



Universitetet
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

MASTEROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering: Industriell økonomi/Prosjektledelse	 Vårsemesteret, 2017 Åpen/ Konfidensiell
Forfatter: Ingrid Omland	 (signatur forfatter)
Fagansvarlig og intern veileder: Professor Jan Frick	
Ekstern veileder: Sverre Heskestad	
Tittel på masteroppgaven: Bruk av droneteknologi og fotogrammetri til landmåling for bygge- og anleggsprosjekter	
Engelsk tittel: Using Drone Technology with Photogrammetry for Surveying within Civil Engineering	
Studiepoeng: 30	
Emneord: Droneteknologi, fotogrammetri, landmåling, bygg- og anleggsbransjen, arealplanlegging, prosjektering, punktsky, digital terrengmodell, effektivitet	 Sidetall: 73 + vedlegg/annet: 13 Stavanger, 15. juni 2017

i. Sammendrag

Utvikling av innovative løsninger innen bygg- og anleggsbransjen utfordrer tradisjonelle metoder og åpner stadig for nye muligheter på tvers av fagområder. Kombinasjonen av drone og fotogrammetri har vist seg å være en effektiv metode for å innhente koordinatfestet informasjon for å kartlegge områder. Fokuset i denne studien er på om droneteknologi med kamerabasert fotogrammetri kan bidra til mer effektiv landmåling til grunnlag for prosjektering og arealplanlegging. Derfor er det gjort et forsøk med drone med fotogrammetri, inkludert behandling av dataene. Studien belyser hvilke faktorer som bidrar til nytteverdi og hva som må ligge til grunn for at metoden er hensiktsmessig for bruk i byggeprosjekter.

Det gjennomføres en casestudie der et utbyggingsprosjekt undersøkes. En drone med kamera tar bilder av området, og fotogrammetrien blir gjennomført som en del av undersøkelsen. Prosesseringen av bildene resulterer i en tredimensjonal punktsky som er bearbeidet og brukt som underlag for en digital terrengmodell. Resultatene fra droneundersøkelsen er sammenlignet med resultater innhentet ved tradisjonelle metoder for landmåling for å undersøke kvalitet, tidsbruk og kostnader som er involverte. Forutsetninger for at funnene er gyldige for andre områder er at de er av identisk eller tilsvarende omfang som undersøkelsesområdet og har sammenlignbare topografiske forhold.

Resultatene viser at metoden gir kartgrunnlag som kan leveres på kortere tid og med større nøyaktighet enn ved tradisjonell landmåling. Steder hvor punktskyen er mangelfull, som ved høye trær, ville det også ved tradisjonelle metoder for landmåling krevd tilskudd i ressurser for å kartlegge grundigere. Fordelen med fotogrammetri er da at bildene over området kan brukes til å korrigere mangler manuelt i punktskyen som er generert.

Nærmere analyse av resultatene og diskusjoner med intervjuobjekter avslører at drone med fotogrammetri krever kompetanse innen prosessene rundt metoden. Dersom brukeren har tilstrekkelig kunnskap om mulighetene ved de tredimensjonale punktskyene, har metoden ytterligere nytteverdi. I disse tilfellene kan punktskyene ha bruksområder utover de som er tilgjengelige ved tradisjonelle metoder for landmåling, som for eksempel til sol/skyggesimuleringer knyttet opp mot nabobebyggelse og høydekontroll direkte i punktskyen. Dette krever at kjøper har kompetanse til å spesifisere bestillingen etter sine behov. En annen fordel med å bruke drone er økt sikkerhet for ansatte ved inspisering i fareområde, da dronen kan fly over område som har utfordrende terreng.

Fra resultatene i casestudiet blir det konkludert at drone med fotogrammetri kan bidra til mer effektiv landmåling for prosjektering og arealplanleggingsformål. Funnene av studiet viser både økt kvalitet, redusert tidsbruk og en generelt bedre gjengivelse av terrenget.

ii. English Summary

Development of innovative solutions within Civil Engineering challenges traditional methods and contributes to possibilities for advantages across different areas of specialisations. Combination of drone and photogrammetry has proven to be an effective method to obtain big data during land surveying. The main focus in this study is to investigate whether drone technology with camera-based photogrammetry contributes to more efficient land surveying for area planning and design. To investigate the effect of drone and photogrammetry, a case study that investigates a construction project is conducted, which includes processing of the data. The study examines which factors contribute to increased utility value and applicable factors for the method to be suitable within civil engineering.

The area of examination is under construction of a new residential area. Topic of investigation is examined by the drone with a camera taking pictures of the land area, and the photogrammetry is carried out as a part of the examination. Processing of the images results in a point cloud that is evaluated and used as basis for a terrain model. Results from the drone operation are compared to the results gathered from traditional methods for land surveying to investigate quality, duration and costs involved. Assumptions for the findings to be valid for other projects are that the projects are of identical or equivalent scope/range and consist of comparable topographic conditions.

Findings indicate that the method provides a map that can be delivered in less amount of time, and with higher accuracy than land surveying carried out by traditional methods. The areas in which the point cloud is inaccurate, such as areas with tall trees variation in vegetation, also require additional resources to throughout mapping in traditional land surveying methods. The advantage of photogrammetry is in this case that the images provides clear overview for identifying shortcomings and one can correct the model directly.

Further analysis of the results and discussions with interviewees reveal that the drone with photogrammetry expertise within the processes involved. When the user has sufficient knowledge within possibilities using the 3D point clouds, the utility value increases more. In these cases, the point clouds have areas of application which are not available when using traditional method for land surveying, i.e. solar/shadow simulations linked to the nearby buildings and altitude control directly in the point cloud. Increased safety of employees when inspecting a hazard area using to the drone flying areas with challenging terrain is also a benefit when using drones.

