

Hovedoppgave

NTNU
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for vareproduksjon og byggingsteknikk

Hovedoppgave i Geomatikk
Veileder: Rune Strand Ødegård og Andras Ladai
Mai 2019

Kjetil Strand Ommedal, Rasmus Søndenaas og
Phiroz Alee Nazari

Sammenligning av ulike type droner basert på nøyaktighet og arbeidsflyt

Bacheloroppgave i Geomatikk
Veileder: Rune Strand Ødegård og Andras Ladai
Mai 2019

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for vareproduksjon og byggingsteknikk

Bacheloroppgave

*Sammenligning av ulike type droner basert på
nøyaktighet og arbeidsflyt*

Kjetil Strand Ommedal, Rasmus Hanssen Søndena og
Phiroz Alee Nazari

Gradering: Åpen/~~Konfidensiell~~

Bachelor i Geomatikk

Innlevert: mai 2019

Veileder: Rune Strand Ødegård og Andras Ladai

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

Institutt for vareproduksjon og byggingteknikk

Oppgavens tittel:	Dato:20.05.2019		
Sammenligning av ulike type droner basert på nøyaktighet og arbeidsflyt	Antall sider: 78		
	Masteroppgave:	Bacheloroppgave	X
Navn: Kjetil Strand Ommedal, Rasmus Hanssen Søndena og Phiroz Alee Nazari			
Veileder: Rune Strand Ødegård og Andra Ladai			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/ veiledere: Anders Hoel Nilsen			

Fotogrammetri med drone blir stadig mer vanlig til landmålingsoppgaver. Hvilket resultat kan man oppnå med denne type kartlegging sett opp mot absolutt nøyaktighet? Vår problemstilling er å teste to droner og sammenligne resultatet mot en referansedata, samt undersøke arbeidsflyten ved å se om det er tidsbesparelse imellom dronene fra innhenting av data til ferdig prosessert resultat. Testen er gjort i området ved Veidekkes prosjekt på E6 der omgivelsene var kuperte og variert med vegetasjon. Dronene ble flydd for å dekke det samme arealet, der det på forhånd var målt inn kontrollpunkter/passpunkter for sammenføring og koordinatfeste bildene i etterprosesseringen. Det ble brukt 2 programmer for å undersøke nøyaktigheten. Først Pix4d for sammenstilling og generering av en modell og punktsky. Deretter en kontroll med Gemini terreng av punktskyen mot en referansedata i form av en TIN-modell. Dronene eBee Classic og DJI Phantom Pro 4 ble flydd i ulik høyde. eBee fløy høyest som innbar at den dekket samme område med færre bilder. Antall bilder er den største virkningen av prosesseringstid mellom dronene. eBee har ut ifra kriteriene til arbeidsflyt, vært en raskere og mer effektiv drone. Ut ifra antall bilder og flyhøyde er det elementer som skiller de to dronene for gangen videre i undersøkelsen. Resultatet som kom i Pix4D og Gemini terreng pekte i ulik retning. eBee var nærmest modellen i Pix4D med avvik målt gjort mot kontrollpunkter. DJI Phantom sin punktsky lå nærmere referansedataen, som er fasiten for å sjekke absolutt nøyaktighet. Dette resultatet av nøyaktighet, kombinert med usikkerheter i kontrollpunktene gjør at vi ikke kan fastslå med sikkerhet om hvilken av de 2 dronene som har best absolutt nøyaktighet.

Stikkord:

Landmåling, Fotogrammetri
Droner
Punktsky
Digital Terreng Modell

Kjetil Okunevold Rasmus Sønderaa Phiroz Alee Nazari

(sign.)

iv

Summary

Photogrammetry with drone is increasingly common in surveying tasks. What result can be achieved with this type of mapping compared to absolute accuracy? Our problem is to test two drones and compare the results to a reference data, as well as to examine the workflow by seeing if there is a time saving between the drones from obtaining data to finished processing. The test has been done in the area at Veidekke's project on the E6, where the surroundings were rugged and varied with vegetation. The drones were flown to cover the same area, where control points for joining and coordinating the images were pre-measured in the post-processing. Two programs were used to investigate the accuracy. First, Pix4d for assembling and generating a model and point cloud. Then a control with Gemini terrain of the point cloud against a reference data in the form of a TIN model. The drones eBee Classic and DJI Phantom Pro 4 were flown at different heights. The eBee flew the highest that recognized that it covered the same area with fewer pictures. The number of images is the greatest effect of processing time between the drones. eBee has, based on the criteria for workflow, been a faster and more efficient drone. Based on the number of images and flight height, there are elements that distinguish the two drones for the time in the survey. The result that came in Pix4D and Gemini terrain pointed in different directions. eBee was closest to the Pix4D model with deviations measured against control points. DJI Phantom's point cloud was closer to the reference data, which is the norm of checking absolute accuracy. This result of accuracy, combined with uncertainties in the control points, makes it impossible for us to determine with certainty which of the two drones has the best absolute accuracy.

Forord

Vår oppgave som er en avsluttende bacheloroppgave av et 3-årig Geomatikk studie ved NTNU Gjøvik og tilsvarer 20 studiepoeng skal omhandle kvalitet og nøyaktighet sett opp mot arbeidsflyt av forskjellige type droner. Oppgaven er skrevet av tre Geomatikkstudenter hvor alle har valgt landmålingsretningen av studie.

Oppgaven er skrevet i samarbeid med entreprenørene Veidekke AS og bakgrunnen deres for oppgaven var et behov for å finne nøyaktigheten på de forskjellige dronene som benyttes i deres prosjekter. Alt av utstyr som er benyttet til datainnsamling til oppgaven er eid av Veidekke.

Motivasjonen vår som studenter til dette oppgavetemaet var at alle i gruppen ser bruk av drone til landmålingsrelatert datainnsamling som et verktøy for fremtiden.

Under hele bacheloroppgaven har vi holdt en tett dialog med vår kontaktperson i Veidekke, Anders Hoel Nielsen. Han er ansvarlig for dronerelatert arbeid ved Veidekkets prosjekt E6 Arnkvern-Moelv. Og vi ønsker i denne anledning å rette en stor takk for all tid og ressurser som er blitt satt av til å hjelpe oss med oppgaven.

Gruppen vil også takke våre to veiledere ved instituttet for vareproduksjon og byggteknikk i Rune Strand Ødegård og Andras Ladai som har vært til stor hjelp for tilbakemelding og rådgøring underveis i prosjektet. Veilederne har også vært til stor hjelp for å kunne holde fremdrift i programvare som er blitt brukt i oppgaven.

Gjøvik, 20. Mai 2019

Innholdsfortegnelse

Abstract (engelsk)	vi
Forord	vii
Innholdsfortegnelse	viii
Figurliste	xii
Tabelliste	xiii
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Problemstilling.....	2
1.3 Introduksjon av tema	2
2 Teoretisk rammeverk.....	4
2.1 Koordinatsystem.....	4
2.1.1 Horisontalt datum.....	4
2.1.2 Vertikalt datum.....	6
2.2 GNSS	7
2.3 Totalstasjon.....	8
2.4 Nøyaktighet	9
2.4.1 Relativ nøyaktighet	9
2.4.2 Absolutt nøyaktighet	9
2.5 Generelt om droner	10

2.5.1	Lovgivning og regelverk for gjeldende deklarasjon	10
2.5.2	eBee Classic spesifikasjoner	11
2.5.3	DJI Phantom 4 Pro spesifikasjoner	12
2.6	Fotogrammetri	13
2.6.1	Indre Orientering	14
2.6.2	Ytre orientering	14
2.6.3	Eksterne forhold	15
2.6.4	Overlapp og bildesammenføring	16
2.7	Kameratelesifikasjoner.....	17
2.7.1	senseFly S.O.D.A	18
2.7.2	DJI Phantom 4 pro kamera.....	19
2.7.3	CCD-sensor mot CMOS-sensor	19
2.8	DTM mot DSM	20
2.9	Referansedata.....	20
2.9.1	LIDAR.....	20
2.9.2	TIN-modell.....	21
2.10	Pix4D	21
3	Metode.....	23
3.1	Forskningsmetodikk	23
3.2	Komparativ systemanalyse	23
3.3	Det studerte området.....	24

3.4	Innsamling av data.....	24
3.5	Flyplan.....	27
3.5.1	Flyforhold.....	28
3.6	Eksport av rådata	29
3.7	Bearbeiding av måledata	29
3.7.1	Dataspesifikasjoner	29
3.7.2	Innstillinger og valg i Pix4D	30
3.7.3	Geometrisk kontroll i Gemini	32
4	Resultat/Analyse.....	34
4.1	Tidsbruk.....	34
4.2	Relativ nøyaktighet.....	36
4.3	GCP Antall	37
4.4	Image Scale.....	40
4.5	Påvirkning av forskjellig standardavvik	42
4.6	Geometrisk kontroll.....	43
5	Diskusjon.....	46
5.1	Datainnsamling.....	46
5.2	Relativ nøyaktighet.....	46
5.3	Antall GCP	47
5.4	Image scale	48
5.5	Tidsbruk.....	49

5.6	Påvirkning av forskjellig standardavvik	50
5.7	Geometrisk kontroll	51
5.8	Oppsummering av drøfting.....	52
6	Konklusjon	55
7	Referanseliste	57
7.1	Intervjuobjekter	57
7.2	Litteraturliste	57
8	Vedlegg	Feil! Bokmerke er ikke definert.

Figurliste

<i>Figur 1: Målestokkfaktorens påvirkning</i>	5
<i>Figur 2: Oversikt over UTM-sonene</i>	6
<i>Figur 3: Endring målt i høyde fra NN1954 til NN2000</i>	7
<i>Figur 4: Leica manual</i>	9
<i>Figur 5: eBee Classic</i>	11
<i>Figur 6: DJI Phantom 4 Pro</i>	13
<i>Figur 7: Illustrasjonen som viser tanken med indre orientering</i>	14
<i>Figur 8: De 6 ukjente som ytre orientering gir</i>	15
<i>Figur 9: Kasteskyggene</i>	16
<i>Figur 10: Illustrasjon av hvordan blenderåpningsfunksjonen påvirker kameraet</i>	17
<i>Figur 11: DJI Phantom 4 Pro kamera</i>	19
<i>Figur 12: DTM</i>	20
<i>Figur 13: Oversiktsbilde over prosjektområdet</i>	24
<i>Figur 14: Modellen beskriver de forskjellige fasene av innsamlingen av datagrunnlaget</i>	25
<i>Figur 15: Spraymaling som er slitt bort</i>	25
<i>Figur 16: Grunnlagsnettpunkt med påmontert markør</i>	27
<i>Figur 17: RTK målt punkt spraymalt direkte på bakken</i>	27
<i>Figur 18: Flyplanlegger til eBee</i>	27
<i>Figur 19: Flyplanlegger til Phantom</i>	28

<i>Figur 20: Væroversikt hentet fra yr.no dagen for flyvning</i>	28
<i>Figur 21: TIN-modell</i>	32
<i>Figur 22: Utdrag av område vist som Heatmap med forklaring av toleransegrenser</i>	33
<i>Figur 23: En sammenligning av prosesseringstiden</i>	34
<i>Figur 24: Diagrammet viser gjennomsnittlig RMS Error</i>	37
<i>Figur 25: Ettersom at RMS Error i Z-retning skiller seg ut</i>	38
<i>Figur 26: Differanser av RMS Error når eBee og Phantom er slått sammen</i>	39
<i>Figur 27: Ved å sett image scale</i>	40
<i>Figur 28: er hentet fra kvalitetsrapporten til eBee 3</i>	40
<i>Figur 29: Her ser man en fremvisning av prosjektområdet kjørt med 1/4 image scale</i>	41
<i>Figur 30: Her ser man en fremvisning av prosjektområdet kjørt med 1/1 image scale</i>	41
<i>Figur 31: Det grønne området viser resultatet avgeometrisk kontroll for Phantom mot referansedataen</i>	43
<i>Figur 32: Det grønne området viser resultatet avgeometrisk kontroll for eBee mot referansedataen</i>	44
<i>Figur 33: Denne tverrprofilen viser TIN-modellen</i>	44

Tabelliste

Tabell 1: Regelverk for RO1	11
Tabell 2 : eBee.....	12
Tabell 3: Phantom	13
Tabell 4: sensFly S.O.D.A	18
Tabell 5: Forskningsmetode	23
Tabell 6: RTK målte GCP	26
Tabell 7: PC spesifikasjoner.....	29
Tabell 8: Prosesseringstid.....	35
Tabell 9: Sammenslåing av datasett	35
Tabell 10: Checkpoint RMSE i X	36
Tabell 11: Checkpoint RMSE i Y	36
Tabell 12: Checkpoint RMSE i Z.....	36
Tabell 13: RMSE påvirkning av ulik GCP.....	39
Tabell 14: RMSE snitt ved eBee	42
Tabell 15: RMSE snitt ved Phantom.....	42
Tabell 16: RMSE med individuell std.avvik mot default med Phantom	42
Tabell 17: RMSE med individuell std.avvik mot default eBee.....	43
Tabell 18: Geometrisk kontroll i prosent	43
Tabell 19: Geometrisk kontroll av eBee med individuell og default std.avvik.....	45
Tabell 20: Geometrisk kontroll av Phantom med individuell og default std.avvik	45

Forkortelser

	Engelsk	Norsk
DSM	Digital surface model	Digital overflate modell
GSD	Ground Sampling Distance	Bildemålestokk
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor	
CCD	Charge Complete Device	
STD	Sigma	Standardavvik
GNSS	Global Navigation Satellite System	
GCP	Ground Control Point	Passpunkt
DTM	Digital Terrain Model	Digital Terreng Modell
CP	Check point	Kontrollpunkt
RMS	Root Mean Square	
UAV	Unmanned Aerial Vehicle	Ubemannet luftfartøy
TIN	Triangulated Irregular Network	Trianguleringsmodell
BA		Bygg og anlegg
HMS		Helse, Miljø og Sikkerhet
INS	Inertial Navigation System	
FPS	Frames Per Second	
LIDAR	Light Detection and Radar	Optisk fjernmålingsteknikk
IMU	Inertial Navigation System	Navigasjonssystem

Begreper og definisjoner

Keypoint	Karakteristisk trekk i ett bilde. F eks skarp endring i farge eller tekstur.
ImageScale	Digital bildebehandling bilde skalering refererer til størrelsen på et digitalt bilde
Tiepoint	Gjenkjente keypoint i flere bilder slås sammen og blir til et tiepoint, fra 2D-3D
FPS	Den måler hvor mange unike bilder et kamera kan håndtere hvert sekund

1 Innledning

Innen droneteknologi er det en rask utvikling og stadig nye produkter blir tilgjengelig. Droner blir brukt til mange forskjellige typer kartleggingsoppgaver for næringer som jordbruk, arkeologi, eiendomsutbygging og anleggsnæring. Man bruker moderne metoder og nyutviklede programvare for å effektivisere prosessen til å nå målet, samtidig som man ønsker ett optimalt resultat ut fra kriteriene satt til oppgaven. Dronene varierer i kvalitet slik at ønsket sluttresultat vil variere mellom de ulike typene. En sammenligning basert på flere faktorer vil gi sammensatt og helhetlig vurdering av produktet.

1.1 Bakgrunn

Vi kom i kontakt med entreprenøren Veidekke AS fordi en av medlemmene i gruppa jobbet for dem sommeren 2018. Veidekke AS foreslo et tema vi kunne skrive om som handlet om nøyaktighet til droner. Vi i gruppen så på dette temaet som meget interessant og takket ja til tilbudet om å skrive Bachelor for entreprenøren.

Bakgrunnen for initiativet til Veidekke om å finne nøyaktigheten av sine droner, bygger på at det er store prisforskjeller mellom ulike type droner. Ved senere innkjøp av droner vil en sammenligning av nøyaktigheten være med som en viktig faktor for hvilken avgjørelse som tas.

Vår motivasjon for å skrive om dette temaet lå i at det tidligere i vårt studieprogram ikke har vært stort fokus på fotogrammetri og da spesielt når det gjelder med bruk av drone. Derfor så vi dette som en gylden mulighet til å sette oss dypere inn i bruken av drone ettersom vi tror drone vil bli et sentralt verktøy for landmålere i framtiden. Vi ønsket også å bruke denne muligheten til å gjøre oss kjent med en ny programvare ettersom at det kan være nyttig i senere arbeidssituasjoner.

1.2 Problemstilling

Etter å ha vært i kontakt med Veidekke og diskutert bacheloroppgaven ble vi enige om at temaet nøyaktighet og arbeidsflyt knyttet opp mot forskjellige droner kunne passe. Vi endte da med en problemstilling som lyder:

“Hvilket resultat oppnår man med fotogrammetri til de ulike kartleggingssystemene med dronene eBee Classic og Phantom 4 Pro, basert på faktorene absolutt nøyaktighet og arbeidsflyt?”

Med dette som vår problemstilling ønsker vi å undersøke hvilke forskjeller som ligger i dronene som Veidekke benytter seg av. Dette spesielt i forhold til hvilken nøyaktighet som kan forventes med et så likt datagrunnlag som mulig med 3 flyvninger av hver drone over det samme området. Vi ønsker også å se på hvilken nøyaktighet som kan oppnås i forhold til mengden data. Dette for at i en bransje som Bygg og Anlegg (BA)-bransjen står begrepet “tid er penger” sentralt og jo større datagrunnlag det er behov for jo mer tid vil gå med.

1.3 Introduksjon av tema

De siste årene har bruken av droner både til kommersielt bruk og hobbybruk økt betraktelig. Dette har gjort at regelverket også har blitt presisert bedre for at ikke droneflyvningen skal føre til for eksempel personskade eller være til forstyrrelse for flytrafikk. Bruk av drone har også i mange tilfeller minimert risikoen for personskade. I anleggsbransjen kan terrenget være ufremkommelig. Om prosjektområdet er veldig bratt. Om det er sterkt trafikkerte veier hvor det kan være problematisk å stoppe trafikken. Eller om området er risikabelt å ta seg inn i av andre grunner kan kartlegging med bruk av drone være ypperlig for å ivareta regelverket knyttet til Helse, Miljø og Sikkerhet (HMS).

Når det kommer til bruk av drone for kartlegging i anleggsbransjen har det hatt en stor gevinst. Tidligere ble større kartleggingsoppgaver beholdt flyfotografering, men dette er kostbart og krever god og nøye planlegging. Nå kan disse oppgavene utføres ved hjelp av

droner som er et mye rimeligere og effektivt alternativ enn både flyfoto og manuell innmåling, men det er avhengig av omfanget på kartleggingsoppgaven.

Drone som hjelpemiddel har vist seg å være nyttig i flere næringer. Ved enkelte tilfeller har Politiet sett nytten av droner i leteaksjoner for sikkerhetsmessige og tidsmessige årsaker (Gamlem & Valgermo, 2017). En fallulykke i Norddal kommune hvor en tysk turist falt utfor et stup benyttet politiet en drone for å dokumentere åstedet. Jordbruksnæringen har også nytte med bruk av drone. NIR-kamera er en type kamera som viser temperatur og fuktighet som er over spekteret for hva det menneskelige øye kan se (Brugrand. et al, 2013). Dette hjelper bønder med å kartlegge status for avlingene sine slik at de bedre kan vite når de må høste inn for eksempel kornet. Arkeologer har også sett nytten av droner. De kan bruke droner for å gjøre overflyvninger for å kartlegge arkeologiske funn. De kan også bruke droner til georeferering av ærverdige bygg for i senere tid se om det har vært noe forflytning og dermed være fare for at det kan rase sammen (Paasche, 2019).

