 2019)

Vedlegg

- Vedlegg 1: Beskrivelse av hvordan skannet er gjennomført og etterprosessert.
- Vedlegg 2: Tverrprofil fra Gemini Terreng mellom Dji uten GCP, RTK (Grønn), Wingtra uten GCP, PPK lokal base (Mørkeblå) og fasitskannet (Rød).
- Vedlegg 3: Tverrprofil fra Gemini Terreng mellom Dji med GCP, RTK (Gul), Wingtra med GCP, PPK lokal base (Lyseblå) og fasitskannet (Rød).
- Vedlegg 4: Tverrprofiler fra Gemini Terreng mellom Wingtra med GCP, PPK lokal base (Lyseblå), Wingtra med GCP, PPK ETPOS (Rosa) og fasitskannet (Rød).
- Vedlegg 5: Ortofoto fra Dji, Phantom 4 RTK.
- Vedlegg 6: Ortofoto fra Wingtra, WingtraOne.

Vedlegg 1

Det ble benyttet korttidsstatistiske målinger på fastmerkestolpene nederst i prosjektområdet. Dette for å gi fastmerkene koordinater i CPOS-systemet. Disse koordinatene ble brukt for å orientere laserskanneren slik at skannet endte opp i samme system som resten av de innsamlede dataene.

Øie, M. fra Statens Vegvesen gjorde følgende med fasispunktskyen:

«For å begrense størrelsen på modellene er laserdataene som er benyttet til å lage modellene tynnet ved hjelp av en fremgangsmåte i programvaren Terrasolid som heter «Model keypoints». Laserdataene er tynnet ved å kjøre «Model keypoints» med en terskelverdi på 3cm. Dette vil litt forenklet si at for alle nabopunkter i punktskyen som skiller seg mindre fra hverandre enn 3 cm i begge retninger i høyde beholdes kun ett av punktene. Det gjøres en slik beregning iterativt på hele datasettet, slik at man til slutt skal stå igjen med et datasett helt uten nabopunkter som skiller seg mindre enn 3 cm fra hverandre i absolutt høyde. Maksimal avstand mellom to punkter i xy er imidlertid satt til å være 3 meter her, så hvis det blir over 3 meter mellom nabopunktene i det endelige datasettet tas det likevel med punkter med mindre høydeforskjell enn 3cm (tynningskriteriene er dermed: 3m, 0,03m, 0,03m).

Dette er det som står i dokumentasjonen til algoritmen:

Model keypoints

Model keypoints routine classifies points which are needed to create a triangulated surface model of a given accuracy. This routine is normally used to create a thinned data set from previously classified as ground points.

The routine tries to find a relatively small set of points (= keypoints) which create a triangulated model of the given accuracy. It starts by classifying all points from the source class, which is usually the ground class, into the target class. Then, it iteratively removes all points from the target class that are not required in a surface model of the given accuracy.



You control the accuracy of the keypoint model with elevation tolerance settings **Above model** and **Below model**. These settings determine the maximum allowed elevation difference between the keypoint model and a surface model created from the original ground points. The **Use points every** setting ensures a minimum point density in the final model. For example, if the distance between a point and its closest neighbour must not be less than 10 meter, you should set the **Use points every** setting to 10.0 m.

Setting:	Effect:
From class	Source class(es). Contains usually ground points.
>>	Opens the Select classes dialog which contains the list of active classes in TerraScan. You can select multiple source classes from the list that are then used in the From class field.
To class	Target class.
Inside fence only	If on, points inside a fence or selected polygon are classified.
Use points every	Minimum point density of model keypoints. In areas of completely flat ground, there is a keypoint at approximately the given distance.
Tolerance above	Maximum allowed elevation difference upward between the triangulated keypoint model and a model of the original source points.
Tolerance below	Maximum allowed elevation difference downward between the triangulated keypoint model and a model of the original source points.