The conclusion is that drone with photogrammetry is advantageous and contribute to more efficient land surveying for area planning and design. Results show that the method provides an increased quality, reduced time spent for delivering the products and a general better representation of the terrain.

iii. Forord

Denne oppgaven er det fullførende arbeidet for Mastergraden i Industriell Økonomi ved Universitetet i Stavanger. Oppgaven er skrevet i samarbeid med selskapene Prosjektil og Aeroview, og er en casestudie av å bruke droneteknologi med fotogrammetri til landmåling i et utbyggingsprosjekt.

Jeg vil rette en stor takk til Jan Frick for særdeles god veiledning i forbindelse med utforming og bearbeiding av oppgaven. Gjennom hele prosessen har jeg fått gode råd, og han har bidratt med konstruktive og direkte tilbakemeldinger. Innspill til problemløsning, diskusjon av resultater og generelt hans kompetanse på mange områder har rettet meg til gode refleksjoner rundt problemområdet.

Arbeidet inneholder viktige bidrag fra flere personer. Jeg vil takke alle som har vært positive og deltatt aktivt i ulike faser av arbeidet. Sverre Heskestad i Prosjektil har en innovativ og fremtidsrettet innstilling, og var hjelpelig med å definere et aktuelt og relevant problemområde. Samtlige av de ansatte i Prosjektil kommet med viktige innspill og vært med på å diskutere oppgaven. Mikal Asbjørnsen i Aeroview gjennomførte droneoperasjonen, og gjennom hele prosessen har alle ansatte i Aeroview vært tilgjengelige for spørsmål og innspill. Oppgaven hadde ikke vært gjennomførbar uten deres bidrag. Takk til dere alle.

I tillegg vil jeg takke mine medstudenter som har stått på gjennom hele studieløpet, spesielt i travle tider med eksamensforberedelser og nå det siste semesteret med oppgaveskriving. Dere har alle gjort studietiden svært trivelig. Mest av alt vil jeg likevel takke for faglige diskusjoner og kreative innspill som har bidratt til refleksjon og læring.

Jeg vil også benytte anledningen til å takke de som har kommet med nyttige innspill underveis gjennom oppgaveskrivingen, og de som har korrekturlest før ferdigstilling av oppgaven. Jeg er takknemlig for all god hjelp.

Til slutt vil jeg også takke for støtten jeg har fått fra familie og min kjære. Dere har motivert meg gjennom studietiden og stått på med praktiske oppgaver når jeg ikke har prioritert hverken klesvask eller matlaging.

Stavanger, 15.juni 2017

.....

Ingrid Omland

iv. Innholdsfortegnelse

1. INNLEDNING	1
1.1 PROBLEMSSTILLING	1
1.2 INTRODUKSJON AV TEMAET	1
1.2.1 BEGRENSNINGER	2
1.2.2 BEGRUNNELSE FOR VALG AV OPPGAVE	2
2 BAKGRUNN FOR ENGASJEMENT FRA BEDRIFTENE	5
2.1 PROSJEKTIL AS	5
2.2 AEROVIEW AS	5
3 TEORETISK RAMMEVERK	7
3.1 LANDMÅLING I BYGG- OG ANLEGGSTRANSJEN	7
3.1.1 KOORDINATSYSTEMER	8
3.1.2 LANDMÅLING VED BRUK AV TEKNIKKER FOR FJERNMÅLING	13
3.2 FOTOGRAMMETRI	14
3.3 DRONE TIL LANDMÅLINGSOPPGAVER	16
3.3.1 GENERELT OM DRONER	16
3.3.2 UTVIKLINGEN AV DRONEBRUK	17
3.3.3 HVORDAN UAS FUNGERER	18
3.3.4 PROSESSERING OG LAGRING AV DATA	20
3.4 GJELDENE REGELVERK	21
3.5 KRITERIER FOR EFFEKTIVISERING	23
4 FORSKNINGSMETODE	25
4.1 METODEVALG	25
4.2 CASESTUDIE	25
4.3 FORSKNINGSMETODE	27
4.3.1 INNSAMLING OG PROSESSERING AV DATA	27
4.3.2 EVALUERING AV RESULTATENE	28
5 CASESTUDIET	29
5.1 DET STUDERTE OMRÅDET	29
5.2 INNHENTING AV DATA	30
5.2.1 LANDMÅLING VED BRUK AV TRADISJONELLE METODER	32
5.2.2 DRONEKARTLEGGINGEN	33

5.2.3	PROGRAMMER FOR PROSESSERING AV DATA	35
5.3	PROSESSERING AV DATAENE	36
5.3.1	PIX4DMAPPER TIL FOTOGRAMMETRI	36
5.3.2	AUTODESK RECAP 360 UTLIMATE	40
5.3.3	MESHLAB	40
5.3.4	TRANSFORMERING AV FILTYPER	41
5.3.5	REVIT	42
5.3.6	KVALITETSSIKRING AV DATAPROSESSERINGEN I PIX4D	42
5.4	RESULTATER OG ANALYSE	43
5.4.1	KVALITETEN AV RESULTATENE	43
5.4.2	TIDSBRUK OG KOSTNADSBRUK	54
5.4.3	NYTTEVERDIEN	57
6	DISKUSJON	61
6.1	LITTERATUR OG TEORIER LAGT TIL GRUNN FOR UNDERSØKELSEN	61
6.2	FORSKNINGSMETODE	62
6.3	CASEJENNOMFØRINGEN	62
6.3.1	DATAINNSAMLING OG INTERNE FORHOLD SOM PÅVIRKER RESULTATENE	62
6.3.2	EKSTERNE FORHOLD SOM PÅVIRKER DATAINNSAMLINGEN	63
6.3.3	TOLKING OG ANALYSE AV RESULTATENE	64
6.3.4	BRUKSMULIGHETER OG AKTUELLE FUNN	65
7	KONKLUSJON	67
7.1	ANBEFALINGER	68
8	REFERANSER	69
8.1	INTERVJUOBJEKTER	69
8.2	BIBLIOGRAFI	70