2 Teoretisk rammeverk

I dette kapitlet er prinsipper forklart for å danne et grunnlag for vårt tema og vår problemstilling. Først er grunnleggende landmåling forklart før det er spisset mer inn mot drone-relatert teori og beskrivelse av begreper knyttet til kameraene. Avslutningsvis er det forklart teori rundt programvare og forskjellige 3D-modeller.

2.1 Koordinatsystem

Når en posisjon skal koordinatfestes er det helt avgjørende å være bevist på hvilken type koordinatsystem punktene er beskrevet med. For å beskrive posisjonen blir punktet tildelt en benevnelse for grunnrissposisjonen og høydeposisjonen. Dette baseres på et nullpunkt eller en origo-akse.

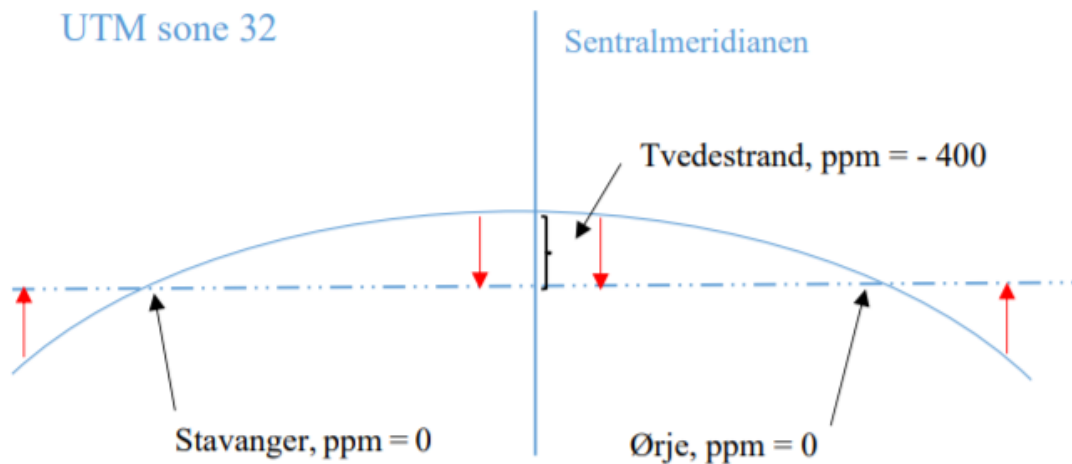
Det benyttes forskjellige type koordinatsystem for posisjonsbeskrivelse. *Geosentrisk koordinatsystem* baserer seg på tre akser der origo er jordens massemiddelpunkt. Jordens rotasjonsakse (ekvator), Greenwich-aksen og en tredje akse som er vinkelrett på disse to aksene. Koordinaten blir oppgitt med avstanden i forhold til disse aksene (Myrvang, 2016). *Geodetisk koordinatsystem* er koordinater som beregnes ut ifra punktets posisjon i forhold til jordens breddegrad(φ) og lengdegrad(λ). Den tredje aksene blir beskrevet ut ifra ellipsoiden som er en matematikk tilnærming av jordas overflate (Harsson, 2004).

Kartplankoordinatsystem er et lokalt koordinatsystem som tangerer jordoverflaten og er mye brukt i BA-bransjen (Myrvang, 2016). Ved bruk av kartplankoordinatsystem er det viktig å være påpasselig med å bruke samme system. Ettersom at det er et lokalt system kan det by på utfordringer ettersom at man er avhengig av at alle brukere av koordinatene er kjent med hvilket system som er i bruk.

2.1.1 Horisontalt datum

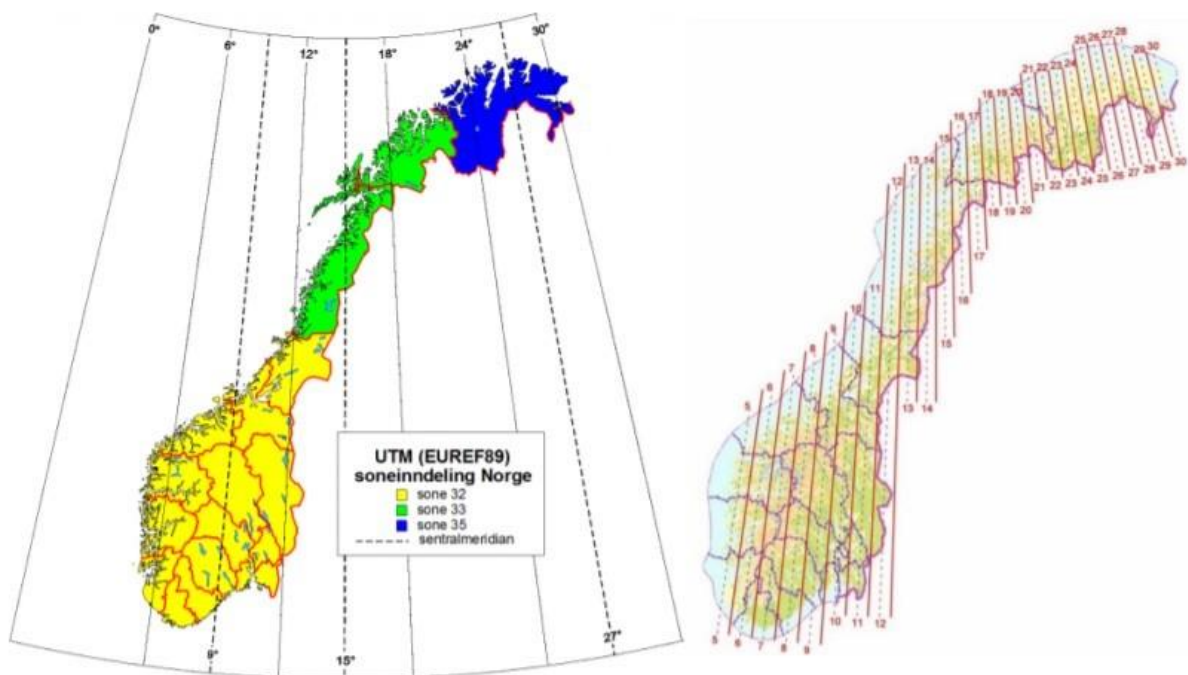
Horisontalt datum er med å beskrive posisjonen i grunnriss med en X- og Y-koordinat. I Norge er det offisielle horisontaldatumet EUREF 89 UTM (Universal Transversal Mercator)

som ble innført i 2009. Dette datumet deler Norge i tre soner som gjør forvaltning av kartdata enklere ettersom at det da er et mindre område å forholde seg til. Det som vil være en negativ følge av å ha få soner er at målestokken i hver enkelt sone blir større. For eksempel er målestokken i UTM på 0,9996 som vil si at det kan på det meste forventes en feil på 400mm per 1000m (-400 ppm) som figur 1 illustrerer (Eilefsen, 2011).



Figur 1: Målestokkfaktorens påvirkning på målinger innad i en sone (Eilifsen, 2011)

Et eksempel på hvordan målestokkfaktor kan påvirke er anvist her med koordinater på et punkt i Trondheim (X: 7034487, Y: 571578) hvor målestokken er på -337ppm. Da vil 1000 meter i terrenget utgjøre 999,663 meter i kartet. Dette utgjør en forskjell på 33,7 cm som ikke virker som nevneverdig mye, men på et BA-prosjekt med store konstruksjoner vil dette kunne være avgjørende. Løsningen for dette var EUREF89 NTM (Norsk Transversal Mercator).

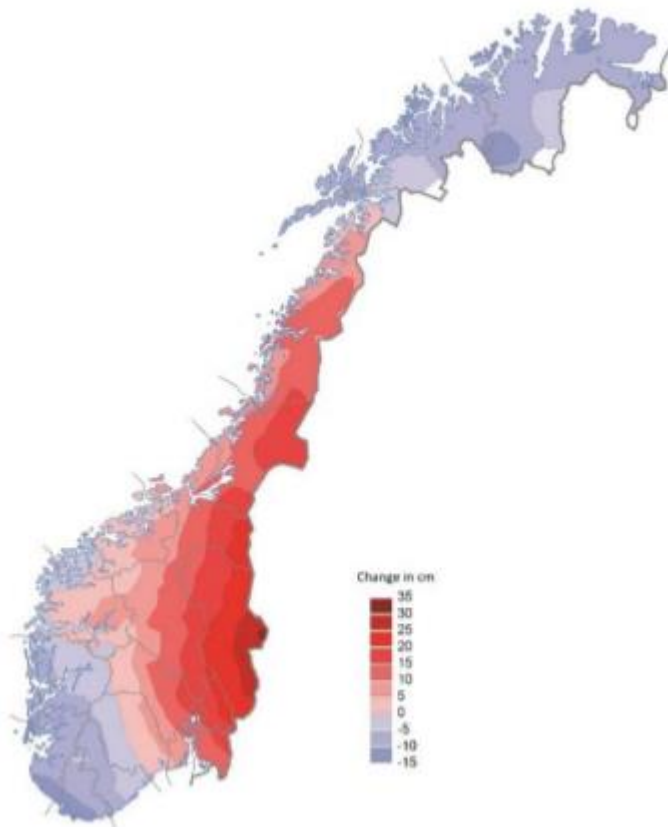


Figur 2: Oversikt over UTM-sonene mot NTM-sonene som dekker Norge (Eilifsen, 2011)

EUREF89 NTM er ett datum som er blitt utviklet spesielt for bruk i BA-bransjen. Mens UTM baseres på tre soner i Norge har NTM delt inn Norge i 31 soner. Dette gjør at beregninger blir gjort med en mindre målestokk på 11 cm per 1000 m (11ppm). Men ettersom at all kartdata skal lagres og forvaltes i UTM er det nødvendig med konvertering mellom koordinatsystemene uten at det vil påvirker nøyaktigheten (Skogseth & Norberg, 2014).

2.1.2 Vertikalt datum

For å kunne angi en korrekt høyde for et punkt vil det være avgjørende å ha riktig høydereferansemodell. Høydemodellen blir oppdatert fortløpende med reviderte versjoner, den sist publiserte versjonen per i dag er HREF2018B (Kartverket, 2019). En geoidmodell er høydeforskjellen fra den matematisk beregnede ellipsoidmodellen til høyde over havet. (Kartverket, u.å.).



Figur 3: Endring målt i høyde fra NN1954 til NN2000 i cm (Kartverket, 2018)

I 2011 ble NN2000 introdusert som en erstatning for det gamle vertikale datumet NN1954. Dette er per i dag det offisielle vertikale datumet i Norge. Ettersom jorda hele tiden er i bevegelse og enkelte plasser i Norge heves landet med 5mm i året, er det nødvendig med fortløpende oppdatering. Dette sørger referansemodellene som Kartverket publiserer jevnlig, dette er også veldig viktig at det er en homogen bruk av referansemodellen. Siden NN1954 ble opprettet er det gått over 30 år, dette har ført til en endring på over 30 cm i høyde. Som man kan se ut ifra figur 3 kommer det fram at landhevingene er størst i innlandsregionen (Kartverket, 2018).

2.2 GNSS

Global Navigation Satellite System (GNSS) er en målemetode hvor posisjonsbestemmelse baseres på flere satellitter som går i bane rundt jorden. Satellitten vet til enhver tid

koordinaten på sin posisjon, og ved å regne ut tiden satellittsignalet bruker fra satellitten til satellittmottakeren blir også posisjonen til mottakeren koordinatbestemt. For at målingen skal være av god kvalitet må minimumsantallet på fire satellitter være oppfylt. Dette antallet gjenspeiler korreksjoner for X-aksen, Y-aksen, Z-aksen og klokkefeilen som kan være en feilkilde. Jo flere satellitter som er i bruk under målingen, jo flere overbestemmelser har man (Christophersen, 2015).

Det finnes flere målemetoder for satellittmåling. En av metodene er tradisjonell RTK måling. Her måles det med to mottakere hvor den ene er satt over et kjentpunkt og fungerer som en base, mens den andre brukes som en vanlig GNSS-rover. Disse to kommuniserer slik at roveren får tilsendt GNSS-målinger fra basen. Med denne målemetoden vil man kunne forvente en nøyaktighet på 10-20mm + 2ppm hvor avstanden mellom basen og roveren utgjør ppm faktoren (Kartverket, 2009).

En annen metode er klassisk statistisk måling. Denne målemetoden strekker seg over en lengre tidsperiode mellom 20-120 min. Her plasseres minimum to GNSS mottakere i to forskjellige punkt som måler enkeltvis. I etterkant kan det opprettes vektorer mellom punktene som er med på å bedre nøyaktigheten. forventet nøyaktighet ved denne målemetoden er 5mm + 1ppm (Kartverket, 2009).

2.3 Totalstasjon

Totalstasjon brukes til å måle retningsvinkler, vertikalvinkler og skråavstander. Resultatene blir automatisk lagret med annen relevant opplysning for målingene. En slik definisjon gjør at en kan utelukke at måleverdigene inneholder feil fra menneskelig avlesning og skrivefeil. Bruken av totalstasjonen er avhengig av kjentpunkter. Det vil si at man må etablere flere punkt med kjente koordinater først, deretter kan man for eksempel gjøre en fri oppstilling hvor man gjør sikt til flere kjentpunkt. Et minimumsantall er da tre kjentpunkt, og det er derfor man har behov for flere kjentpunkt (Uren & Price, 2010).

En vanlig måleteknikk med totalstasjon er fortetting hvor man oppretter flere punkter ut ifra de kjentpunktene man allerede har. Disse fortettingspunktet skal holde omtrent samme nøyaktighet som utgangspunktet, men kan bli noe påvirket av målingene. Derfor er det viktig å

gjør flere målinger som også kalles satser. Et ideelt antall er 3 helsatser. I figur 4 kan man se hvordan nøyaktigheten påvirkes under ideelle forhold med en fortetting. Her er det angitt forskjell nøyaktighet ut ifra hvilken prismetype som blir brukt ved målingen.

Accuracy refers to measurements to standard prisms.

Distance measuring mode	std. dev. ISO 17123-4, standard prism	std. dev. ISO 17123-4, tape	Measurement time, typical [s]
Standard	1 mm + 1.5 ppm	3 mm + 2 ppm	2.4
Fast	2 mm + 1.5 ppm	3 mm + 2 ppm	2.0
Continuously	3 mm + 1.5 ppm	3 mm + 2 ppm	< 0.15
Averaging	1 mm + 1.5 ppm	1 mm + 1.5 ppm	-

Figur 4: Leica manual som beskriver nøyaktigheten man kan oppnå med TS 16 (Leica user manual, 2016)

2.4 Nøyaktighet

2.4.1 Relativ nøyaktighet

Relativ nøyaktighet beskriver hvor godt et punkt er bestemt i forhold til ett annet punkt (innbyrdes nøyaktighet). Krav til nøyaktigheten er angitt blant annet i Norsk Standard. Det er den relative bestemmelsen (og den relative nøyaktigheten) som er viktigst ved tekniske målinger (Skogseth & Norberg, 2014)

Den relative nøyaktigheten sier oss altså ingenting om den globale nøyaktigheten, men om størrelsen til diverse objekter og avstand de imellom. For eksempel, hvis en modell av en bygning viser vinduer to meter fra hverandre, og dette er samme avstand som på selve bygningen, har modellen høy relativ nøyaktighet (Pix4D, 2019).

2.4.2 Absolutt nøyaktighet

Absolutt nøyaktighet beskriver hvor gode koordinatene for et punkt er i forhold til koordinatsystemet (T. Skogseth & D. Norberg, 2014)

Absolutt nøyaktighet er definert følgende av statens kartverk:

«nøyaktighet i forhold til en definert geodetisk referanseramme. Altså å plassere ett punkt på dens sanne posisjon på jorden i referanserammen målingene er gjort i. Nøyaktigheten beskrives gjerne som standardavvik, avvik eller lignende.» (Statens Kartverk, 2015)

2.5 Generelt om droner

Drone, også kalt Unmanned Aerial Vehicle (UAV) er et luftfartøy som ikke har en operatør ombord, men flyr autonomt eller via fjernstyring (Yu & Zhang, 2015). Det finnes flere type droner som er egnet til forskjellige type oppgaver, de blir klassifisert etter sin vekt og utforming. For å fly drone kreves det at operatøren har sertifikat og at Luftfartstilsynets bestemmelser er fulgt. I Luftfartstilsynets lov heter det seg at: «Den som overtrer forskrift gitt med hjemmel i denne lov, straffes med bøter eller med fengsel inntil 3 måneder, ...» jf. luftfartsloven § 14-29 (lovdata, 2018).

De forskjellige type droner baserer seg først og fremst på utformingen: fastvingedrone, helikopter og multikopter. Fastvingedrone kan sammenlignes med et fly hvor to vinger er fastmontert. Helikopterdrone er en drone som er inspirert av designet på et helikopter med 1-3 roterende propeller som skaper oppdrift (Sørderholm, 2015). Den siste typen drone heter multikopter og er bygd opp på sammen teknikk som helikopter bortsett fra at det er 4 eller flere roterende propeller (Sørderholm, 2015). Siste innenfor droner er droner med innebygd RTK måling. Dette gjør at bruken av Gound Control Point (GCP) og Check point (CP) vil kunne reduseres og at det dermed blir være tidsbesparende (Willoughby, 2019).

2.5.1 Lovgivning og regelverk for gjeldende deklarasjon

Droner er klassifisert i forskjellige klasser ut ifra dronetype og formålet med flyvningen. De forskjellige klassene skiller også på om flyvningen foregår innenfor Visual Line Of Sight (VLOS) eller utenfor Beyond Line Of Sight (BLOS) synsrekkevidde (Lovdata, 2015). For å utføre de flyvningene som danner datagrunnlaget for denne oppgaven er det kun krav til deklart som RO1-opratør, som er den enkleste deklarasjonsklassen. Dersom dronen veier under 250 gram gjelder egne regler, som ikke vil være av interesse for vår oppgave ettersom begge dronene veier over dette (Luftfartstilsynet, 2016).

Tabell 1: Regelverk for RO1

Regelverk som må oppfylles for RO1 med status for innsamling av oppgavens datagrunnlag

	RO1-krav	DJI Phantom 4 PRO	eBee Classic
Vekt:	Inntil 2,5 kg	1388 g	690 g
Maksimal flyhøyde:	120 meter	70 meter	100 meter
Maksimal hastighet:	30 m/s (108 km/t)	6 m/s (22km/t)	10-11 m/s (36-40 km/t)
Krav til synsrekkevidde:	VLOS	Fullt VLOS	Fullt VLOS
Lyskrav:	Dagslys	Fullt dagslys	Fullt dagslys

Dette er viktig å være oppdater i forkant av flyvningen slik at lovgivning og regelverk blir fulgt. Som det kommer frem av tabell 1 er våre flyvninger gjort til datainnsamling for oppgaven innenfor kravene som stilles til RO1 på alle punkter.

2.5.2 eBee Classic spesifikasjoner

Tecnitop S.A. er den offisielle distributøren av senseFly og kommer fra Spania. Selskap ble etablert i 2009 av et team med robotforskere og ble raskt ledende innen drone kartlegging (tecniTop, u.å.). senseFly utvikler og produserer ultralette og brukervennlige droner. Før selve flyvningen starter blir en flyplan planlagt slik at når dronen blir kastet i luften flyr dronen igjennom flyplanen og tar bildene. Deretter lander dronen på planlagt landingsstripe med en nøyaktighet på omtrent 5m, som også blir planlagt i flyplanen (Geosense, u.å.). Flyfotografering og fotogrammetriteknologien er blitt svært automatisert og sensefly ønsker å nå en bred målgruppe hvor brukerformålet kan være oppmåling, landbruk, GIS, industriell inspeksjon, gruvedrift eller hobbyformål.



Figur 5: eBee Classic (Model airplanes news, 2015)

Tabell 2 : eBee

Grunnleggende fakta om eBee Classic

eBee Classic	
Dronetype	Fastvingedrone
Max. Flytid	50 min
Vekt	690 g (inkl. Batteri)
Pris	150 000 kr
Kamera	S.O.D.A_10.6_5472x3648

eBee Classic er en helt selvstendig og brukervennlig drone for kartlegging. Den brukes til fotografering med høyoppløsning som kan produsere nøyaktige ortomosaiske-kart og 3D-modeller. Dronen kan på en enkel kartleggingsflyvning dekke opp til 12 km². Mens flyvning over mindre områder i lavere flyhøyde kan skaffe bilder med en Ground Sampling Distance (GSD) på inntil 1,5 cm per piksel. Forventet nøyaktighet med bruk av GCP'er på 3 cm i grunnriss og 5cm i høyde, mens uten bruk av GCP'er kan man forvente en nøyaktighet på 1-5 m i høyde og grunnriss. Ellers kan nøyaktigheten på resulterende 3D-modell og ortomosaiske-bilder oppnå en nøyaktighet på omlag 1-3*GSD (sensefly, 2019).

2.5.3 DJI Phantom 4 Pro spesifikasjoner

DJI er et kinesisk registrert foretak som ble etablert av Frank Wang i 2006. Målet deres er å produsere droner av typen multikopter som skal være et billigere (Chiu, 2018). Dronene er selvstyrt og alt som trengs å gjøres er å godkjenne foreslått flyplan for deretter å start dronen. Dette gjør dronene lettanvendelig og er en populær drone til hobbybruk.

Som kommer frem av tabell 3 kan man se at dronene har noe redusert spesifikasjoner i forhold til eBee Classic (DJI, u.å).

Tabell 3: Phantom

Grunnleggende fakta om Phantom

DJI Phantom 4 pro	
Dronetype	Multikopter
Max. Flytid	30 min
Vekt	1388 g ink. Batteri og propeller
Pris	15 000 kr
Kamera	DJI Phantom 4 pro



Figur 6: DJI Phantom 4 Pro (Harvey Norman, u. å.)

2.6 Fotogrammetri

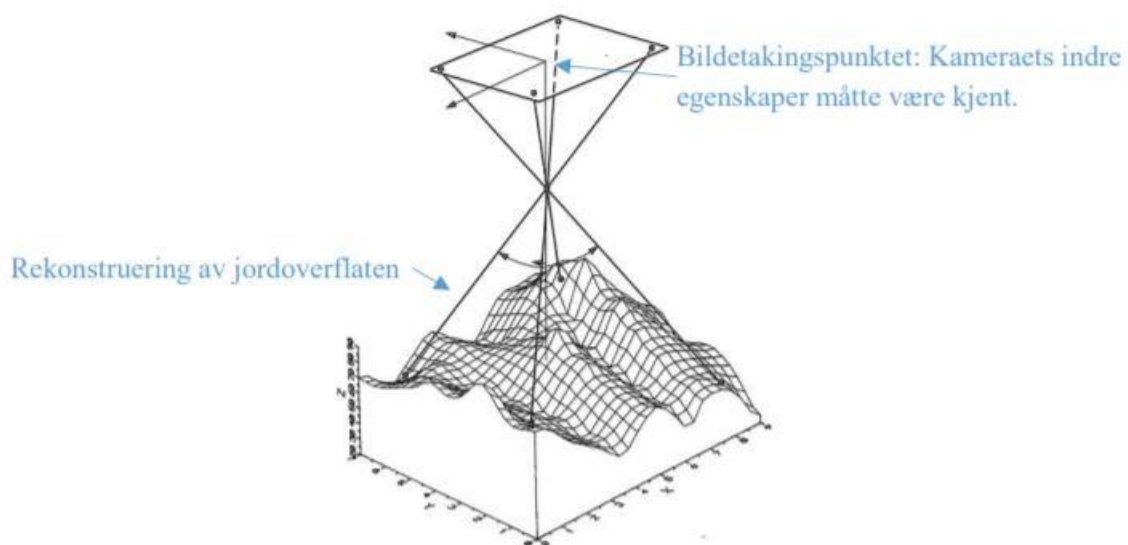
Fotogrammetri er en tradisjonsrik fjernmålingsmetode som i bunn og grunn bygger på fotografi. Allerede i 1859 ble det første forsøket på flybåren fotogrammetri utprøvd, da med luftballong som fartøy. Den gang ble det kun praktisert med enkeltbilde fotogrammetri, og stereosyn ble ikke tatt i bruk før i senere tid. Etersom utviklingen har gått videre er det nå heller ikke behov for å sette sammen fotografiene med manuelt stereoskop, dette er en prosess som gjøres i komplekse programvarer. Resultatet av fotogrammetri kan være koordinatfestet kart eller terrengmodeller av ulike former (Andersen et al., 1991).

Fotogrammetri som en teknikk har innenfor landmålingen hatt stor nytteverdi og vil trolig komme til nytte i flere og flere bransjer. Når det skal gjennomføres masseberegning og kartlegges endringer som er blitt gjort i terrenget er fotogrammetri en ypperlig metode som danner en helhetlig oversikt på en effektiv og billig måte. Ved anleggsprosjekt kan det være

en nytte i å kartlegge fremdriften i prosjektet. Dette vil kunne gjøres med å fly over det aktuelle område, for deretter å sammenligne resultatet med tidligere flyvninger for å se endringene. I gjengrodde områder kan det være større potensiale i å se på eldre bilder fremfor å gjøre en ny flyvning om de eldre bildene kartlegger terrenget bedre. Med utviklingen som er innenfor fotogrammetri skal det ikke mye til før en ny flyvning over terrenget vil være lønnsomt (Norberg, 2012).

2.6.1 Indre Orientering

For å gjenskape hva kameraet fanger i bilde er det en faktor som heter *Indre orientering* som forteller noe om geometrien og fysikken i eksponeringsøyeblikket. Dette gjør det mulig å kunne rekonstruere “strålebunten” som bilde utgjør inne i kameraet. Med dagens digitale kamera er dette automatisert slik at forholdet mellom bildekoordinatsystemet og pixelkoordinatsystemet blir bestemt i programvare ved import av kamerafilen (Larsen, 2007).

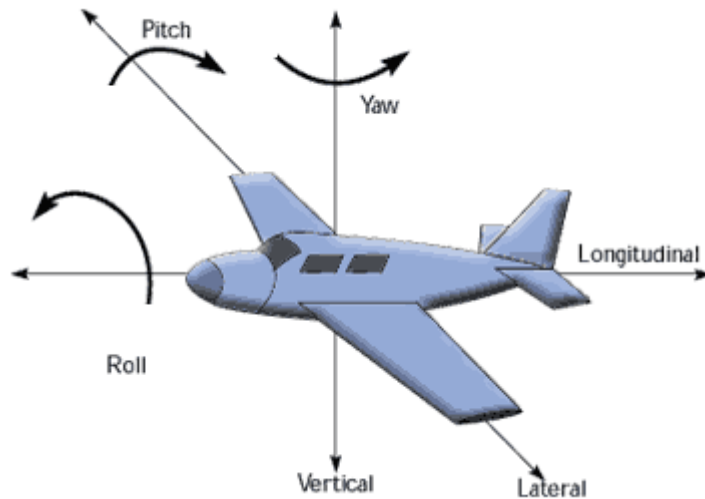


Figur 7: Illustrasjonen som viser tanken med indre orientering (Andersen, 1999).

2.6.2 Ytre orientering

Ytre orientering handler om å finne posisjonen til kameraet i eksponeringsøyeblikket. Dette er nødvendig for å kunne transformere mellom objektkoordinatsystemet og

bildekoordinatsystemet. Ved hjelp av framskjæringsmetodene vil det være mulig å beregne koordinatene for punkt på bakken ved å ha kameraposisjonen kjent (Skogseth & Norberg, 2014). Normalt hvis indre orientering er kjent vil man stå med 6 ukjente i hvert bilde $X_c, Y_c, Z_c, \omega, \varphi$ og κ slik at hvis man skal kombinere 2 bilder vil man stå med 12 ukjente (Larsen, 2007).



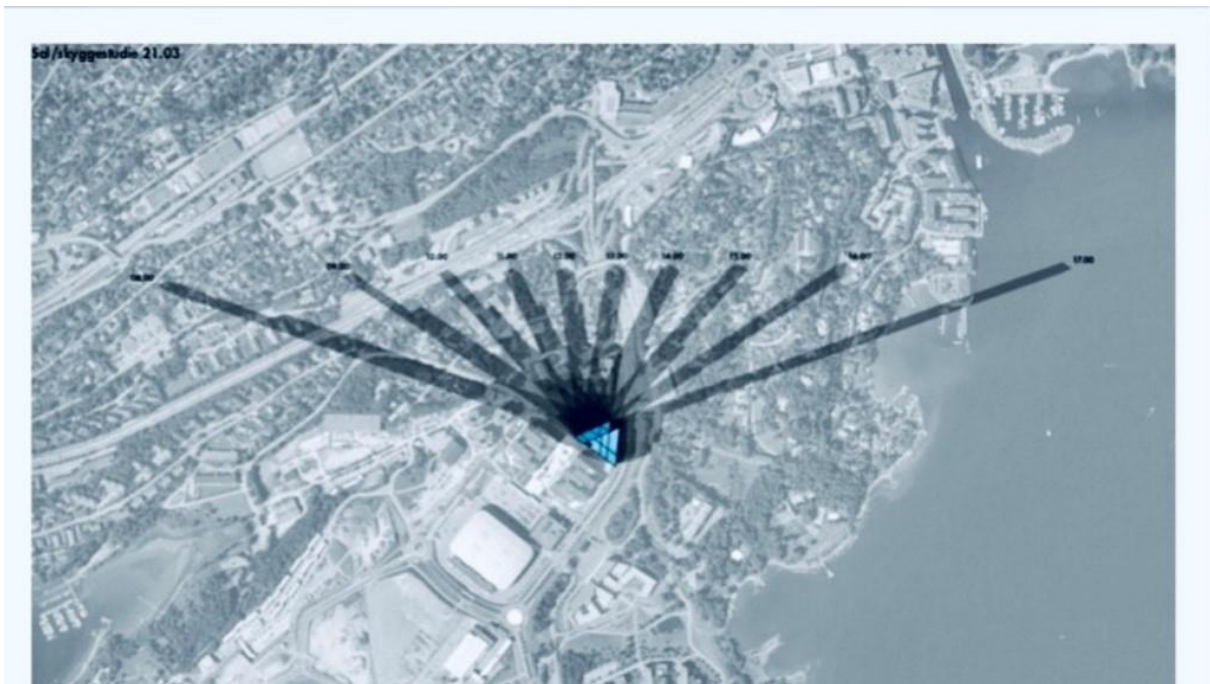
Figur 8: De 6 ukjente som ytre orientering gir (Novatel, u.å)

Det er flere faktorer som er med på å påvirke hvilken kvalitet og nøyaktighet som kan forventes av fotogrammetrien. To faktorer som har en stor påvirkning for hvordan resultatet vil bli er under hvilke forhold flyvningen blir gjort og hvilke spesifikasjoner kameraet som blir brukt har.

2.6.3 Eksterne forhold

Vær og vindforhold har stor påvirkning for hvilken skarphet og kvalitet man vil oppnå i bildene. Derfor bør dette være godt gjennomtenkt og nøye planlagt i forkant av fotografering. Hvilken årstid bildene blir tatt har også stor påvirkningsgrad. Om våren etter at snødekket er smeltet men før løvsprettene vil det være god sikt slik at bakken blir godt kartlagt. Det negative med fotografering om våren er at solen aldri vil stå særlig høyt på himmelen. Dette gjør at det kan bli store kasteskygger som ikke er heldig. Dermed vil det mest optimale være å fotografere nærmest mulig Sankthansaften (midtsommer) for at solen skal stå høyest mulig.

Dette vil igjen gå på bekostning av at gress og blader er godt utviklet og dekker til mye av terrenget. Om det fotograferes om høsten er forholdene lik som på våren. Om man venter til trær har sluppet løvet vil man oppnå bedre sikt, men det vil igjen være en negativ faktor i at solen står lavere på himmelen. Klarheten i luft er også et hensyn som må tas. Er det mye kondens/tåke eller støv i luften vil dette oppleves som støv i bildene. De mest optimale flyforholdene vil være under vår- eller høst-sesongen ved et tynt og høyt skydekke. Da vil det ikke dannes kasteskygger, men bildene vil fortsatt ha mye lys og vegetasjonen er minimal (Norberg, 2012).



Figur 9: Kasteskyggene som bygget "The big blue" på Fornebu ville skapt (Remen & Tomter, 2018).

Kameraets egenskaper vil også være en stor faktor for hvor god kvalitet bildene vil ha. «Et bedre kamera kan ta bedre bilder og derav genereres en tydeligere modell med synligere punkter» (Ladsten, 2017). Faktorer som blenderåpning, ISO og eksponeringstid/lukketid vil da ha stor betydning og er nærmere beskrevet under Kameraspesifikasjoner.

2.6.4 Overlapp og bildesammenføring

Når flere bilder skal sammenføres er man avhengig av en viss overlapp mellom bildene for å kunne knytte de sammen. Det dannes *keypoints* i alle bildene. Matchende keypoints blir til *tiepoints*. Jo flere tiepoints det er, des bedre sammenføring vil det bli mellom

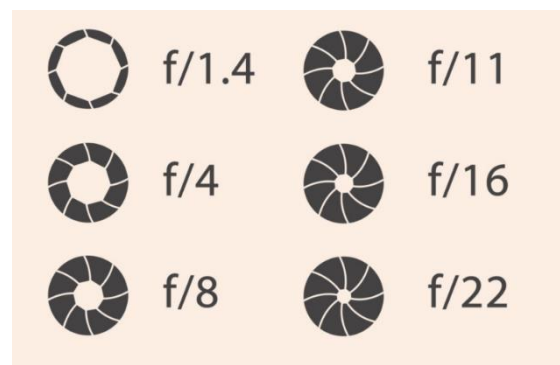
bildene. Hvilken grad av overlapp som er optimalt vil variere i forhold til terrenget og estimert tidsbruk. Om bildene dekker større områder av vann eller snø vil det være vanskelig for programvaren å etablere tiepoints slik at bildene ikke blir sammenføyd på en presis måte. Dette skyldes at det er liten grad av kontrast i snøen eller vannoverflaten (Ladsten, 2017). Overlapp mellom bildene skal heller ikke være for stor, dette vil medføre usikkerhet ved koordinatbestemmelse i det ukjente punktet. Dette utdraget fra boken Grunnleggende landmåling (Skogseth & Norberg, 2014) forklarer konseptet:

«Vi må unngå spisse og stumpe trekanten ved fram- og sideskjæring. Skjæringer mellom to linjer, eller mellom linje og sirkel, er best i likebeinte trekanten, der vinkelen i det ukjente punktet er ca. 100 gon.»

2.7 Kameraspesifikasjoner

Det er enkelte kamerainnstillinger som kan skille mye ved et bilde. Ved dronefotografering blir disse innstillingene tilpasset best mulig fortløpende under bildeserien. Den første faktoren er ISO og er en benevnelse for hvor lysfølsomt kameraet vil være under eksponeringstiden. Dette hjelper med å få fram detaljer i bildet selv om at det er i mørke omgivelser. Det er anbefalt å ikke gå over 800 ISO til vanlig ettersom at det da vil gjøre bildene

kornete (Sørensen foto, u.å.). Blønderåpning bestemmer hvor mye lys som kommer igjennom kameralinsen og treffer kamerasensoren. Innstillingen er beskrevet med en «f» etterfulgt av et tall hvor jo høyere tallet er des mindre er åpningen og des mindre lys slipper igjennom (Benediktsson, 2019). Lukketid er den siste faktoren som bestemmer eksponeringen. Denne faktoren avgjør hvor lenge sensoren i kameraet blir eksponert, altså hvor lenge bilde blir tatt. Om ting er i bevegelse i bilde som det for eksempel er ved fotografering med drone er det lurt å ha en kort eksponeringstid. Benevnelsen er oppgitt som brøkdeler av et sekund (Olsen, 2016).



Figur 10: Illustrasjon av hvordan blønderåpningsfunksjonen påvirket kameraet (Nimt, 2017)

2.7.1 senseFly S.O.D.A

senseFly S.O.D.A. er kameraet som originalt sitter i eBee Classic og er det første kameraet som er bygd for profesjonell dronefotogrammetrisk arbeid (senseFly, 2018). Her settes kameraet direkte inn i dronene slik at bildene alltid vil bli tatt vinkelrett ut fra dronen og det er ingen gyro-styring eller gimbal-sensor, derfor baseres det på pitch-, roll- og yaw-vinklene. Det er også et innebygd støv- og støtbeskytter for å kunne ta skrape bilder også over mer utfordrende terreng.

Kameraet bygger på en Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS)-sensor og kan levere bilder med en størrelse på 5472x3648 pixel og med en ground sampling distance på 1,5cm/pixel kan bildene blir veldig detaljerte. Med Exposure-funksjonen blir lystonen i bilde bestemt slik at kameraet tilpasser seg etter mørket eller lyset (Parrot Business Solutions, 2018).

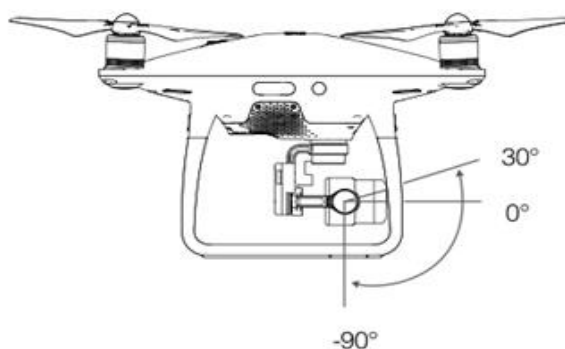
Tabell 4: senseFly S.O.D.A

Overskriftstabell for senseFly S.O.D.A hvor de aktuelle faktorene beskrives

SenseFly S.O.D.A.	
Lukketid	1/500 – 1/2000s
ISO	100 – 9000
Blenderåpning	f/ 2,8 – 11
Sensor	CMOS 1''

2.7.2 DJI Phantom 4 pro kamera

Phantom 4 pro kamera bruker CMOS-sensor til å lagre bilder med en størrelse på opptil 4096x2160pixel. Det er også mulig å koble til en mobilenhet slik at man kan overvåke kameraet live. Ved hjelp av micro SD-kort som maksimalt kan ha en kapasitet på 128 GB blir bildene hurtig lest og lagret (DJI support, 2017).



Figur 11: DJI Phantom 4 Pro kamera (DJI user manual, 2017)

Kameraet har en *gimbal plattform* som er en 3-akset stabil rotor som gjør at kameraet kan vinkles rundt. Dette gjør at dødvinkler og kasteskygger kan minimeres i kupert terreng eller tettbygde områder. Denne rotoren kan vinkle kameraet innenfor en vinkel på 120 grader som figur 11 anviser (DJI support, 2017).