v. Liste over figurer

FIGUR 3.1 A) VENSTREHANDS KOORDINATSYSTEM B) HØYREHANDS KOORDINATSYSTEM.....	9
FIGUR 3.2 UTM (EUREF89) SONEINNDELING I NORGE.....	9
FIGUR 3.3 ILLUSTRASJON A MÅLESTOKKFEIL I EUREF89 UTM SONE 32 I SNITT SØR-NORD.	10
FIGUR 3.4 NTM (EUREF89) SONEINNDELING I NORGE.....	11
FIGUR 3.5 ELLIPSOIDE OG GEOIDE	12
FIGUR 3.6 INDRE ORIENTERING. REKONSTRUERING OG BEREGNINGER BLE TIDLIGERE GJORT FOR HAND. 14	
FIGUR 3.7 YTRE ORIENTERING HANDLER OM POSISJON OG ORIENTERING	15
FIGUR 3.8 ILLUSTRASJON PÅ OVERLAPP AV BILDER.....	16
FIGUR 3.9 PRINSIPPET BAK STYRINGSSYSTEMET TIL DRONEN.	18
FIGUR 3.10 FORKLARING AV YAW, PITCH OG ROLL.	19
FIGUR 4.1 DESKRIPTIV METODE	26
FIGUR 4.2 POSISJONERING AV KONSTRUKTIV FORSKNING.....	27
FIGUR 5.1 BILDE OVER REEMARKA PÅ BRYNE OG KART OVER PLAN- OG BYGGEGRENSE.	29
FIGUR 5.2 KOTER I REEMARKA I 1964 OG 2016	31
FIGUR 5.3 FLYTSKJEMA FOR KARTLEGGING MED MANUELL LANDMÅLING.	32
FIGUR 5.4 FLYTSKJEMA OVER KARTLEGGINGSPROSESS; DRONE MED FOTOGRAMMETRI.	33
FIGUR 5.5 ILLUSTRASJON FOR BILDEOVERLAPP 80/80.	33
FIGUR 5.6 BILDE AV KONTROLLPUNKT 2.	34
FIGUR 5.7 BILDE AV DRONEN (FALCON 8) OG DRONEOPERATØR MED BAKKEKONTROLLSTASJONEN.	34
FIGUR 5.8 MARKERING AV GCP/KONTROLLPUNKT.....	37
FIGUR 5.9 BILDER OVER ET ØDELAGT KONTROLLPUNKT/GCP	38
FIGUR 5.10 BILDE OVER REEMARKA.	39
FIGUR 5.11 BILDE AV DEN URENSKEDE PUNKTSKYEN IMPORTERT I AUTODESK RECAP.....	40
FIGUR 5.12 DEN SIMPLIFISERTE PUNKTSKYEN SAMMENLIGNET MED DEN FULLE MODELLEN.	41
FIGUR 5.13 PUNKTSKYENE FRA DE TO PROSESSERINGENE FREMSTILT I RECAP.	42
FIGUR 5.14 GJENNOMSNIITTLIG USIKKERHET OG STANDARDAVVIK FOR POSISJONERING OG ORIENTERING TIL BILDENE FØR KONTROLLPUNKTER/GCP	43
FIGUR 5.15 GJENNOMSNIITTLIG USIKKERHET OG STANDARDAVVIK FOR POSISJONERING OG ORIENTERING FOR BILDENE ETTER KONTROLLPUNKTER/GCP	44
FIGUR 5.16 GJENNOMSNIITTLIG USIKKERHET OG STANDARDAVVIKET I KOORDINATENE TIL BILDENE	45
FIGUR 5.17 VIRKNING AV VEGETASJON I PUNKTSKYEN.	47
FIGUR 5.18 SKYGGEOMRÅDER I PUNKTSKYEN VIST VED EN UNDERGANG FRA FORSKJELLIGE VINKLER.....	48
FIGUR 5.19 BILDER FRA PROSESSERING AV DEN FULLE MODELLEN.	49
FIGUR 5.20 BILDER FRA TILSVARENDE STEDER I DEN SIMPLIFISERTE PUNKTSKYEN.....	49
FIGUR 5.21 EKSEMPLER PÅ DETALJER I FULLSKALAMODELLEN (OVER) OG BILDE TATT FRA TILSVARENDE STEDER I DEN SIMPLIFISERTE MODELL (UNDER).	50
FIGUR 5.22 FULLSKALAMODELLEN I REVIT.....	51
FIGUR 5.23 SIMPLIFISERT PUNKTSKY I REVIT.	51
FIGUR 5.24 TERRENGMODELLEN GENERERT I REVIT.	52
FIGUR 5.25 TERRENGMODELLEN MED PUNKTSKYEN FLYTTET 50 METER OVER FOR SAMMENLIGNING.	53
FIGUR 5.26 SAMMENLIGNING AV DEN DIGITALE TERRENGMODELLEN I REVIT OG KARTGRUNNLAGET FRA MANUELL LANDMÅLING	54
FIGUR 5.27 TIDSFORBRUK FOR LANDMÅLINGSPROSESSENE.	57