2.7.3 CCD-sensor mot CMOS-sensor

De kameraene som er beskrevet over er bygget opp med en CMOS 1'' sensor. Det blir lagt my vekt på at kameraene som benyttes i droner skal være lette og bruke minimalt med strøm. I stedet for film har et digitalkamera en sensor som konverterer lys til elektriske ladninger (Nice, Wilson & Gurevich, 2006).

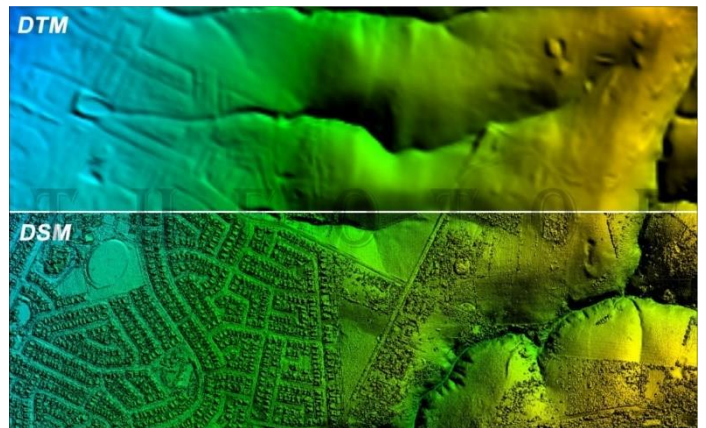
Bildesensoren som brukes i de fleste digitale kameraer er Charge Coupled Device (CCD), men i droner er (CMOS) foretrukket. Både CCD og CMOS kamera-sensorer konverterer lys til elektroner (Nice, Wilson & Gurevich, 2006).

-En CCD-sensor transporterer elektroner ved hjelp av en analog to digital converter (ADC). Da blir hver pixel endret til en digital verdi ved å måle mengden elektroder i hvert pixel. Denne sensoren er ofte brukt for å unngå støy i bildene og skaper dermed høyere kvalitet i hvert enkelt pixel (Nice, Wilson & Gurevich, 2006).

-CMOS-sensor bruker flere transistorer på hver pixel for å forsterke og flytte elektronene. Dette gjør prosessen mer effektiv ettersom at. I tillegg er denne metoden mye mer strømsparende, faktisk så mye som 100 ganger mer besparende. Dette gjør at denne sensoren er mer attraktiv for kamera til dronebruk (Nice, Wilson & Gurevich, 2006).

2.8 DTM mot DSM

Digital Surface Model (DSM) er en prosessert terrengmodell som er et resultat av fotogrammetrien. Modellen er beskrevet med X-, Y- og Z-koordinat og inneholder alt av detaljer som hus, biler og trær. Om man ser på en Digital Terrain Model (DTM) er den bygd opp på samme måte. Det som skiller disse to terrengmodellene er at i



Figur 12: DTM modellen har en glatt overflate, mens ved DSM-modellen inneholder overflaten mange objekter (Singh, 2016)

en Digital Terrain Model er terrengoverflaten renses slik at alt av objekter blir filtrert bort. Dette gjør at man kun sitter igjen med terrengoverflaten og naturlige elementer som for eksempel elver. Disse modellene er ofte veldig komplekse og tunge å jobbe med ettersom at de inneholder store mengder data, men har en stor nytteverdi innenfor ingeniørfaget (Singh, 2016).

2.9 Referansedata

2.9.1 LIDAR

LIDAR er en optisk fjernmålingsteknikk som brukes til hurtig måling av fysiske objekters posisjon. Ved å måle tidsforskjellen eller endringer i bølgefase mellom ett emittert lasersignal og ett reflektert lys kan avstanden til og andre egenskaper ved objekter beregnes. Ordet LIDAR er et ord sammensatt av ordene «light» og «radar», men blir feilaktig ofte ansett som en forkortelse for **L**ight **D**etection **A**nd **R**anging (Wikipedia, 2019).

Flybåren Lidar fungerer ved at man sender laserpuls fra laserskanneren som er montert på farkosten. Tiden beregnes fra pulsen blir sendt til terrenget og til den kommer tilbake, ved kalkulering av tid som skjer i selve laserskanneren blir verdien beregnet. Det vil si at da får man en 3D-koordinat i et punkt, en laserskanner måler store mengder punkt i sekundet. INS registrerer dreiningsvinkler (rotasjon av de tre aksene) og kombinert med GPS vil skannerens nøyaktige posisjon og stilling være kjent til enhver tid (Norberg 2012).

2.9.2 TIN-modell

For å lage en TIN-modell må man ha en punktsky som er laget med bland annet en laserskanner. TIN-modell representerer en overflate som ett sett av sammenhengende trekanter, og ikke overlappende trekanter, innenfor hver trekant er en overflate som er representert av et plan.

Delaunays triangulering er en proksimal metode som tilfredsstiller kravet om at en sirkel lages gjennom tre noder, og innen de tre nodene skal ingen annen node befinne seg.

Triangulering er en prosess av nettgenerering som oftest brukes på data som ikke krever noen regionale gjennomsnitt, for eksempel høydeavlesninger. Overflaten skapt av triangulering som passerer gjennom alle de opprinnelige datapunktene (Statens vegvesen, 2012)

2.10 Pix4D

Pix4D er en programvare ment til å bearbeide bilder og sammenføre det slik at det blir en best mulig fremvisning eller 3D-modell. Som nevnt tidligere ble fotogrammetri praktisert med manuelt stereoskop før, dette vil det ikke være behov for med bruk av en programvare slik som Pix4D. Når bildene importeres inn i programvaren vil det automatisk bli beregnet en *GSD*. Dette blir kalkulert ut ifra sensorbredden på kameraet, brennvidde, flyhøyde og bildestørrelsen. Denne beskriver hvor stor flate i terrenget som dekkes av et pixel i bilde (Dick, 2019). *GSD*-verdien kan også si noe om hvilken nøyaktighet som kan forventes. Ved å multiplisere *GSD*-verdien med 1-2 vil man ha en grov angivelse av hva som kan forventes i grunnriss. Mens om man multipliserer med 1-3 vil det gi en pekepinn på høyden (Pix4D support, 2018).

Når rådataen blir importert inn i pix4d er det flere faktorer som kan legges til grunn for å oppnå ett mer fullstendig og nøyaktig resultat, men dette går som regel på bekostning av tidsbruken. *GCP* er punkter som hjelper med å georeferere fotogrammetrimodellen. Det gjøres ved at *GCP*-innmålingene markeres i terrenget og er synlig i bildene. Dette er også viktig å ha en god geometri innad i *GCP*'ene slik at de er spredt i prosjektområdet og at de ikke kun korrigerer i en akse. Et minimumsantall av *GCP* for at det skal være til hjelp for georeferering er 3 *GCP*'er, dette er også for å oppnå en god geometri (Elmore, 2019). *CP* er punkter som i likhet med *GCP* er målt inn i terrenget. Forskjellen er at en *CP* er uavhengig fra modellen og vil derfor kunne fungere som et kontrollpunkt for å se forskjell på det virkelige terrenget og modellen (Pix4D support, u.å.). Ut ifra bilde blir det opprettet flere 2D-punkt, for eksempel med et 14 MP kamera vil et bilde bestå av mellom 5000-50000 2D-punkter som også kalles *Keypoint* (Choucroun, 2018). Mens *keypoints* beregnes ut ifra hvert enkelt bilde er *Tiepoints* et resultat av *keypoint* gjenkjent i andre bilder. Dette gjør at jo flere *keypoints* som blir opprettet i et bilde jo flere *tiepoints* vil bli generert som fellespunkt. Dette gjør videre at bildene i modellen vil ha en bedre sammenheng (Martin, 2019). Ved hjelp av å sette en *Image Scale* defineres en bildestørrelse som avgjør hvor mange *keypoints* som blir opprettet i hvert bilde (Pix4D support, 2018). Jo flere *keypoints* det er jo flere punkter har programvaren å knytte bildene sammen og finne matcher, dette resulterer i en bedre sammenføydd modell (Pix4D support, 2017). Som et resultat av dataprosesseringen blir det beregnet en verdi, *Root Mean Square (RMS) Error*. Denne verdien beskriver forskjellen mellom et punkt målt i terrenget mot samme punkt i den genererte modellen (Pix4D support, 2015).

3 Metode

3.1 Forskningsmetodikk

Valg av forskningsmetodikk skal være med å skape en struktur i hvordan oppbyggingen av innhenting, organisering og tolking av informasjonen blir gjort (Larsen, 2010).

Forskningsmetoden må derfor avklares tidlig i prosessen slik at alt arbeid har en lik struktur. Når forskningsmetoden er bestemt skal det bevisstgjøre leseren om hvilke rammer oppgaven vil følge for hvordan analyser av oppgavens informasjon blir formet. Dette vil bevisstgjøre leseren om grunnlaget for besvarelse av problemstillingen (Olsson, 2011).

3.2 Komparativ systemanalyse

Den valgte forskningsmetoden for vår oppgave er *Komparativ systemanalyse*. Dette er en metode som blir godt beskrevet av tabell 5 og som egner seg godt til forskning hvor caser skal settes opp mot hverandre og sammenlignes. Som tabell 5 viser, inneholder denne metoden få caser som i vårt tilfelle vil beskrive dronene, som i antall er to. Videre beskriver figuren også analysenivået til ett, beskrevet som makroenheter. Dette er de variablene vi har valgt å sette som sammenligningsgrunnlag: Image Scale, GCP, tidsbruk og datamengde.

Forskningsmetoden er ofte beskrevet med en historisk dimensjon, men i vårt tilfelle er det en nåtidig komparativ systemanalyse (Ringdal, 2018).

Tabell 5: Forskningsmetode

Tabellbeskrivelse av forskningsmetoden for denne oppgaven bygge på (Ringdal,2018)

Analysenivåer	Antall caser (kontekster)		
	En	Få	Mange
Ett nivå: Makro (Mikro)	Unike caser (1) implisitt komparativ design (2)	Komparativ systemanalyse (3)	Kvantitativ analyse av aggregert statistikk (5)
To nivå: Mikro og Makro		Komparativ survey-analyse (4)	Flernivåanalyse (6)

3.3 Det studerte området

Det studerte prosjektområdet vi har fokusert på er lokalisert på nordsiden av Skarpsnotunellen i Moelv og har et areal på omlag 65000m² målt med Phantom og

150000 m² med eBee. I prosjektområdet er det stor variasjon i terrenget både i høyde og i vegetasjon, dette gir utfordringer for dronen med å gi skarpe bilder av hele området. Spesielt når det er flere forskjellige typer objekter og utforminger i prosjektområdet. Det er også veier med forskjellig type dimensjoner og dekke i det avgrensede området. E6 som går mellom Hamar og Moelv ligger midt i det prosjekterte området, mens det også er mindre adkomstveier til boligfelt

med grusdekke. Objekter som bolighus og anleggsmaskiner er også med i prosjektområdet. I tillegg er det også en “kulvert” i prosjektområdet og tunnelåpningen i nordenden av Skarpsnotunellen. Ellers er terrenget dekket av noe skog og jordbruksareal.

Bakgrunnen for valg av prosjektområdet var noe tilfeldig, men bestemt av Veidekke med krav til området at det måtte inneholde noen grunnlagspunkt. Dette for å kunne se forskjell på bruken av de to forskjellige GCP-typene. Det var også avgjørende at området var avsperrert for trafikk under flyvningen ettersom at det ble utført anleggsarbeid ved og rundt tunnelåpningen. Dette begrenset mengden støy i bildene som ble tatt under flyvningene. Ellers inneholdte prosjektområdet flere forskjellige variasjoner som ville gi forskjellige utfordringer.

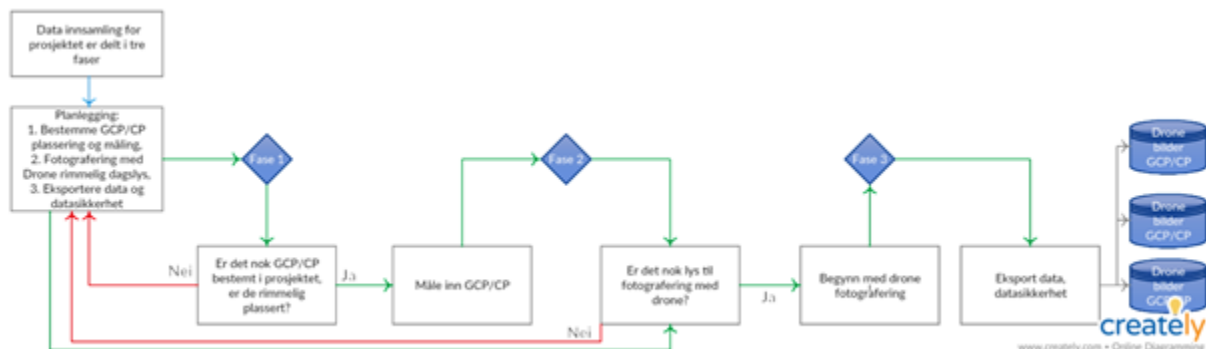
3.4 Innsamling av data

Før en slik datainnsamling skal gjøres er det viktig med en strukturert plan på hvordan dette skal gjennomføres. Vi var ikke med i planleggingen av området og innmåling av GCP, men vi



Figur 13: Oversiktsbilde over prosjektområdet

vil vise med illustrasjonen i figur 14 hvordan gangen med forskjellige faser og krav som må være oppfylt for å gå videre.



Figur 14: Modellen beskriver de forskjellige fasene av innsamlingen av datagrunnlaget.

Når prosjektområdet var bestemt var neste oppgave å forberede overflyvningen, da måtte GCP'er markeres. Her hadde allerede Veidekke vært ute å målt inn og markert totalt 17 GCP'er, hvor 3 av disse var pilarer som var en del av grunnlagsnettet for hele E6-prosjektet. Når GCP'ene skulle plasseres i terrenget ble det fokusert på at de skulle ha en spredt geometri i tillegg var det viktig å plassere dem på solid og fast grunn slik at det var minst mulig bevegelse. En av de 17 GCP'ene ble ubrukelig ettersom at anleggstrafikken ved prosjektet hadde kjørt over slik at spraymalingen var slitt bort som man kan se på figur 15. Når GCP'ene ble målt inn ble dette gjort på to forskjellige metoder.



Figur 15: Spraymaling som er slitt bort

Tabell 6: RTK målte GCP

Alle RTK målte GCP`er med tilhørende koordinat og standardavvik

Navn	X - koordinat	Y - koordinat	Z - koordinat	Standardavvik
GCP1	1324934,549	57593,339	151,686	0,012
GCP2	1324933,898	57584,653	151,071	0,009
GCP2	1324882,536	57538,273	155,364	0,016
GCP4	1324879,171	57533,138	155,297	0,012
GCP5	1324876,071	57503,457	146,782	0,016
GCP6	1324884,756	57498,442	146,638	0,013
GCP7	1324952,139	57461,027	145,798	0,013
GCP8	1324968,264	57450,967	145,598	0,011
GCP9	1324988,101	57438,703	145,446	0,010
GCP10	1324943,108	57411,276	138,815	0,016
GCP11	1324889,584	57383,176	139,750	0,011
GCP12	1324871,001	57416,722	141,592	0,011
GCP13	1325003,657	57524,596	145,382	0,012
GCP14	1324977,484	57541,302	147,304	0,009

Den ene metoden var med tradisjonell RTK måling hvor det punktet ble spraymerket direkte på bakken. Disse GCP`ene ble logget med GNSS rover i 5-10 sekunder med et intervall på 1 sek mellom målingene, deretter ble målingene midlet. Resultatet med tilhørende standardavvik kan sees i tabell 6.

Den andre innmålingsmetoden av GCP er målt på lik måte som grunnlagsnettpunktene i prosjektet. Disse er målt med statisk logging for deretter å ha blitt fortettet med totalstasjon og 3 utførte helsatser. Grunnlagsnettpunktene er inngjerdede pilarer som har fått påmontert en markør på for å kunne se den tydelig i bildene. Etersom at pilarene er målt inn med totalstasjon er det forventet en bedre nøyaktighet på disse punktene, dette er noe vi vil undersøke nærmere i analysekapittelet.

Når disse forberedelsene var gjennomført kunne vi gå videre til fase 2 hvor selve datainnsamlingen skulle utføres. Da måtte det gjøres en vurdering på om flyforholdene var akseptabel.



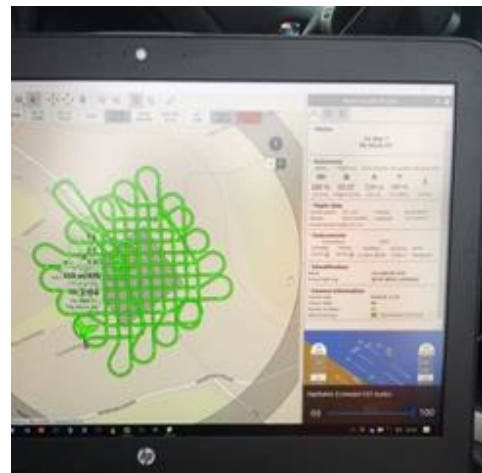
Figur 16: Grunnlagsnettpunkt med påmontert markør



Figur 17: RTK målt punkt spraymalt direkte på bakken

3.5 Flyplan

eBee benytter eMotion programvare for planlegging fra take off til landingen, mens Phantom bruker Pix4D Capture. Det første som ble planlagt var landingsposisjonen så det burde avklares om det fins noen landingsområde som egner seg. eBee krevde et større område enn hva Phantom gjorde. Dette er fordi eBee'en komme inn for landing med en høyere hastighet. Veibanen til E6 ble en naturlig landingsstripe i vårt prosjektområde. Phantom-dronen er som nevnt tidligere et multikopter og trenger derfor ikke like stort areal på landingsområdet.



Figur 18: Flyplanlegger til eBee

Prosjektområdet ble også avgrenset i flyplanen hvor prosjektområdet til Phantom var 65 000m², mens det for eBee var 150 000m². Deretter ble det still inn flyhøyde og overlapp. Dette skilte noe ettersom at kameraet til eBee kan gi bedre kvalitet og kan derfor fly på en høyere flyhøyde. Det ble flydd 3 flyvninger med hver drone, og mellom hver flyvning ble dronen tatt ned for å skifte batteri for å unngå at dronene måtte nødlande.



Figur 19: Flyplanlegger til Phantom

Her starter planleggingen med å definere landingsposisjon. Dette er fordi første prioritet er at dronen har en plass den kan lande trygt. Om området for eksempel inneholder en åpen slette, velges det en større landingssone. Dette er for å kunne ta bedre hensyn til vindstyrke, vindretning. Det optimale er om landingen skjer direkte mot vindretningen.

3.5.1 Flyforhold

Droneflyvningene som danner datagrunnlaget for denne oppgaven ble gjennomført den 14. november 2018. som man kan se ut av figur 20 lå temperaturen mellom 3-4 pluss grader med vind på 1-3 meter per sekund. Som nevnt i teorikapittelet er det fare for lavt sollys ved høstsesongen, men denne dagen lå det et tynt, høyt skydekke som gjorde lysforholdene ideelle. Droneflyvningen ble startet kl 11:14 og ble avsluttet omlag kl 16:00. det ble totalt gjennomført 6 flyvninger, 3 med hver drone.

I dag 14. november				
Tid	Varsel	Temp.	Nedber	Vind
13	☁	3°		3 ↘
14	☁	3°		3 ↘
15	☁	4°		2 ↘
16	☁	3°		1 ↗
17	☁	3°		1 ↗
18	☁	3°		1 ↗
19	☁	3°		1 ↗
20	☁	3°	0,0-0,1 mm	1 ↗
21	☁	3°	0,1-0,2 mm	1 ↗

Figur 20: Væroversikt hentet fra yr.no dagen for flyvning

3.6 Eksport av rådata

Når data skulle eksporteres fra dronen var det to forskjellige måter å gjøre dette på. Ved Phantom-dronen var det et SD-kort hvor all dataen ble lagret på fortløpende under flyvningen. Slik at eksport av dataen for Phantom ble gjort via et SD-kortet og satte i pc'en. Ved eBee var man avhengig av en overføringskabel slik at bilder og ble paret med droneposisjonen.

Når dataen var eksportert ut fra dronene ønsket vi å ha en sikkerhetskopi av all rådata. Dette gjorde vi slik som figur 14 beskriver. Vi lagret dataen på tre forskjellige eksterne harddisker slik at om en skulle være uheldig å slette noe ville dataen ligge på en av de andre harddiskene. Ettersom vi har prosessert dataen i programvare har vi lagret kvalitetsrapportene fortløpende på minnepenn slik at vi ikke risikerer at noe skulle forsvinne ettersom at de pc'ene som er brukt er felles.

3.7 Bearbeiding av måledata

3.7.1 Dataspesifikasjoner

Tabell 7: PC spesifikasjoner

Spesifikasjoner til PC brukt til prosessering. Faktor i tidsbruk for prosessering.

Merke og type	Alienware Aurora R7
Proseszor	Intel® Core™ i7-8700 CPU, 3.20 GHz, 6 Cores, 12 logical processor
RAM	32 GB
System	Windows 10 Education, 64-bit
Lagringskapasitet	1.8 Terabyte
Skjermkort (GPU)	GeForce GTX 1080 Ti

Steg 1: Viktigste komponent: CPU. Medium bruk av GPU.

Steg 2: Viktigste komponenter: CPU og RAM

Steg 3: Viktigste komponent: Lagringskapasitet og hurtig harddisk som definerer prosesseringsfarten, type SSD.

Ray cloud/punktsky: Viktigste komponent GPU (Kilde Pix4 D)

3.7.2 Innstillinger og valg i Pix4D

Før vi starter prosesseringen av bildene må vi ta noen valg for å definere rammene for prosesseringen. De viktigste justerbare parameterne vi forholder oss til er GCP, CP, standardavvik, keypoint image scale, punktsky og koordinatsystem. En del innstillinger er automatiske i form av hvilke dronedata som lastes inn, som kameratype, ISO, oppløsning, flyhøyde, overlapp mellom bildene og geolokasjon som kommer gjennom informasjonen i blandt annet EXIF bildeformatet.

I Pix4D (versjon 4.3.31) starter man med å definere koordinatsystem og datum. Vi velger koordinatsystemet GCP`ene er målt inn i, som er det lokale systemet EUREF 32, NTM 11. Bildene for den enkelte flyvning lastes inn. Varierende i antall fra 179 til 183 bilder med eBee, og fra 235 til 238 ned DJI Phantom. Det har blitt kjørt 2 ulike varianter med 1/1 og 1/4 image scale. I delen der vi tester nøyaktigheten til dronene har vi valgt 1/1 og 1/4 som en del av vår test av arbeidsflyt/tid. Sistnevnte sett opp mot hvilken nøyaktighet vi oppnår med en raskere prosessering som lavere image scale gir. Hvis man har ett kamera på 20 MP så gir image scale 1/1 akkurat dette, og kjører man Image Scale på 1/4 så vil bildet bli behandlet som ett 1,25 mega pixel bilde for å kalkulere keypoints. I visse scenario kan 1/2 image scale være en foretrukket løsning, for eksempel i terreng med mye vegetasjon hvor blader kan flytte på seg grunnet vind. Programvaren er bygd opp i å tolke keypoints i hver enkelt pixel. Om det oppleves at ett keypoint flytter på seg fra bilde til bilde grunnet at for eksempel blader flytter på seg, kan programvaren få vansker med å sammenstille bildet på korrekt måte og muligheten for feil øker. I området er det både tett vegetasjon og solid bakke i

våre bilder men gode fly og -lysforhold. Målet om best mulig nøyaktighet og pålitelighet i prosjektet gjør at valget ble 1/1.

Innledende prosessering (steg1) er det noen valg for å finne de rette parametere for prosjektet. Det har blitt valgt full (slow) prosessering og valgt mønstret flyvningen er gjort i, som hjelper algoritmene i programvaren med sammenstillingen av bildene.

I første gangs prosesseringen av steg 1 starter det med å lage keypoints, for deretter å knytte/gjenkjenne disse punktene som dukker opp i nærliggende og overlappende bilder som da blir definert som tiepoints. Så skjer sammenstillingen av bildene samt den eksakte geometriske topologien av 3D punktskyen. Brukes for å kalibrere bildet og jo flere bilder man har med samme tiepoint, jo mer pålitelig er det at punktet er rett lokalisert. Dette defineres som: automatic tiepoint cloud.

Etter første prosessering er gjennomført importerer man inn koordinatene til GCP`ene hvor standardavvik for horisontal og vertikalt er satt til default som er 20 mm. Man går så inn i RayCloud og markerer GCP i bildene. Hver er GCP markert på 8 til 10 ulike bilder. Det er hensiktsmessig å spre GCP`er rundt om i prosjektområdet, fordi da har programmet flere bilder med koordinater å feste seg opp mot som bedrer orienteringen, samt at prosesseringen går raskere. Lokasjonen til CP`ene er med fordelaktig plassert spredd rundt i prosjektområdet. Måten man kan vekte de ulike GCP i forhold til kvaliteten i bildene er zoom nivået (Pix4D support) Man kan altså zoom inn på de klareste bildene og algoritmen til Pix4d vil ta hensyn til dette å vekte deretter. Samme prosedyre gjøres med Checkpoints. Etter at begge typer er markert skal det gjøres en re optimalisering som påvirker de interne og eksterne kameraparameterne.

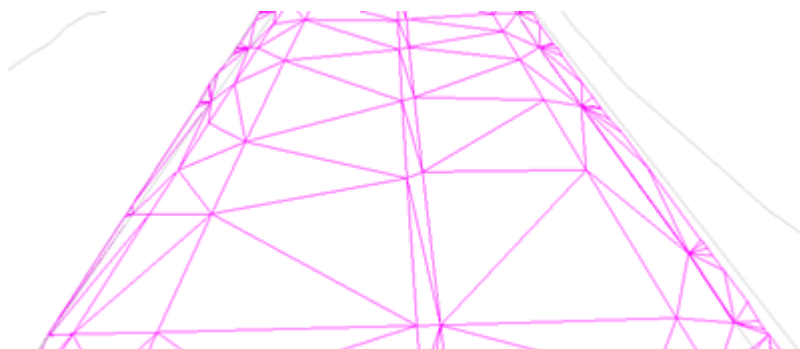
Steg 2 kalles "Point Cloud and Mesh". Her gjør programvaren en fortetting av punktskyen, som betyr at man fyller inn hullene fra automatic tiepoint cloud for å skape en mer realistisk rekonstruksjon av punktskyen. Flere punkter gir mer detaljer og dermed mer nøyaktighet i punktskyen. Forskjellen mellom 1/1 og 1/4 er 16 ganger flere punkter.

Steg 3 kalles «Digital Surface Model (DSM), Orthomosaic and Index». Her kan man få ut en DSM i 2 formater. En raster GeoTIFF eller vektor punktsky. Vi har valgt vektor punktsky med Las filformat som har en X, Y, Z og fargeinformasjon per punkt.

Når de 3 stegene er ferdig prosessert så genereres det en kvalitetsrapport som gir resultatene for hver enkelt del.

3.7.3 Geometrisk kontroll i Gemini

For å utføre en geometrisk kontroll av dronedataen å teste absolutt nøyaktighet var vi avhengig av noe form for referansedata. Vi valgt å avgrense et område som besto av veibanen til E6.

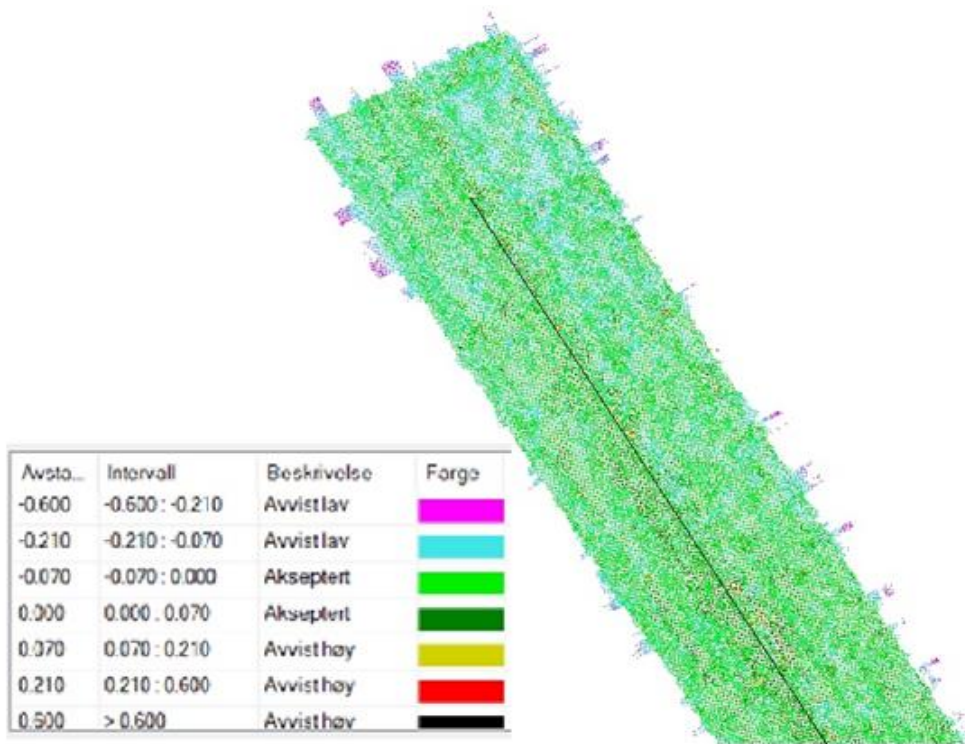


Figur 21: Eks på uttynnet TIN modell hvor man tydelig kan se at punktene modellen bygger på ligger langs kantlinjene og senterlinjen av veien.

Dette ble bestemt ettersom at vi hadde generert en punktsky av typen DSM av drone flyvningen, og for å kunne sammenligne dette med en DTM var det fordelaktig med fast grunn og åpent terreng. Vår referanse var en punktsky som Veidekke hadde målt inn i 2016 knyttet til oppstart av prosjektet. Geometrisk kontroll gjøres med en TIN-modell sett mot en punktsky. Derfor genererte vi en TIN modell av punktskyen vi hadde fått som skulle brukes som referansemodell.

Av referansedataen tegnet vi opp ett polygon som ble satt til beregningskontur slik at grunnlaget skulle være likt for begge dronene. Selv om polygone var av lik størrelse var punktmengden forskjellig. Den aktuelle punktskyen til eBee hadde totalt 191 505 punkt, mens punktskyen til Phantom med samme avgrensninger hadde 724 617 punkt.

Når den geometriske kontrollen skulle utføres måtte det settes ett toleransekrav for hvor langt ifra referansedataen modellen kunne være før det ble ansett som avvist. Vi valgte å sette toleransekravet til 7 cm slik at store deler av punktskyen ble akseptert. Figur 22 viser et heatmap med tilhørende fargebeskrivelse av de forskjellige klassene. Heatmap gir en god beskrivelse på hvor i polygone de aksepterte og avviste punktene ligger. Dette kan gi et godt bilde for om enkelte områder er spesielt dårlig.



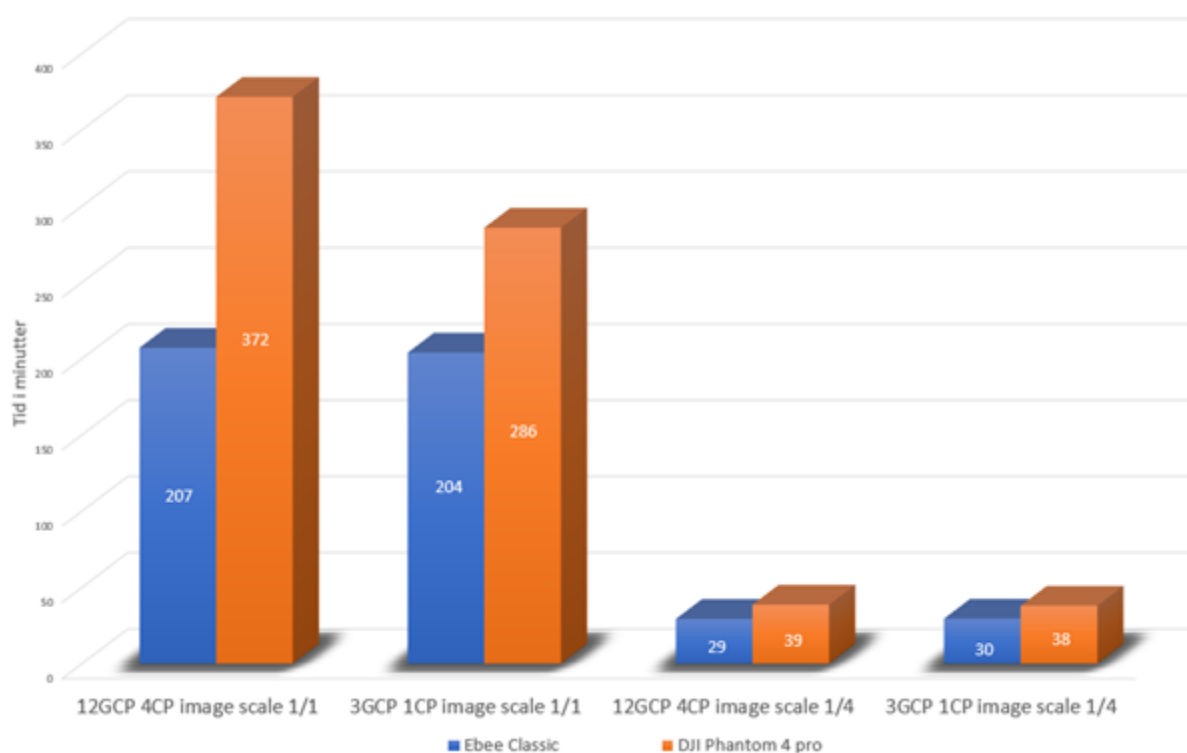
Figur 22: Utdrag av område vist som Heatmap med forklaring av toleransegrenser

Når det var kjørt geometrisk kontroll av de datasettene vi ønsket, begynte vi å se på forskjeller mellom resultatene drone mot drone.

4 Resultat/Analyse

I dette kapittelet vil vi presentere våre resultater som skal være med på å underbygge vår problemstilling. Vi vil belyse det med å sammenligne kvalitetsrapportene, teste absolutt nøyaktighet med geometrisk kontroll, se tidsbruk med antall GCP'er, prosesseringsalternativer og vurdere usikkerhetene.

4.1 Tidsbruk



Figur 23: En sammenligning av prosesseringstiden mellom de forskjellige dronene og innstillinger satt i programvaren. Alle tidsbenedelsene er beregnet som et gjennomsnitt av alle tre flyvningene for å ha et godt nok datagrunnlag

Tabell 8: Prosesseringstid

Ettersom rådataen ble importert gjennom en minnepenn ønsker vi å teste tidsforskjellen mellom import av data med minnepenn, mot det å ha det lagret på lokal harddisk. Dette ble utført med samme datasettet (Eb_1_3GCP_1CP_1-1 Scale) og med identiske programvareinnstillinger.

Prosesseringstid	
Minnepenn	3t 3min 46sek
Lokal harddisk	3t 11min 15sek
Differanse	7min 29sek

Tabell 9: Sammenlåsning av datasett

Her er en framvisning av datasett flydd med eBee og Phantom som skal vise påvirkningen av mengden data. En rad som representerer alle flyvningene fra samme drone og en rad med en enkel flyvning. Som

12GCP/4CP Image scale1/1	RMS Error X	RMS Error Y	RMS Error Z
Phantom flyvning 1, 2 og 3	0,003583	0,010045	0,034854
Phantom 1. Flyvning	0,006086	0,005076	0,005442
Sammenligning:	-0,002503	0,004969	0,029412
eBee flyvning 1, 2 og 3	0,004770	0,013822	0,034398
eBee 3. flyvning	0,002054	0,010533	0,010577
Sammenligning:	0,002716	0,003289	0,023821

sammenligningsfaktor er RMS Error brukt.

4.2 Relativ nøyaktighet

Tabell 10: Checkpoint RMSE i X

Alle tre flyvningene med tilhørende checkpoint RMS Error i X satt opp mot hverandre. Under er det også beregnet ett snitt for hver drone.

Datsett med: 12GCP/4CP Image scale 1/1	RMS Error X(m)	Datsett med 12GCP/4CP Image scale 1/1	RMS Error X(m)
eBee 1. flyvning	0,007132	Phantom 1. flyvning	0,006086
eBee 2. flyvning	0,005603	Phantom 2. flyvning	0,000373
eBee 3. flyvning	0,002054	Phantom 3. flyvning	0,003441
Snitt av RMS Error	0,0049297	Snitt av RMS Error	0,0033

Tabell 11: Checkpoint RMSE i Y

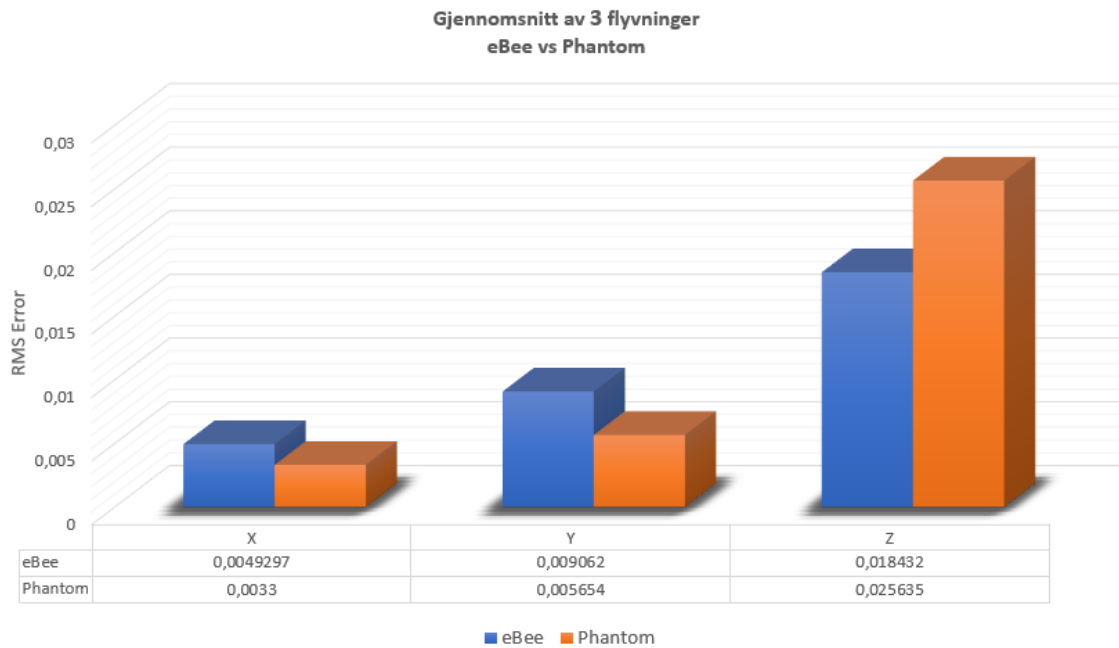
Alle tre flyvningene med tilhørende checkpoint RMS Error i Y satt opp mot hverandre. Under er det også beregnet et snitt for hver drone.