vi. Liste over tabeller

TABELL 3.1 EKSEMPLER PÅ DRONETYPEN: VINGEUTFORMING OG SPESIFIKASJONER.....	17
TABELL 3.2: NOEN BRUKSOMRÅDER TIL DRONER, OG FORMÅLET MED BRUKEN I ET UTVALG AV INDUSTRIER	18
TABELL 3.3: GJELDENE REGLER FOR OPERATØRER SOM STYRER LUFTFARTØY UTEN FØRER OM BORD ...	22
TABELL 5.1 KOORDINATENE TIL KONTROLLPUNKTENE.	35
TABELL 5.2 UTKLIPP AV FILEN MED GEOTAGGENE TIL BILDENE.	36
TABELL 5.3 FEILBEREGNINGER TIL KONTROLLPUNKTENE I MODELLEN	46
TABELL 5.4 TIDSBRUK FOR LANDMÅLING VED STIKING, DRONEOPERASJON FØRSTE OG ANDRE FORSØK.	56

vii. Forkortelser og akronymer

Forkortelser og akronymer er forklart på engelsk og norsk¹.

Begrep	Engelsk	Norsk
BA	-	Bygge- og anleggsbransjen
BIM	Building Information Modelling	Bygningsinformasjonsmodellering
BVLOS	Beyond Visual Line of Sight	Utenfor synsrekkevidde
EVLOS	Extended Visual Line of Sight	Forlenget synsrekkevidde
GIS	Geographic Information system	Geografiske informasjonssystemer
GNC	Guidance, navigation and control; Management system	Styring, navigering og kontroll; Styringssystem
GNSS	Global Navigation Satellite System	Satellittbasert system for navigasjon og posisjonering med global dekning
GPS	Global Positioning System	Amerikansk satellittsystem
LIDAR	Light Detection and Ranging	Lasermåling fra laserskanner
RPAS	Remotely Piloted Aircraft Systems	Luftfartøy uten fører om bord
RTK	Real Time Kinematic	Sanntid kinematisk, posisjonstjeneste
UAS	Unmanned Aerial Systems	Ubemannet luftfartøy
UAV	Unmanned Aerial Vehicle	Ubemannet luftfartøy
VLOS	Visual Line of Sight	Innenfor synsrekkevidde

¹ Enkelte av oversettelsene er hentet fra (Vandsemb, 2014).

viii. Definisjoner

Begrep	Definisjon
Absolutt nøyaktighet	Beliggenhet i forhold til et entydig definert koordinatsystem. Flere uavhengige objekter refererer til dette systemet.
Geodetisk datum	Geofysisk/satellittbasert og/eller terrestrisk bestemt sett parametere, som bestemmer en valgt ellipsoides beliggenhet i forhold til jordkroppen . En plassering av jordens koordinatsystem med valg av origo, målestokk og orientering av aksene (Eilefsen, 2011).
Geomatikk	Samlebegrep for innmåling, bearbeiding og systematisering, lagring, analysering og presentasjon av geografisk informasjon (Lillemoen, 2012).
Kartprojeksjon	En kartprojeksjon er en overføring av den krumme jordoverflaten eller deler av denne til en gjengivelse i kartplanet ved et matematisk formelverk eller geometrisk projeksjon.
Kote	Høydelinje på kart.
Målestokk	Forhold mellom målt avstand og reell avstand i virkeligheten.
Nyttelast	Belastning utover egenvekt. For droner er det de komponenter og sensorer som gjør droneoperasjonen kommersiell (kamera, GPS).
Nøyaktighet	Beliggenhet bestemt uten tvetydigheter eller avvik. Resultater som er nøyaktige trenger ikke nødvendigvis være pålitelige eller riktige, men må sammenlignes med uavhengige kilder og observasjoner for å kunne være pålitelig og riktige.
Pålitelighet	Når flere uavhengige og overbestemte observasjoner eller kilder med god nøyaktighet og kvalitet får entydig resultat er målingene pålitelige.
Relativ nøyaktighet	Beliggenhet i forhold til annet objekt i nærheten, referert i et lokalt koordinatsystem.
SOSI-standard	Et mye brukt filformat for norske kartdata (Kartverket). (SOSI = Samordnet Opplegg for Stadfestet Informasjon).
WGS84	World Geodetic System – Et kartdatum med fast global referanseramme for geodesi og navigasjon.

ix. Forklaring til relevante filtyper og program der de benyttes

Filtype	Spesifikasjoner	Program
CSV	Kommaseparert fil.	Excel, NotePad, Meshlab, Revit
IFC	Åpen BIM-fil for 3D-modeller	Revit, Recap
LAS	Fargekodet punktfil	Pix4D, Meshlab
PLY	Punktsky som vises som et objekt.	Pix4D, Autodesk Recap
RCP	Sammensatt Punktsky med farge	Autodesk Recap, Revit
RCS	Enkel punktsky med farge	Autodesk Recap, Revit
TXT	Tekstfil med kolonner med informasjon	Excel, Meshlab, Revit
XYZ	Rå fil med punktsky	Pix4D

1. Innledning

Innovasjon og teknologisk utvikling skjer stadig raskere, og tradisjonelle metoder utfordres gjerne i jakten på bedre løsninger. Dette resulterer i nye måter å hente inn informasjon på. Denne oppgaven utfordrer tradisjonelle metoder for landmåling innen bygg- og anleggsbransjen ved å bruke drone med fotogrammetri til landmålingsoppgaver. Drone med fotogrammetri er en potensiell metode for å skaffe tilgang til data som brukes til grunnlag for prosjektering og arealplanlegging.