Datsett med: 12GCP/4CP Image scale 1/1	RMS Error Y (m)	Datsett med 12GCP/4CP Image scale 1/1	RMS Error Y (m)
eBee 1. flyvning	0,005220	Phantom 1. flyvning	0,005165
eBee 2. flyvning	0,011434	Phantom 2. flyvning	0,004582
eBee 3. flyvning	0,010533	Phantom 3. flyvning	0,007216
Snitt av RMS Error	0,009062	Snitt av RMS Error	0,005654

Tabell 12: Checkpoint RMSE i Z

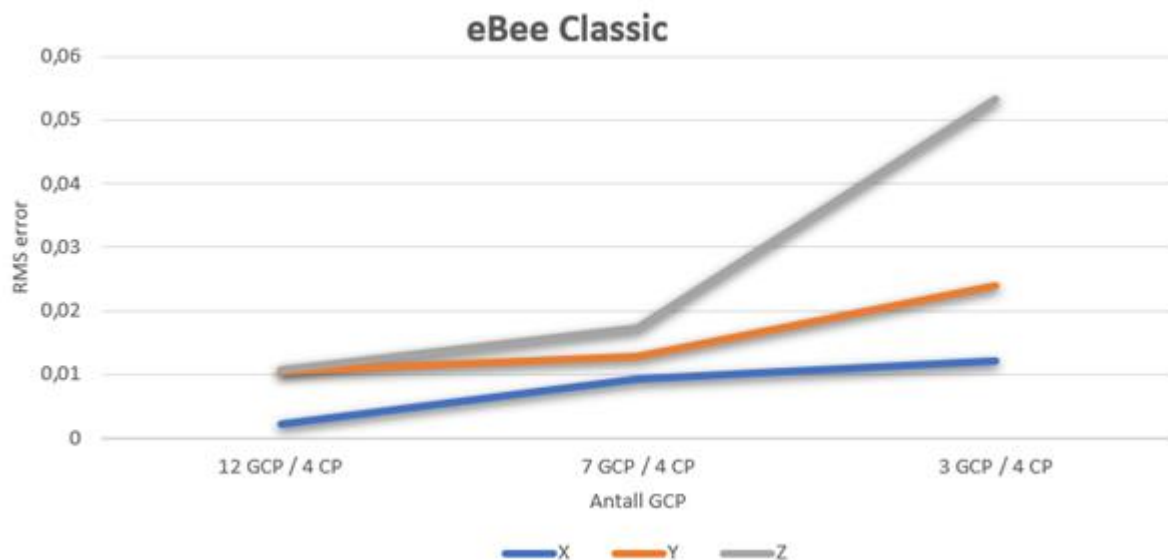
Alle tre flyvningene med tilhørende checkpoint RMS Error i Z satt opp mot hverandre. Under er det også beregnet et snitt for hver drone.

Datsett med: 12GCP/4CP Image scale 1/1	RMS Error Z (m)	Datsett med 12GCP/4CP Image scale 1/1	RMS Error Z (m)
eBee 1. flyvning	0,027161	Phantom 1. flyvning	0,018528
eBee 2. flyvning	0,017558	Phantom 2. flyvning	0,029537
eBee 3. flyvning	0,010577	Phantom 3. flyvning	0,028840
Snitt av RMS Error	0,018432	Snitt av RMS Error	0,025635

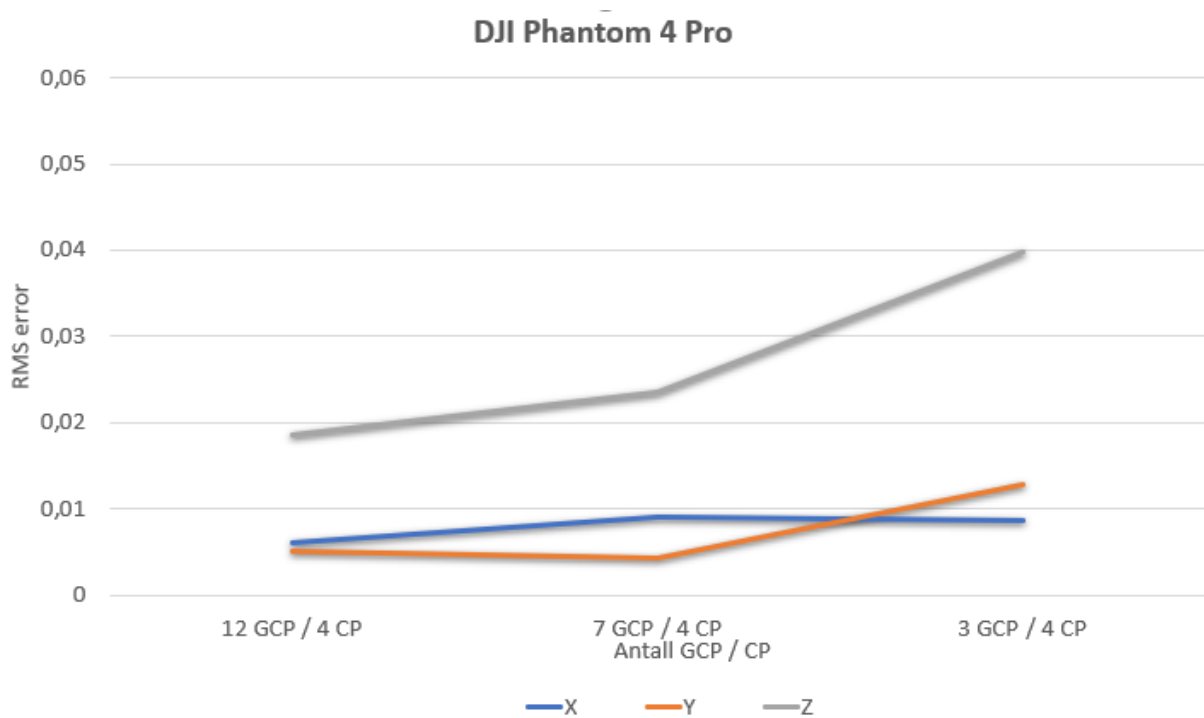


Figur 24: Diagrammet viser gjennomsnittlig RMS Error i X, Y og Z. Separert for å gi indikasjon hvor den største forskjellen ligger. Vi kan se at det gir klart mest utslag i Z, både i verdi og dronene seg imellom.

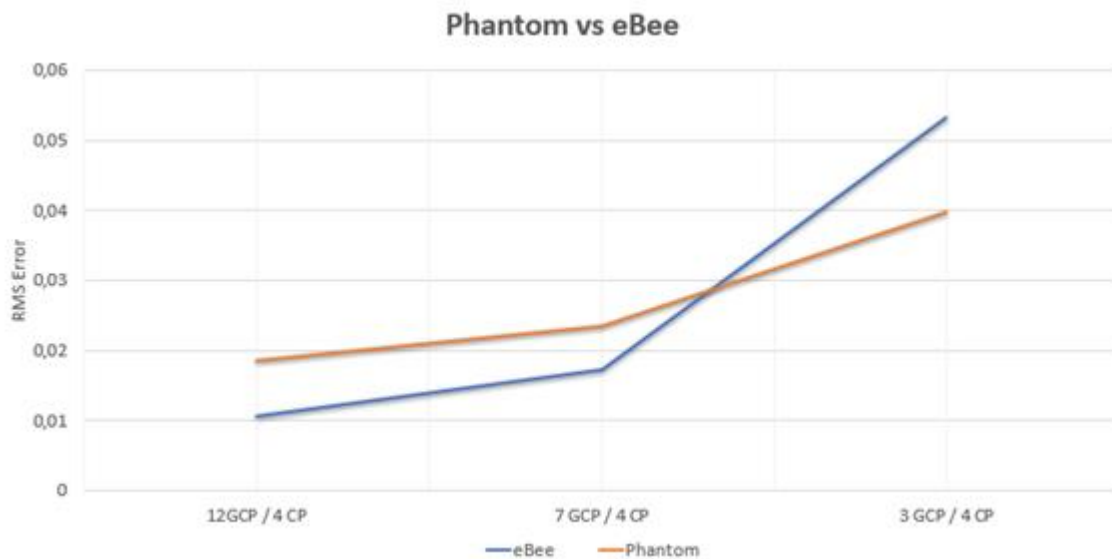
4.3 GCP Antall



Figur 23: Grafen viser hvordan antall GCP påvirker RMS Error for eBee. I X- og Y-retning øker grafen svakt, men relativt stabilt i forhold til hverandre. Z-retningen er den som gir mest utslag og øker markant med bruk av 3 GCP.



Figur 24: Grafen viser hvordan antall GCP påvirker RMS Error for Phantom. I likhet med eBee øker også her grafen svakt i X- og Y-retning, men relativt stabilt i forhold til hverandre. Z-retning er den som også her gir mest utslag og øker markant med bruk av 3 GCP.



Figur 25: Ettersom at RMS Error i Z-retning skiller seg ut viser denne figuren påvirkningen av antall GCP drone mot drone.

Tabell 13: RMSE påvirkning av ulik GCP

Prosjektet består av to typer GCP. Her er nøyaktigheten til de forskjellige typene sammenlignet basert på et gjennomsnitt av RMS Error for de forskjellige punktene som er satt som CP. Det er brukt de to flyvningene som er antatt å være de som har best nøyaktighet fra de forskjellige dronene.

Nøyaktighet på grunnlagsnettsøyle mot RTK målte punkt sett på RMS Error (m)		
12 GCP / 4CP Image scale1-1	RTK målt punkt	Grunnlagsnettsøyle
eBee 3. flyvning		
Grunnriss	0,011683	0,009070
Høyde	0,016660	0,018600
Phantom 1. Flyvning		
Grunnriss	0,004244	0,006790
Høyde	0,019019	0,008200
Begge dronene slått sammen:		
Grunnriss	0,007963	0,007930
Høyde	0,017840	0,013400

Grunnriss : $0,007963 - 0,007930 = 0,000033 \text{ m} \rightarrow 0,033 \text{ mm}$

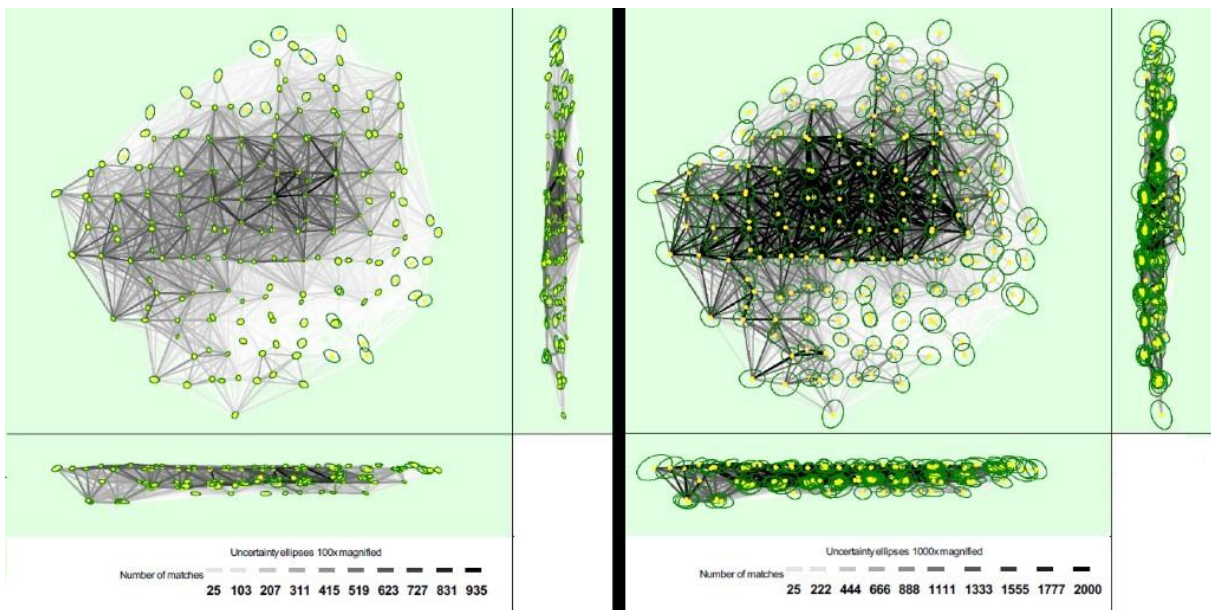
Høyde : $0,017840 - 0,013400 = 0,00444 \text{ m} \rightarrow 4,44 \text{ mm}$

Figur 26: Differanser av RMS Error når eBee og Phantom er slått sammen sett RTK punkt mot Grunnlagsnettsøyle.

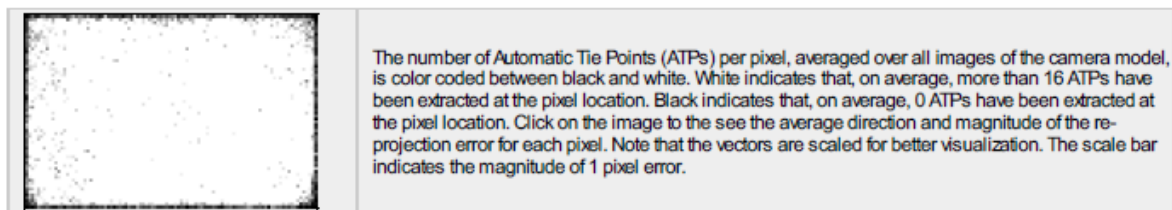
4.4 Image Scale



Figur 27: Ved å sette image scale lavere blir det som nevnt tidligere opprettet færre keypoints, dette gjør at flere bilder blir ukalibrert. Bildet over er ett tilfelle som ikke ble kalibrert ved lavere image scale.



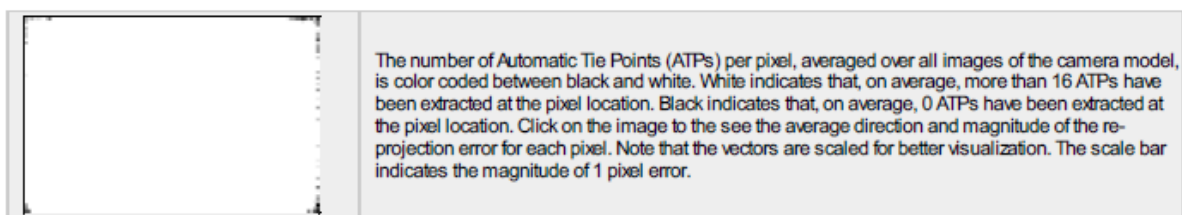
Figur 28: Hentet fra kvalitetsrapporten til eBee 3. flyvning med 12 GCP'er og 4 CP. Bildet til venstre er det brukt 1/4, til høyre er det brukt 1/1. De gule prikkene er kameraposisjoner. Linjene i figuren viser hvor mange keypoints de to bildene har felles. På skalaen under ser man antall keypoints fargeangivelsene indikerer.



2D Keypoints Table

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	6235	1704
Mn	5414	198
Max	7916	3325
Mean	6313	1639

Figur 29: Fremvisning av prosjektområdet med 1/4 image scale hvor hvit farge indikerer verdier over gjennomsnittet med tiepoints. Jo mørkere farge jo lavere antall tiepoints. Helt svart indikerer null tiepoints. Under er en tabell som viser antallet keypoints og antall matchede keypoints. Dette er gitt i snitt, minimum, maksimalt og en median av alle bildene.



2D Keypoints Table

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	53508	7808
Mn	23010	191
Max	79052	25008
Mean	53987	9310

Figur 30: Fremvisning av prosjektområdet med 1/1 image scale hvor hvit farge indikerer verdi over gjennomsnittet med tiepoints. Jo mørkere farge jo lavere antall tiepoints. Helt svart indikerer null tiepoints. Under er en tabell som viser antallet keypoints og antall matchede keypoints. Dette er gitt i snitt, minimum, maksimalt og en median av alle bildene.

Tabell 14: RMSE snitt ved eBee

Ett snitt av alle 3 flyvningene til eBee. Det er skilt mellom RMS Error i X, Y og Z og hvilken Image scale som er brukt. I siste kolonne er snittverdiene satt mot hverandre for å se differansen.

eBee	RMS Error ved Image scale 1/4	RMS Error ved Image scale 1/1	1/4 vs 1/1:
X	0,008573667	0,0049297	0,003643967
Y	0,007794667	0,009062	-0,001267333
Z	0,0134547	0,018432	-0,0049773

Tabell 15: RMSE snitt ved Phantom

Ett snitt av alle 3 flyvningene til Phantom. Det er skilt mellom RMS Error i X, Y og Z og hvilken Image scale som er brukt. I siste kolonne er snittverdiene satt mot hverandre for å se differansen.

Phantom	RMS Error med Image scale 1/4	RMS Error med Image scale 1/1	1/4 vs 1/1:
X	0,007946	0,0033	0,004646
Y	0,007264	0,005654	0,00161
Z	0,029217	0,025635	0,003582

4.5 Påvirkning av forskjellig standardavvik

Tabell 16: RMSE med individuell std.avvik mot default med Phantom

Endringen i RMS Error ved at standardavviket for GCP'ene ble satt til individuell. Sammenligningen er gjort på samme datasett fra Phantom slik at det kun er standardavviket som påvirker endringen i nøyaktigheten.

Phantom 1. flyvning	RMS Error X	RMS Error Y	RMS Error Z
Individuelt std.avvik	0,004914	0,004307	0,023453
Default std.avvik	0,006086	0,005165	0,018528
Default - Individuelt:	0,001172	0,000858	-0,004925

Tabell 17: RMSE med individuell std.avvik mot default eBee

Endringen i RMS Error ved at standardavviket for GCP'ene ble satt til individuell. Sammenligningen er gjort på samme datasett fra eBee slik at det kun er standardavviket som påvirker endringen i nøyaktigheten.

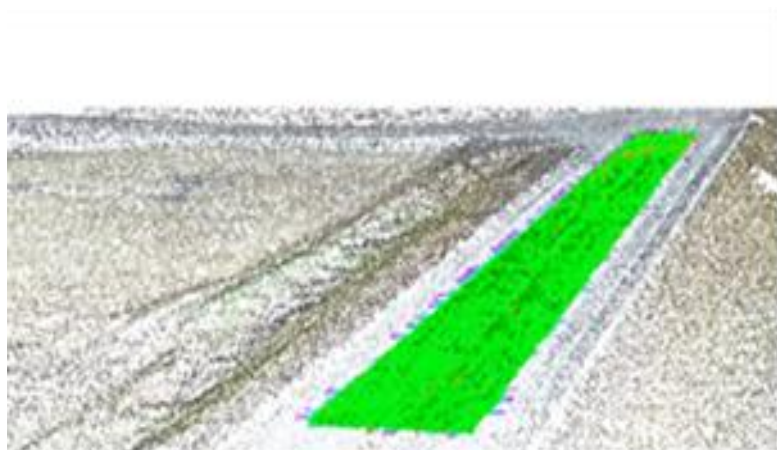
eBee 3. flyvning	RMS Error X	RMS Error Y	RMS Error Z
Individuelt std.avvik	0,007928	0,0146	0,030913
Default std.avvik	0,011383	0,006095	0,02515
Default - Individuelt:	0,003455	-0,008505	-0,005763

4.6 Geometrisk kontroll

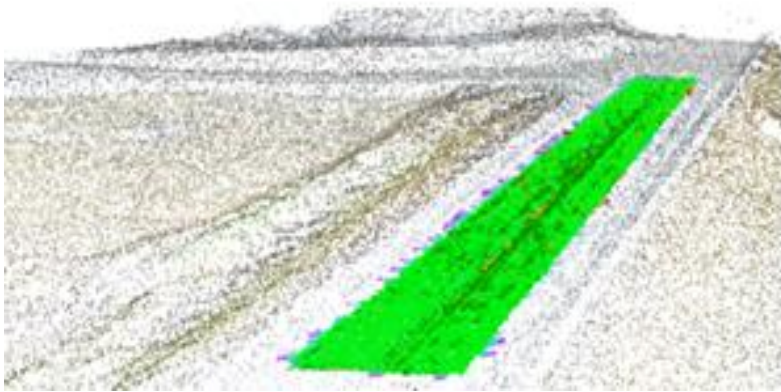
Tabell 18: Geometrisk kontroll i prosent

Resultatet av geometrisk kontroll presentert for hver enkelt drone. Det er også tatt med avvist prosentandel for lav og høy. I siste kolonne er det gjort en sammenligning hvor differansene mellom Phantom og eBee kommer frem.

Default std.avvik 1/1	Phantom	eBee	Differanse
Akseptert (%)	86,754	78,614	8,14
Avvist lav (%)	13,22	21,17	-7,95
Avvist høy (%)	0,026	0,216	-0,19



Figur 31: Grønt området viser resultatet av geometrisk kontroll for Phantom mot referansedataen.



Figur 32: Grønt området viser resultatet av geometrisk kontroll for eBee mot referansedataen



Figur 33: Denne tverrprofilen viser TIN-modellen (markert med blå) og punktskymmodellene til eBee og Phantom. TIN-modellen ligger hele veien lavere enn hva punktskyene gjør.

Tabell 19: Geometrisk kontroll av eBee med individuell og default std.avvik

Geometrisk kontroll av punktskyen som ble generert fra 3. flyvning av eBee med default satt standardavvik, men også for samme datasett med standardavvik satt individuelt. Dette er en sammenligning for å se påvirkningen av standardavvik i absolutt nøyaktighet.

eBee	Default standardavvik	Individuelt standardavvik	Differansen
Akseptert (%)	78,614	78,500	0.114
Avvist lav (%)	21,170	21,280	-0.11
Avvist høy (%)	0,216	0,219	-0.003

Tabell 20: Geometrisk kontroll av Phantom med individuell og default std.avvik

Geometrisk kontroll av punktskyen som ble generert fra 1. flyvning av eBee med default satt standardavvik, men også for samme datasett med standardavvik satt individuelt. Dette er en sammenligning for å se påvirkningen av standardavvik i absolutt nøyaktighet.

Phantom	Default standardavvik	Individuelt standardavvik	Differansen
Akseptert (%)	86.754	85.662	1.092
Avvist lav (%)	13.220	14.230	-1.01
Avvist høy (%)	0.026	0.108	-0.082

5 Diskusjon

I dette kapitlet vil vi diskutere våre funn gjort gjennom vår analyse og teste troverdigheten til resultatene ved å vurdere eventuelle usikkerheter i datainnsamlingen og prosesseringen. Vi vil gå nærmere inn på å forklare årsaker til funnene våre, og sette det i sammenheng sett mot den presenterte teorien. Gangen i dette kapitlet er bygget på problemstillingen som er sammenligning av to forskjellige dronene med absolutt nøyaktighet og tidsforbruk som faktorer.

5.1 Datainnsamling

Utformingen av selve måleopplegget, som nevnt i metoden ble gjort av Veidekke. Basert på sine erfaringer ble flyhøyde valgt og antall GCP'er målt. Flyforholdene var ideelle for fotogrammetri med lite vind på 1-3 m/s og overskyet slik at det ikke ble skygge i bildene. Forholdene holdt seg slik gjennom hele dagen så alle flyvningene fikk omtrent samme forhold og kan dermed sammenlignes på like premisser. Dette gjenspeiles av bildene og den forholdsvis lille variasjonen vi fikk mellom datasettene tabell 10, 11 og 12. Før vi gikk i gang med analysen ble vi rådet av vår eksterne veileder om å fokusere på nøyaktighet i Z-planet. Det er der den største variansen ligger grunnet blant annet i usikkerheten i høydemålinger gjort med GNSS. Dette ble også bekreftet ved figur 24. Vi ser 2 måter å gjennomføre en studie av nøyaktighet på med våre forutsetninger. En måte er å beregne en snittverdi av datasettene, andre måten er å finne det beste datasettet å undersøke derfra. Vår referansedata er en TIN-modell og den skal sjekkes mot punktsky. Vi har testet å kjøre alle datasettene til hver enkelt drone hver for seg og prosessert de som en, dette øker RMS error noe vi tror kommer av fram- og side-skjæringsmetoden som er nærmere beskrevet under fotogrammetri i teorikapitlet. Derfor er det tatt den mest nøyaktige modellen fra hver av dronene for videre analyse.

5.2 Relativ nøyaktighet

Som beskrevet tidligere har vi ett datagrunnlag med flere flyvninger av hver drone, dette gjorde at vi hadde et godt datagrunnlag som underbygget sammenligningene våre. I tabell 10, 11 og 12 har vi satt opp alle flyvningene med like programinnstillinger som vi mener vil gi best resultater. Sammenligningen baseres på faktoren RMS Error. Det kommer fram av tabellene at de største feilene og forskjellene ligger i Z-planet, derfor er figur 24 satt opp for å illustrere differansen av gjennomsnittet i de forskjellige planene. Her kan man se at Phantom er bedre i X- og Y-retning, og eBee best i Z.

5.3 Antall GCP

Antallet GCP'er vil være med å påvirke både nøyaktighet og tidsforbruk i det totale bilde, men vi har valgt å fokusere mest på nøyaktigheten og hvordan antallet påvirker RMS Error. Teorien sier at nøyaktigheten vil øke i tråd med flere GCP'er. Dette for at man da vil ha flere punkter som modellen kan tilpasse seg etter. Det er også påpekt i teorikapittelet at et akseptabelt minimumsantall av GCP'er er 3. Derfor har vi valgt å gjøre analyser ut ifra bruk av 3, 7 og 12 GCP'er med andre programinnstillinger uendret.

Ettersom at dette studie først og fremst vil se etter forskjeller mellom eBee mot Phantom har vi også her valgt å analysere disse til en viss grad hver for seg. Det skal også nevnes at ved disse analysene er det gjort sammenligninger av de flyvningene som vi kom frem til at var de beste ut ifra RMS Error. Derfor er eBee 3. flyvning og Phantoms 1. flyvning valgt som sammenligning. I figur 23 ser man hvordan antallet GCP'er har påvirket RMS Error for eBee. Til venstre i grafen hvor det er brukt 12 GCP'er er RMS Error i alle plan lik, eller under 1 cm. Ved bruk av 7 GCP er det en svak økning, mens når det er prosessert med 3 GCP'er har RMS Error for Z steget betraktelig. Ved figur 24 hvor det samme illustreres for Phantom er nøyaktigheten noe dårligere i Z-plan ved bruk av 12 GCP'er, men grafen har grovt sett en lik utforming som eBee. Grafen har en svak stigning mot 7 GCP'er, men knekker opp og øker en god del ved bruk av 3 GCP'er.

Z-planet er det som har størst differanser, det er også det vi har blitt rådet til å fokusere mest på. Derfor har vi i figur 25 satt opp grafene fra de to respektive dronene for å se hvordan grafene utformer seg sett opp mot hverandre. eBee har den laveste RMS Error ved bruk av 12

og 7 GCP'er, men så øker RMS Error for eBee drastisk. Dette gjør at ved bruk av 3 GCP'er er det Phantom som oppnår den beste RMS Error.

I prosjektet var det også to forskjellige typer GCP'er. Den ene var målt inn med tradisjonell GNSS måling, mens den andre var grunnlagsnettsøyler som det var montert markør på. Disse har i utgangspunktet forskjellig nøyaktighet og vi ville analysere hvordan dette påvirket resultatet. Derfor satte vi noen som CP og så på RMS Error de imellom. Tabell 13 beskriver beregnet nøyaktighet. Beregningene er basert på 3. flyvning av eBee og 1. flyvning av Phantom hvor det er skilt mellom grunnriss og høyde. Det er flere usikkerhetsmomenter som vi antar at kan ha en påvirkning på resultatet. Første faktor er at markørene som ble påmontert på grunnlagsnettsøylene hadde et kryss hvor stripene var 5 cm brede. Dette gjør at krysspunktet i midten av markøren har et areal på 10 cm², noe som gir rom for at markeringen i programvare kan bli unøyaktig. At søylene står 1,5m opp fra terrengoverflaten kan også påvirke nøyaktigheten i høyden. Om bildematerialet er noe tynt kan det føre til at modellen ikke får tilpasset seg etter høyden på toppsøyle, men heller beregner det til terrenghøyde. Da vil RMS Error for punktet bli misvisende og feil. Datagrunnlaget er heller ikke veldig stort for disse beregningene med 1 grunnlagsnettpunkt og 3 RTK målte punkt. Ved å slå eBee og Phantom sammen blir grunnlaget noe større. Når punktene for begge dronene er slått sammen skiller det ikke stort, se figur 26. I grunnriss er forskjellen på 0,0033mm, mens den i høyde ligger på 4,44mm.

5.4 Image scale

Image scale er en innstilling som definerer bildestørrelsen slik at ved valg av lavere image scale blir det dannet færre keypoints. Dette påvirker helheten og sammenføyingen av modellen. Ser man på figur 28 som er en illustrasjon som beskriver antallet tiepoints, har bilde til høyre en bedre helhet. Des mørkere linjen er, des flere tiepoints har bildene. Ettersom at modellene i figur 28 kun skiller image scale får man et godt inntrykk av forskjellen innstillingen utgjør. Når det i tillegg dannes færre keypoints som kan knytte bildene sammen, er det risiko for at bilder som har få keypoints blir klassifisert som ukalibrert. Dette gjør at datagrunnlaget minimeres, som igjen vil gjøre at man har mindre kontroll.

Figur 27 er eksempel på et bilde som ved 1/1 image scale blir kalibrert, mens ved 1/4 blir det ukalibrert. Figur 29 og 30 viser et snitt, max og min av antall keypoints som er dannet per bilde. Det er med bruk at 1/1 opprettet nesten 9 ganger så mange keypoints per bilde som ved 1/4 i snitt. Alle disse figurene og beregningene tilsier at man opererer med en mindre kontroll ved lavere image scale, som også teorien tilsier. Om man ser på RMS Error sett mellom de to forskjellige innstillingene som tabell 14 og 15 viser, skiller ikke nøyaktigheten stort. eBee er faktisk bedre i Y- og Z-plan ved bruk av 1/4 image scale.

5.5 Tidsbruk

De forskjellige datasettene og programinnstillingene utgjorde forskjeller på tidsbruken. Når vi analyserer forskjellene av tidsbruken vil vi først og fremst se på prosesseringstiden. Men vi er klar over at antallet GCP'er, flyhøyde og overlapp er faktorer som også har en indirekte påvirkning på tiden. Ut ifra figur 23 ser man at det er store forskjeller mellom dronene og programinnstillingene. Vi har valgt å beregne tiden på et snitt av alle flyvningene med samme programinnstillingene for å bruke et størst mulig datagrunnlag og dermed oppnå et mer troverdig resultat.

Når vi begynte vår dataprosessering ble dette gjort med direkte import av rådata via minnepenn. Utover prosesseringen begynte vi å spekulere i om dette kunne utgjøre en negativ forskjell i forhold til tidsbruken av prosesseringen. Derfor testet vi dette med å laste over samme bildegrunnlag til lokal harddisk på samme PC, for deretter å prosessere med samme programinnstillinger. Som tabell 8 viser skiller det ca 7 minutter hvor prosesseringen var raskere med rådata fra minnepenn. I tillegg ville det også tatt tid å overføre all rådata til lokal harddisk. Dermed holdt vi fast på vår metode.

Ved å sammenligne tidsforskjellen mellom dronene sett mot hverandre, vil man med et snitt av alle 4 søylene fra figur 23 få en differanse på: $183,75 - 117,5 = 66,25\text{min}$. Dette tilsvarer at eBee er 1 time og 6 min raskere enn Phantom i ren prosesseringstid. Dette kommer trolig av at Phantom har ett større bildegrunnlag. Som nevnt i metodekapittelet er det avgrensede området over dobbelt så stort hos eBee som med Phantom. Dette er også en faktor som er med å underbygge at eBee er mer effektiv drone for datainnsamling.

En annen faktor som tidligere er analysert med fokus på nøyaktighet er image scale. Image scale påvirker også tidsbruken i stor grad. Med ett snitt av de 4 søylene fra figur 23 som representerer 1/4 image scale mot de 4 som representerer 1/1 får vi en forskjell på 3 timer 53 minutter.

5.6 Påvirkning av forskjellig standardavvik

Underveis i prosesseringen oppdaget vi at verdien for standardavvik var satt til default på 20 mm i X, Y og Z. Ikke som individuelle standardavvik slik koordinatene på kontrollpunktene var målt inn. Det er 14 GCP'er målt inn med GNSS hvor standardavvik varierer fra 9-16 mm, og 4 stk målt med Totalstasjon hvor std er 1mm. Defaultverdien kontra individuelle std avvik er det ikke mye som skiller når man bruker fotogrammetri som målemetode. Vi valgte derfor å gjøre en test der vi kjørte 2 datasett på nytt med individuelle std avvik for å se virkningen av dette. Her har vi gjort en sammenligning både i Pix4D og med Geometrisk kontroll, se tabell 16 og tabell 17. Som vi ser av tabellene så bidrar endringen til at RMS minker med ca 5 mm i vertikalt plan for både eBee og Phantom. Dette tilsier oss at endringen som skjer er omtrentlig det samme. Vertikalt plan er det vi har fokus på, og vi kan argumentere med at så lenge datasettene har blitt behandlet likt vil kvaliteten i bildene per enkelt drone peke på hvor godt den matcher med den virkelige verden og dermed nøyaktigheten. Ettersom at oppgaven har flere tema, anser vi undersøkelsene av arbeidsflyt i prosesseringen med default-verdier som representative. Dette da standardavvik ikke påvirker de faktorene vi har satt for å definere arbeidsflyt i avgjørende grad. I delen der vi undersøker nøyaktigheten har vi brukt individuelle standardavvik for å unngå å gi det den lille ekstra usikkerheten ett høyere standardavvik gir, da vi ønsker så optimale resultater vi kan få.

5.7 Geometrisk kontroll

Ved å gjøre en geometrisk kontroll kan man sjekke en punktsky opp mot en TIN-modell som i vårt tilfelle er referansedataen. Vi gjorde en geometrisk kontroll av punktskyen fra de to beste datasettene, ett fra eBee og ett fra Phantom. Målet vårt med denne kontrollen var ikke nødvendigvis å sjekke den absolutte nøyaktigheten, men for å se forskjell mellom de to dronene opp mot referansemodellen. Det ble totalt kjørt 4 analyser av geometrisk kontroll, to med default satte standardavvik på GCP'ene og to med individuelle. Dette ble gjort for å se påvirkningene på resultatet med endring av standardavvik. Likt for alle analysene var at toleransekravet ble satt til 7 cm. Det er flere faktorer knyttet til den geometriske kontrollen som vi tror har en påvirkning, men som vi ikke har eller kunnet endre på. Først og fremst som nevnt i metodekapittelet, er punktskyen til Phantom nesten 4 ganger så stor som for eBee og ettersom at det er avgrenset til likt området og areal vil dette si at punktskyen til Phantom er mer detaljert. Årsaken til dette er at flyvningene er gjort på en lavere flyhøyde som fører til det det opprettes flere key- og tiepoints som igjen fører til en bedre sammenføyning av bildene. Den lave flyhøyden og bedre detaljnivået er også noe som kan gjenspeiles i tidsbruken for prosesseringen.

Ved bruk av default standardavvik på GCP'ene er dette noe som gir modellen større spillerom for hver GCP og kan dermed lettere tilpasses. Tabell 18 viser en sammenligning av geometrisk kontroll av eBee mot Phantom med default. Her kan man se at det skiller i overkant av 8% som er relativt mye under så like forutsetninger. De resterende prosentene som ikke er blitt akseptert ligger stort sett som avvist lav, som vil si at det ligger i overkant av 7 cm fra referansemodellen. Dette kan man også se ut fra figur 22 som illustrerer heatmap hvor fargeangivelser beskriver de forskjellige klassifiseringene. De mørkegrønne punktene er punkter som er blitt klassifisert avvist lav. Figur 32 er for eBee hvor man kan se at det er større andel avvist punkt, mens figur 31 er for Phantom. Videre om man ser på figur 33 som viser et tverrsnitt hvor alle lagene er tatt, med ser man at referansemodellen hele veien ligger under begge punktskyene. punktskyene ligger jevnt likt litt over.

Det ble også gjort geometrisk kontroll av de samme datasettene hvor det eneste som var endret var standardavvikene til GCP'ene. Vi satte de til individuelle std. Dette fører til at

punktene ikke har like stort spillerom og det blir mer fastlåst til punktene. Av tabell 19 ser vi hvordan det har påvirket resultatene for eBee. Det skiller ikke stort, men resultatet blir noe dårligere med 0,1 %. Vi har valgt å gå videre med disse resultatene ettersom at man vil oppnå en mer troverdig nøyaktighet. I tabell 20 ser man samme oppsettet med Phantom. Her skiller det noe mer med 1%, men det er fremdeles relativt små forskjeller.

Resultatene våre gjort med Pix4D der RMS i z-planet har vært vår viktigste faktor, så kommer det frem at eBee har best nøyaktighet. Med geometrisk kontroll av punktskyene kommer det klart frem at Phantom har flere prosent innenfor toleransekravet vi har satt, og dermed er den mest nøyaktige. Dette er motstridene, og vi tolker det dit hen at det er flere usikkerheter som påvirker de genererte punktskyene i Pix4D.

5.8 Oppsummering av drøfting

Når vi nå ønsker kortfattet å oppsummere de viktigste funnene våre, vil vi starte med analysene våre som underbygger tidsbruken. Vi valgte å se på flere forskjellige faktorer som image scale og GCP antallet for å se hvordan det i forskjellig grad påvirket tid ved prosessering. Vi valgte også gjøre en analyse av tidsbruken ved forskjellig type importstrategi. Det som spilte stor rolle for våre funn ved tidsbruk, var at det skilte over en time i ren prosessering mellom dronene. Dette er som nevnt noe vi tror kommer av at Phantom er flydd på en lavere høyde og har et større datagrunnlag.