I denne oppgaven studeres effektene av å benytte droneteknologi med kamerabasert fotogrammetri til landmålingsoppgaver. Et utbyggingsprosjekt i et avgrenset område er objekt for undersøkelsen og bruksområder for metoden er vurdert.

1.1 Problemsstilling

For å undersøke effektene av å benytte drone med fotogrammetri til landmålingsoppgaver, er følgende problemstilling formulert:

«Kan droneteknologi med kamerabasert fotogrammetri bidra til mer effektiv landmåling til arealplanlegging og prosjektering av byggeprosjekter, og hvilke faktorer bidrar til dette?»

Gyldigheten av konklusjonen diskuteres med utgangspunkt i hva som må ligge til grunn i dataene for at drone med fotogrammetri skal gi verdi. Dette diskuteres i kontekst av tidsbruk, kvaliteten i dataene, kartgrunnlaget og anvendelsesområdene for resultatene. Avslutningsvis diskuteres validiteten av studien og i hvilken grad konklusjoner som trekkes fra resultatene er gyldige. Det blir vurdert om litteraturstudiet er relevant for innføringen i emnet, om datainnsamlingen har reliabilitet og om analysen er pålitelig.

1.2 Introduksjon av temaet

Bygge- og anleggsvirksomhet har stort forbedringspotensial på mange områder, da særlig knyttet til feil og reklamasjoner. Disse har ofte bakgrunn i manglende prosjektering (Myre & Nils, 2012). Prosjektering er prosessen med å bearbeide idéer til et ferdig produkt i form av tegninger, modeller, beskrivelse og spesifikasjoner som brukes i gjennomføringen av et byggeprosjekt (Meland, 2000). Utilstrekkelig prosjektering kan relateres til feil bedømmelse av prosjektets omfang, tidsramme og Helse-, Miljø- og Sikkerhets- (HMS) grunnlag som begrenser informasjonsmengden i prosjektet. Prosjekteringsprosesser starter ofte med bakgrunnsinformasjon om det berørte området som inkluderer et kartgrunnlag som setter grensene for prosjektet. Disse grensene er bestemt i reguleringsbestemmelsene som blir definert etter arealplanleggingsarbeid (Bø, 2017).

I tråd med økt digitalisering i samfunnet for øvrig har også bygg- og anleggsbransjen hatt mer fokus på digitalisering de siste årene. Digitalisering gjør at større mengder informasjon kan hentes inn, lagres og forvaltes ved å kombinere kjente metoder med økt datakraft.

Dette studiet utforsker drone med fotogrammetri til landmåling med hensikt å bruke datagrunnlaget til arealplanlegging og prosjektering av byggeprosjekter. Droner kan i mange tilfeller spare tid og samtidig bidra til økt datatilgang, da det ofte er enklere for en drone å fly over et landområde enn for et menneske å bevege seg på bakken i det samme området. Fokus er på effektene av å benytte drone med fotogrammetri og å diskutere hvordan dette påvirker både prosessen og resultatene.

Det er tatt utgangspunkt i et reelt prosjekt der arbeidet med reguleringsplanene allerede er i gang. Resultater fra droneundersøkelsen er sammenlignet med resultater innhentet ved tradisjonelle metoder for landmåling for å sjekke kvalitet, tidsbruk og kostnader som er involverte. Samtidig som dataene bearbeides er flere ressurspersoner som arbeider innen problemområdet kontaktet, og datagrunnlaget som er hentet inn er supplert med informasjon fra dem. Etterpå er nytteverdien av resultatene vurdert. Nøyaktigheten av dataene som er hentet inn er også tatt med i betraktningen.

1.2.1 Begrensninger

Oppgaven undersøker et område som har kjente grunnforhold og er regulert til boligformål. Området har lav vegetasjon på jordbruksområdene og i de delene av området som allerede er opparbeidet, er det lav bebyggelse. Laveste kote i området er 18 meter over havet, og høyeste kote er 31 meter over havet.

Konklusjoner fra oppgaven kan ikke uten videre undersøkelse benyttes direkte for byggeprosjekter som ikke er av identisk eller sammenlignbart omfang. Konklusjonene kan ikke antas å være gyldige i prosjekter det ikke er hensiktsmessig å ha et oppdatert kartgrunnlag for arealplanlegging og prosjektering utover det som allerede er gitt. Områder som omfatter elveutløp, myr, har høy vegetasjonsvekst, har avvikende bebyggelse eller varierende topografiske forhold må derfor ikke uten nærmere undersøkelser antas å ha tilsvarende utbytte av metoden.

1.2.2 Begrunnelse for valg av oppgave

Studiet i Industriell økonomi ved Universitetet i Stavanger har introdusert mange teorier og metoder. Personlig syns jeg det mest interessante er kunnskapen om å unngå ulike former for sløsing og kontinuerlig forbedre prosesser som inngår i gjennomføringen av prosjekter. Interessen for å undersøke nettopp bygg- og anleggsbransjen er et resultat av å ha blitt fortalt hvor konservativ, tradisjonell og lite nytenkende bransjen er. Aktører jeg har møtt i bransjen har understreket at andre bransjer utvikles raskt, men at bygge og anleggsbransjen utfører prosjekter tilsvarende som de alltid har gjort. Grunnen for at jeg har valgt å se på dronebruk er potensialet for tidsbesparelser, informasjonsmengden, i tillegg til at det i risikoområder kan øke sikkerheten til den som kartlegger området. Droner benyttes i dag

til en rekke kommersielle arbeidsoppgaver og kommer trolig til å ta over flere oppgaver som tidligere er utført manuelt. Derfor er det interessant å undersøke om dronene blir brukt på grunn av en trend, eller på grunn av at ressurser blir bedre utnyttet og gir økt nytteverdi.

Tema for masteroppgaven er valgt med hensikt å fordype seg i et interessant og nyttig forskningsområde som er aktuelt for dagens utfordringer innen bygg- og anleggsbransjen. Digitale løsninger og muligheter for å utnytte bygningsinformasjonsmodellering (BIM) mer aktivt i prosjekteringsfasen er et relevant vekstområde der enkelte bedrifter allerede er i ferd med å utvikle verdifull kompetanse. BIM er et verktøy for å simulere byggeprosjekter i tredimensjonale modeller for å undersøke hvordan de fungerer før de blir bygget. Bruk av BIM gjør det mulig at alle fagområder prosjekterer samtidig og får optimerte løsninger for byggeprosjekter før selve byggingen starter. Derfor er det potensial for å benytte forskningen i oppgaven direkte i arbeidslivet, trolig i nærliggende fremtid.

2 Bakgrunn for engasjement fra bedriftene

Bedriftene som har bidratt i oppgaven er Prosjektil og Aeroview, som begge er lokalisert i Stavanger. Undersøkelsen er aktuell for begge bedriftene, da den ene er kjøper av metoden og den andre er leverandør til bransjen og ser verdi i å innhente kunnskap for å levere i henhold til sine kunders behov.

Forskningsområdet er definert i samarbeid med Prosjektil. Formålet er at metoden som utforskes er lett tilgjengelig og har potensial for videre bruk. For at studiet skal ha et relevant bidrag til bedriftenes nærstående fremtidige arbeid, er det besluttet å konsentrere undersøkelsen rundt drone med fotogrammetri og de bruksmuligheter som metoden gir.

2.1 Prosjektil AS

Prosjektil er ledende innenfor prosjektadministrative tjenester og totalleverandører innenfor konsulent tjenester/rådgivende tjenester i BA-bransjen. Prosjektil har et mål om å bidra til en bedre balanse mellom pris og kvalitet, og sier selv at «Vi skal bidra til å gjøre byggebransjen bedre» (Prosjektil, 2017). For å være ledende på sine områder og fortsatt være konkurransedyktige i fremtiden, er det viktig å være oppdatert på dagens teknologi og ikke bli utdaterte på metodene for prosjektgjennomføring (Heskestad, 2016).

Prosjektil opplever at målinger og stikningsarbeid som utføres i forbindelse med kartlegging kan være tidkrevende, og i enkelte tilfeller mangelfull. Dette skyldes ofte krevende terreng og sikkerhetshindringer da det er farlig å ta seg ut i enkelte fjellskrenter og steinurer (Bø, 2017). Med utgangspunkt i utfordringene som selskapet har hatt, og som de venter i nærmeste fremtid, er derfor vurderingen av muligheter for dronebruk både nyttig og interessant for selskapets virksomhet. Droneflyging brukt i forbindelse landmåling for arealplanlegging og prosjektering utfordrer tradisjonelle metoder for landmåling. Derfor er undersøkelser av droneoperasjonen sammenlignet med tradisjonelle målemetoder.

2.2 Aeroview AS

Aeroview ble startet i 2011 og fikk godkjenning til å drive RPAS operasjoner da det ble pålagt i 2013, og RO3 tillatelse (kapittel 3.4) da regelverket trådte i kraft i 2016. De har tillatelse til å drive bruk av luftbårne sensoroperasjoner fra Nasjonal Sikkerhetsmyndighet (NSM). Dagens droneprosjekter er for det meste innen oppmåling, 3D-modellering og inspeksjon, og selskapet gjennomfører omtrent 200 oppdrag årlig. Selskapet har utbytte av å skaffe seg mer kunnskap innen bygg- og anleggsbransjen både for å forbedre leveransene til sine kunder men også kartlegge mulige fremtidige markeder. Kjennskap til kunders behov bidrar til å opprettholde konkurransekraften til selskapet og få en økt kundekrets. I denne oppgaven har Aeroview bidratt både med innhenting av data, avklaringer innen dronebruk og vært en ressurs til supplering og diskusjon av resultater.

3 Teoretisk rammeverk

I dette kapittelet beskrives teorien bak prinsippene til dagens metoder for landmåling i bygg- og anleggsbransjen. Etterpå er fotogrammetri forklart, og deretter droneteknologi og hva som gjør at dens utvikling kan bidra til å forbedre landmåling for arealplanlegging og prosjekteringsformål. I tillegg presenteres lovpålagte regler om hva som er krevd for å drive dronevirksomhet. Avslutningsvis beskrives kriteriene som tilsier at en metode er mer effektiv enn den andre.

3.1 Landmåling i bygg- og anleggsbransjen

Byggeprosjekter starter gjerne med en forespørsel om endring på eksisterende område i mindre eller større omfang. Sammen med forespørselen er det ofte et grunnkart med generell bakgrunnsinformasjon over området. Med utgangspunkt i dette kartgrunnlaget starter arealplanlegging eller mer detaljert prosjekteringsarbeid, alt etter prosjektets omfang. Kartgrunnlaget er gjerne hentet fra Kartverket, som er en etat under Kommunal- og moderniseringsdepartementet (Kartverket, 2017).