Neste steg var å se den relative nøyaktigheten mellom dronene. Vi var litt usikre på hva som ville være den mest korrekte måte å se nøyaktigheten for å sammenligne dronene opp mot hverandre, men kom fram til at RMS Error for checkpointene var det mest riktige. Det skilte noe mellom de to forskjellige dronene i de tre aksene, X, Y og Z. Phantom hadde den beste verdien i X og Y, mens i Z var eBee relativt mye bedre. Dette satte oss i et lite dilemma ettersom at vi har blitt rådet til å vektlegge Z-planet tyngst, men dette vil vi komme tilbake til. Ettersom at dronene også er flydd på to forskjellige høyder og har ulik GSD vil dette påvirke nøyaktigheten.

Vi gjorde også diverse analyser av nøyaktigheten med bruk av forskjellig antall og typer GCP'er i samme prosjekt. Naturlig nok som også teorien tilsier ble resultatet at desto

flere GCP'er vi inkluderte, desto lavere RMS Error ble det. Vi så også på om det utgjorde noe forskjell mellom dronene som det ble flydd med, men her var resultatene såpass like at vi valgte å ikke skille noe særlig på dette videre. Dette gjorde at vi valgte å bruke 12 GCP'er videre i nøyaktighetsanalysene for begge droner. Resultatet av de to forskjellige typene GCP vi hadde i prosjekt området vårt var også tilnærmet lik og gjorde at vi valgte å ikke fokusere noe nærmere på dette i videre analyser.

En annen faktor som vi gjorde analyser på for å underbygge den relative nøyaktigheten mellom dronene var image scale. I første runde ble vi noe overrasket over hvordan lavere image scale påvirket resultatene. Dette på grunn av at lavere image scale ikke nødvendigvis tilsier at nøyaktigheten trenger å bli dårligere. Ved eBee var faktisk nøyaktigheten blitt bedre i Y- og Z-plan. Det vi kom fram til med image scale er at det genereres færre punkter som igjen fører til at man ikke har en like fullstendig modell. Dette gjør at man ikke har like god kontroll når nøyaktigheten beregnes. Det vi også observerte var at image scale påvirket tiden i stor grad. I snitt skilte nesten 4 timer på prosessering med 1/1 image scale mot 1/4. For å kunne ha ett resultat med minst mulig usikkerheter valgte vi å gå videre med 1/1 image scale for begge dronene selv om eBee ga best nøyaktighet ved bruk av 1/4.

Underveis i prosesseringen oppdaget vi at vi ikke hadde satt standardavviket for GCP'ene til gitte. Men at det hadde blitt satt en defaultverdi. Derfor ønsket vi å gjøre en test hvor vi oppga de gitte standardavvikene og kjørte to identiske sett hvor det kun var standardavviket som skilte de. Resultatene var nærliggende like. Beslutningen vår da ble at vi ønsket å holde på de resultatene vi hadde fra tidligere analyser for å fortsatt ha et stort datagrunnlag som underbygget resultatene. Men vi valgte å endre standardavviket på de to settene vi ønsket å konkludere med for å nok en gang utelukke en usikkerhetsfaktor. For ved bruk av større standardavvik gir du modellen større spillerom for endring i GCP'ene. Dette gjør at man kan tilpasse modellen bedre og fortsatt være innenfor GCP'ene og oppnå en god RMS Error.

Avslutningsvis utførte vi en geometrisk kontroll dels for å teste absolutt nøyaktighet, og dels for å sammenligne de to beste punkttskyene generert av de to forskjellige dronene opp mot et referanselag. Referansedataen mottok vi fra Veidekke som var en punktsky med et standardavvik på 14mm. Den geometriske kontrollen viste et resultat på 78% med eBee med toleransekrav på ± 7 cm. Phantom oppnådde en akseptert på 86% noe som utgjorde en forskjell på 8%. Geometriske kontrollen viser at det er Phantom som har oppnådd de beste

resultatene ved denne sammenligningen. Dette var ikke som forventet, men med teori om GSD og standardavvik kan nøyaktigheten godtas.

Teorien sier at man ikke kan oppnå bedre resultater enn GSD ganger 1-2 i grunnriss, og 1-3 i høyde. Phantom har en GSD på 1.82 cm og eBee 2.71 cm. Ut ifra den teorien så er det vanskelig å gjøre en direkte sammenligning. Det er ikke gitt når det skal ganges med 1, 2 eller 3. Dette påvirkes av blant annet kamerafaktorene, nøyaktigheten og påliteligheten til koordinatene man bruker.

Vi tror at standardavviket i GPS målingene er optimistiske ettersom forventet nøyaktighet i høyde med CPOS er 20-40 mm, og vi har standardavvik på 9-16 mm. Det er logget i ett såpass kort tidsrom at man har en lav pålitelighet ved målingene. Dette vil igjen påvirke punktskyen ettersom at GPS målingene er en del av grunnlaget for georefereringen.

Vi tror at når modellen skal knyttes mot GCP`ene vil en høyere GSD gi modellen mer spillerom for å tilpasses koordinatene. Dette kan påvirke RMS fordi den verdien gjenspeiler forskjellen mellom modellen og den faktiske posisjonen. Selv om vår markering av GCP i bildene til dels vil fjerne den usikkerheten. Slik at selv om eBee har lavest RMS, så ligger den lengre unna referansemodellen. Og med dette har vi prøvd å vurdere og utelukke flest mulig usikkerhetsmomenter.

6 Konklusjon

Med vår problemstilling som er: “Hvilket resultat oppnår man med fotogrammetri til de ulike kartleggingssystemene med dronene eBee Classic og Phantom 4 Pro, basert på faktorene absolutt nøyaktighet og arbeidsflyt?” var ønsket å finne hva som skilte mellom de to dronene med hovedfokus på nøyaktighet og tidsbruken, derfor ble oppgaven naturligvis todelt. Den første delen tok for seg tidsbruken mellom dronene med forskjellige programinnstillinger, da først og fremst i prosesseringstid. Den andre om sammenligninger av nøyaktighet iform av absolutt- og relativ nøyaktighet.

Datagrunnlaget i oppgaven var godt hvor datasettene skilte flere forskjellige kombinasjoner av programinnstillinger for å se påvirkningen for tidsbruk i prosesseringen drone mot drone. Prosesseringstid varierte stort fra datasett til datasett, derfor valgte vi å se på tidsbruken som et snitt av alle de tre flyvningene som ble gjort av hver drone. Forskjellige endringer som ble gjort mellom sammenligningene var GCP-antall, Image scale og selvfølgelig dronetypen. Disse faktorene ble det også skilt på i sammenligningene hvor eBee Classic oppnår best resultater i uavhengig av innstillinger. Ved en sammenligning er grunnlaget essensielt, og i vårt tilfelle skilte grunnlaget ganske mye både i datamengden og i innmålt området. eBee er den dronen som ut ifra våre resultater peker seg best ut og som er den mest effektive dronen, men det er store forskjeller mellom dronene i flyhøyde som påvirker GSD og droneinnmålt datamengden, og flyplanen som påvirker flyområdet. Dette gjør at våre resultater og analyser knyttet til forskningsspørsmålet om arbeidsflyt ikke kan konkluderes med noe håndfast.

Nøyaktigheten til dronene valgte vi å teste på to forskjellige metoder. Med en ren sammenligning av kvalitetsrapporter fra datasettene til de forskjellige dronene. Og geometrisk kontroll mot en referansemodell som vi har fått av Veidekke. Ved å sammenligne kvalitetsrapportene fra datasettene kunne vi ut ifra RMS Error se at eBee hadde noe bedre nøyaktighet, spesielt når vi så på Z-plan som vi var blitt anbefalt om å gjøre. Ved den beste flyvningen fra hver enkelt drone var eBee best i X- og Z-plan, mens ved å se på et gjennomsnitt var eBee kun best i Z. ved nøyaktighetsanalyser med geometrisk kontroll som vi også kalte absolutt nøyaktighet, oppnådde vi resultater som ikke var i samsvar med den andre

nøyaktighets testen. Her oppnådde Phantom en 8% bedre nøyaktighet på direkte sammenligning mellom dronene. Dette gjorde at vi måtte reflektere mer nøye over undersøkelsene vi hadde utført av dronene. Hvor kunne årsaken til denne forskjellen ligge? Vår løsning ble at når modellene stort sett bygger på GCP'er som er målt i 5-10 sekunder vil påliteligheten og standardavviket være urealistisk godt til å danne en modell som tester nøyaktighet. Ved å se på forskjell mellom modell og "den virkelige verden" som er CP'er med stort sett samme pålitelighet vil ikke verdien være troverdignok. Dermed blir den andre nøyaktighetsanalysen med geometrisk kontroll avgjørende. Her var det altså Phantom som kom best ut, men denne analysen har også sine usikkerheter. Det skilte nesten 4 ganger så mye mellom punktskyene i datamengde mellom dronene, noe som vi tror kommer av flyhøyden. Skulle man dratt fram en av dronene som bedre enn den andre ville det med det datagrunnlaget vi har vært Phantom som hadde gitt best resultater. Dette for at med geometrisk kontroll har vi best kontroll og minst usikkerhetsfaktorer som påvirker analysen. Dermed blir det også her vanskelig å komme med en klar konklusjon ettersom at dronene ikke kan sammenlignes direkte, og det er flere usikkerheter som vi ikke har fått kartlagt og evt. eliminert.

Dessverre for oppgaven føler vi ikke vi har kommet fram til et konkret funn. Vi har gjort analyser av mange faktorer tilknyttet problemstillingen for oppgaven, men kommer gang på gang fram til at det er for store usikkerhetsmomenter slik at man ikke kan sette to streker under svaret. Derfor ville vi om vi skulle gjennomført samme opplegg en gang til sørget for å være mer delaktig i forarbeid og planlegging for måleopplegget. Dette for å kunne være mer trygg på avgjørelser og bestemmelser ved innmåling av GCP og flyplan.

7 Referanseliste

7.1 Intervjuobjekter

Espen Arnesen	Terratec AS
Erik Søndena	NTNU
Tormod Urke	Pointgeo
Ørjan Nyberg Ladsten	Aeroview AS
Morten Eggum	NTNU
Line Myklebust	Veidekke AS

7.2 Litteraturliste

Andersen, Ø. (1999). *Orientering i stereoinstrument*: Institutt for kartfag, NHL.

Andersen, Ø., Brånå, G. & Lønnum, S. E. (1991) *Fotogrammetri*, 2. utgave. Bekkestua: NKI.

Benediktsson, A. (2019) *Nøkkelen til å ta bedre bilder!* Tilgjengelig fra:

<http://www.dataporten.net/blender-lukker-iso/>

Chiu, K. (2018) *The story of drone pioneer DJI*. Tilgjengelig

fra: <https://www.abacusnews.com/whois-what/dji-dominates-world-drones/article/2128689>

Christophersen, Ø. (2015) *Sikkerhet i globale satellittbaserte navigasjonssystemer*. Tilgjengelig

fra: <https://wiki.uio.no/mn/ifi/AFSecurity/images/2/25/AFSec20150904-Christophersen-NSM.pdf>

Choucroun, R. (2018) *What is the difference between Key-point, Tie-point in Photogrammetry?* Tilgjengelig fra: <https://gis.stackexchange.com/questions/280030/what-is-the-difference-between-key-point-tie-point-in-photogrammetry>

DJI (u.å.) *Phantom 4 pro specs*. Tilgjengelig fra: <https://www.dji.com/no/phantom-4-pro/info>

DJI support (2017) *Phantom 4 Pro/Pro+ User Manual*. Tilgjengelig fra: https://dl.djicdn.com/downloads/phantom_4_pro/20171017/Phantom_4_Pro_Pro_Plus_User_Manual_EN.pdf

Dick, Ø. B. (2019) *fotogrammetri – flyfotografering*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/fotogrammetri - flyfotografering>

Elmore, L. (2019) *GCP (Ground Control Points) Best Practies*. Tilgjengelig fra: <https://firmatek.zendesk.com/hc/en-us/articles/360002732993-GCP-Ground-Control-Points-Best-Practices>

Eilefsen, A. (2011) *Hvordan få riktig grunnlagsdata til prosjektering?* Tilgjengelig fra: https://www.vegvesen.no/attachment/1049185/binary/1064319?fast_title=04+Hvordn+f%C3%A5+riktig+grunnlagsdata+til+prosjektering.pdf

Flaglien, M., Brugrand, O.K. & Stadeløkken, S. (2013) *Nøyaktighet og masseberegning*. Bacheloroppgave. Høgskolen i Gjøvik. Tilgjengelig fra: <https://docplayer.me/46423151-Drone-i-geomatikken-noyaktighet-og-masseberegning.html>

Gamlem, M. & Valgermo, L. K. (2017) *Vil bruke droner i leteaksjon*. NRK Møre og Romsdal. Tilgjengelig fra: <https://www.nrk.no/mr/politiet-og-redningsgrupper-vil-bruke-droner-i-leteaksjoner1.13607974>

GeoSense (u.å.) *EBEE CLASSIC*. Tilgjengelig fra: <http://www.geosense.gr/en/abee/>

Harsson, B. G. (2004) *Posisjonering vha GPS*. Tilgjengelig fra: <http://www.disnorge.no/multim/index/gps.html>

Kartverket (2018) *Høydesystemet NN2000*. Tilgjengelig fra: <https://www.kartverket.no/NN2000>

Kartverket (2009) *Satellittbasert posisjonsbestemmelse*. Tilgjengelig

fra: <https://www.kartverket.no/globalassets/standard/bransjestandarder-utover-sosi/satbaspossystemer.pdf>

Larsen, A. K. (2010). *En enklere metode – Veiledning i samfunnsvitenskapelig forskningsmetode*. 3.utgave. Bergen: Fagbokforlaget.

Lovdata (2018) *Overtredelse av forskrift gitt med hjemmel i denne lov*. Tilgjengelig

fra: https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1993-06-11-101/KAPITTEL_214#KAPITTEL_2-14

Luftfartstilsynet (u.å.) *ROI*. Tilgjengelig fra: <https://luftfartstilsynet.no/droner/kommersiell-bruk-av-drone/ro1/>

Lovdata (2019) *Definisjoner og forkortelser*. Tilgjengelig

fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2015-11-30-1404?q=vlos>

Larsen, B. (2007) *Overflatedeformasjon*. Masteroppgave. Universitet i Oslo. Tilgjengelig fra: <https://www.duo.uio.no/bitstream/handle/10852/12495/forsidesluttok.pdf?sequence=1>

Myrvang, B. (2016) *Kvalitetskontroll av CPOS*. Masteroppgave. Norges Miljø- og Biovitenskapelig Universitet.

Martin, D. (2017) *tie point and key points*. Tilgjengelig

fra: <https://www.agisoft.com/forum/index.php?topic=10668.0>

Norberg, D. (2012) *Flyfotografering. GEO1271 Geografisk datafangst 1*. Tilgjengelig

fra: https://ntnu.blackboard.com/bbcswebdav/pid-319807-dt-content-rid-14924497_1/courses/194_GEO1271_1_2018_V_1/1.%20Fotogrammetri%20Flyfotografering.pdf

Novatel (u.å.) *Attitude- Pitch/Roll/Yaw*. Tilgjengelig

fra: <https://www.novatel.com/solutions/attitude/>

Nice, K., Wilson, T. V. & Gurevich, G. (2006) *CCD and CMOS: Filmless*

Cameras. Tilgjengelig fra: <https://electronics.howstuffworks.com/cameras-photography/digital/digital-camera2.htm>

Nimtz, v. A. (2017) *#Erstmalverstehen: Kamera-blende verstehen & nutzen*. Tilgjengelig fra: <https://www.cyberport.de/blog/lifestyle/erstmalverstehen-kamera-blende-verstehen-nutzen/2017/05/26/>

Olsen, P.J. (2016) *Fototips for nybegynnere: Blender, lukker og ISO?* Tilgjengelig fra: <https://www.dinside.no/data/fototips-for-nybegynnere-blender-lukker-og-iso/60970967>

Olsson, Nils. (2011). *Praktisk rapportskrivning*. Trondheim: Tapir Akademiske Forlag.

Paasche, K. (2019) Dokumentasjon og kartlegging av kulturminner, *Stikningskonferansen*. Scandic Fornebu, 11. februar-12. februar, 2019. Fornebu: NIKU, s. 5-27.

Pix4D (2019) *What is accuracy in an aerial mapping project?* Tilgjengelig fra: <https://www.pix4d.com/blog/accuracy-aerial-mapping>

Pix4D support (2018) *Accuracy of Pix4D output*. Tilgjengelig fra: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202558889-Accuracy-of-Pix4D-outputs>

Pix4D support (2017) *Keypoint image scale*. Tilgjengelig fra: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/community/posts/115017605063-Keypoint-image-scale>

Pix4D support (u.å.) *Difference between a ground control point and a checkpoint*. Tilgjengelig fra: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/115000140963-Difference-between-a-ground-control-point-and-a-checkpoint>

Pix4D support (2015) *Interpreting RMS error with GCP's*. Tilgjengelig fra: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/community/posts/204274466-Interpreting-RMS-error-with-GCP-s>

Remen, A. C. & Tomter, L. (2018) *Så lange skygger lager røkkes skyskraper*. Tilgjengelig fra: <https://www.nrk.no/norge/sa-lange-skygger-lager-rokkes-skyskraper-1.14252275>

Ringdal, K. (2018) *Enhet og mangfold*. 4. utgave. Vigmostad & Bjørke AS

Skogseth, T. & Norberg, D. (2014) *Grunnleggende landmåling*, 3. utgave. Gyldendal Norsk Forlag.

Søderholm, J. (2015) *Luftens helter*. Tilgjengelig

fra: <https://anleggsmaskinen.no/2014/02/490/>

tecniTop (u.å.) *sensFly – Drones for Professionals*. Tilgjengelig

fra: <https://tecniTop.com/en/sensefly-en/>

senseFly (u.å.) *eBee Classic*. Tilgjengelig fra: <https://www.sensefly.com/drones/compare-drones/>

senseFly Parrot Group (2018) *A professional sensor for every application*. Tilgjengelig

fra: <https://spatialtechnologies.ca/wp-content/uploads/2018/09/Camera-Collection-EN.pdf>

sensFly Parrot Group (2018) *The professional mapping drone*. Tilgjengelig

fra: https://www.sensefly.com/app/uploads/2018/05/eBee_EN.pdf

Singh, S. (2016) *Confused between DEM, DTM and DSM!* Tilgjengelig fra:

<http://www.gisresources.com/confused-dem-dtm-dsm/>

Statens Kartverk (2015) *Geodatakvalitet*. Tilgjengelig fra:

<https://kartverket.no/globalassets/standard/bransjestandarder-utover-sosi/geodatakvalitet.pdf>

Statens vegvesen (2012) *Kravspesifikasjon TIN konstruksjon*. Tilgjengelig fra:

<https://www.mercell.com/nb-no/m/file/getfile.ashx?id=36322919>

Sørensen foto (u.å.) *Blendåpning, Lukketid og ISO*. Tilgjengelig

fra: <https://sorensenfoto.no/fototips-blenderapning-lukkertid-bevegelse-hastighet/>

Wikipedia (2019) *LIDAR*. Tilgjengelig fra: <https://no.wikipedia.org/wiki/LIDAR>

Willoughby, J. (2019) *Is RTK the future of drone mapping?* Tilgjengelig

fra: <https://www.heliguy.com/blog/2019/01/24/is-rtk-the-future-of-drone-mapping/>

Yu, X. & Zhang, Y. (2015) *Aerospace Sciences: Sense and avoid technologies with applications to unmanned aircraft system: Review and prospects*. 74, 152-166. Tilgjengelig fra: <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2015.01.001>