Norsk kartverk oppdateres vanligvis hvert 5. til 10. år, avhengig av karttype (Kartverket, 2017). Deler av kartgrunnlaget er innhentet med flyfoto, og nøyaktighet kan variere fra ± 0.35 til ± 2 meter alt etter standarden som er benyttet (Kartverket, 2016c). Omløpsfotograferingen dekker årlig 70 000 – 100 000 km² (Kartverket, 2017), og områder der masser har blitt omdisponert og terrenget er endret har ikke garanterte oppdaterte grunnlagsdata. Konsekvensen av dette er at datagrunnlaget som er gitt har begrenset nytteverdi for bruk i enkelte byggearbeider.

Byggebransjen har i flere år slitt med feil og mangler ved ferdigstillelse av byggeprosjekter. Dette kan ofte relateres til manglende prosjektering. Byggeprosjekter blir stadig mer avanserte, og samtidig kommer myndighetene med høyere krav til entreprenørene (Fenne, 2017). Både arbeider med arealplanlegging og prosjektering starter derfor ofte med å kvalitetssikre data og oppdatere kartgrunnlaget. Ved å benytte mer effektive metoder for landmåling kan fremdriften i prosjekter fremskyndes, og derfor er det interessant å undersøke virkningen av drone med fotogrammetri til landmålingsformål.

Landmåling omhandler det å hente inn data om terreng, detaljpunkter og eiendommer. I enkelte tilfeller er nøyaktigheten mest avgjørende, som ved måling av tomtegrenser. Andre ganger ønskes god oversikt, som ved prosjektering av vei og rør i grunn. I dag skjer landmåling vanligvis med laserskanner, totalstasjon eller Globalt Navigasjons Satellitt System (GNSS). Metoden som brukes for å gjennomføre det enkelte landmålingsoppdraget er basert på formål for målingene og måleforhold på oppdragsdagen (Ueland, 2017). Matematiske formler og metoder for beregninger ikke beskrevet i denne oppgaven, da det ikke er relevant for diskusjonen rundt problemstillingen. Innføringene i landmålingsmetodene er basert på prinsipper og generelle forklaringer rundt bruken av metodene.

Laserskanner: Laserskannere blir ofte brukt på byggeplasser. De sender ut laserstråler og tar målinger basert på bølgenes refleksjon. Utstyret må plasseres slik at det ikke er hindringer som stopper målingene. Lasermålinger tas enten med roterende laser som måler kontinuerlig eller med laser som er plassert på et gitt punkt og tar målinger ut fra et aksesystem. Etter at målingen er fullført, flyttes laseren til en ny plassering og siktes inn på nytt (Økern, 1994). Når hele området er dekket settes målingene sammen for videre bruk.

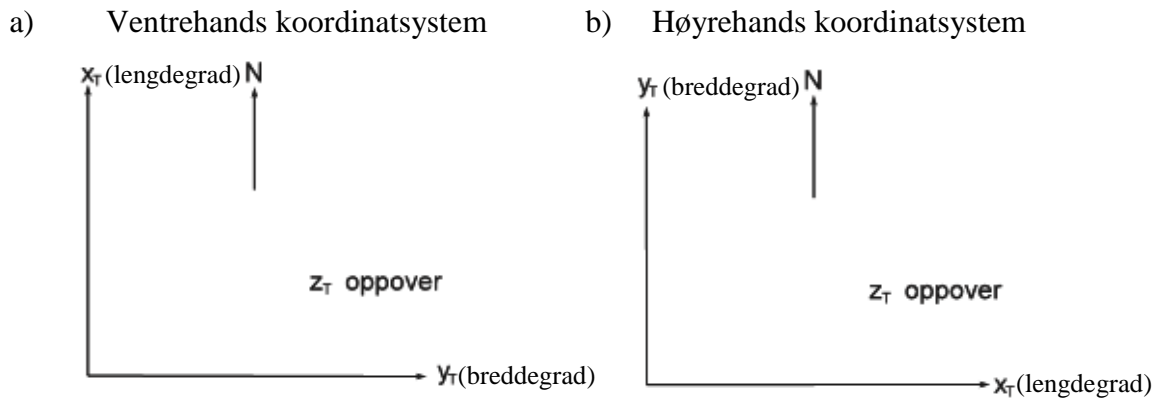
Totalstasjon: En totalstasjon er en type måleutstyr som også utfører digitale målinger av vinkler i målesituasjonen, med mulighet til lagring av alle data. Senere kan dataene fra målingene overføres direkte til programvare for å gjøre beregninger. Landmålingene fra en totalstasjon gir lokale koordinater (Juliebø, 2004). En totalstasjon brukes ofte dersom det gjennomføres langtidsmålinger med målinger spredt over en bestemt tid, og/eller store mengder data skal hentes inn. Landmålingen med totalstasjon gir millimeters nøyaktighet av den relative nøyaktigheten. Totalstasjoner kan brukes til alle typer måle- og utstikkingsarbeid, men anskaffelsesprisen for utstyret er høy (Økern, 1994).

GNSS (Globalt Navigasjons Satellitt System): GNSS er et satellittsystem for målinger ved navigasjon og posisjonsbestemmelse med global dekning. Det er flere metoder for GNSS-målinger. Stikking er en GNSS-metode der en stang blir plassert på innmålingspunktet. Dette blir brukt til målinger av større landområde som ikke krever høy presisjon. Ofte blir denne type innmåling kalt grovstikking (Ueland, 2017). En annen type innmåling med GNSS er håndholdt GPS (Global Positioning System). I dag er ofte GPS-mottakere brukt i kombinasjon med totalstasjoner for å få globale koordinater på målingene (Kartverket, 2013).

3.1.1 Koordinatsystemer

For en entydig beskrivelse av plasseringen på jorden, må beliggenheten gis i form av referansepunkter; ofte et x,- y, og z-koordinatsystem (Eika, 1947). For eksakt beliggenhet i rommet blir koordinater gitt i horisontal-, og vertikal plassering.

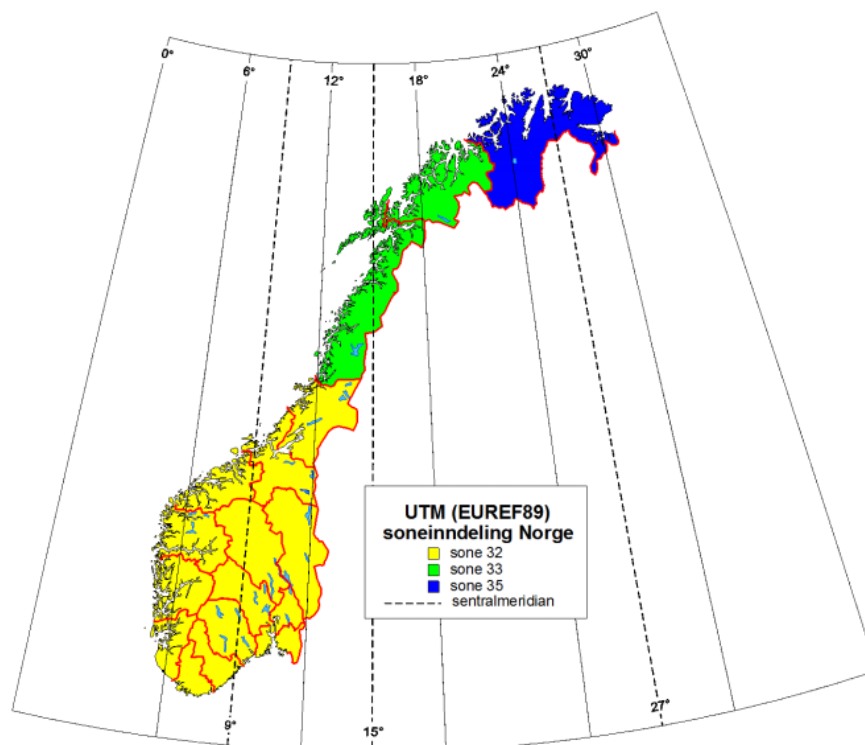
De ulike koordinatsystemene deler jordkloden opp i soner, noen med flere og mer nøyaktige soner, hvorimot andre er mer overordnet. Orienteringen av koordinatsystemene er en del av å eksakt kunne fastsette hvor i verden et område er. I et venstrehånds koordinatsystem, som vist i figur 3.1a, er x_T -aksen lengdegrad og y_T -aksen breddegrad, og koordinaten for lengdegrad (øst-vest-posisjon) er angitt først. Et høyrehånds-koordinatsystem med breddegraden angitt først er vist i figur 3.1b (Andersen, 1999). Koordinater som oppgis i lengde- og breddegrader kalles *geografiske koordinater*. Geografiske koordinater brukes ofte til sjø- og flykart. På land brukes vanligvis kartplanskoordinater, der lengdegradene tilsvarer x-koordinatene og breddegraden y-koordinatene (Kartverket et al., 2017).



Figur 3.1 a) Venstrehands koordinatsystem b) Høyrehands koordinatsystem. Figurene viser at x - og y -koordinat er motsatt for de to; venstrehandssystemet angir lengdegraden først, hvorimot høyrehandssystemet angir breddegraden først (Andersen, 1999).

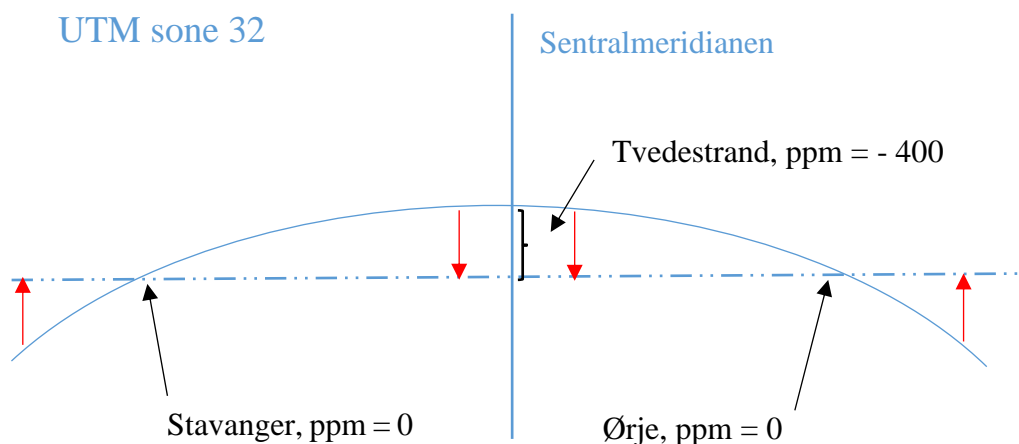
Det horisontale kartgrunnlaget i Norge

Siden 2009 har EUREF89 (European Terrestrial Reference System 1989) UTM (Universal Transversal Mercator) vært offisielt datum og projeksjon i Norge. EUREF89 UTM er et moderne geodetisk grunnlag som deler Norge inn i tre soner. Posisjonene i dette grunnlaget er gitt i kartplanskoordinater, først med øst-koordinat, så nord-koordinat, og er derfor et *venstrehands koordinatsystem*. Sonene som Norge er delt inn i er vist i figur 3.2 (Eilefsen, 2011). Sentralmeridianen er tangeringsmeridianen som tilsvarende den midtre meridianen til sonen som flates ut.



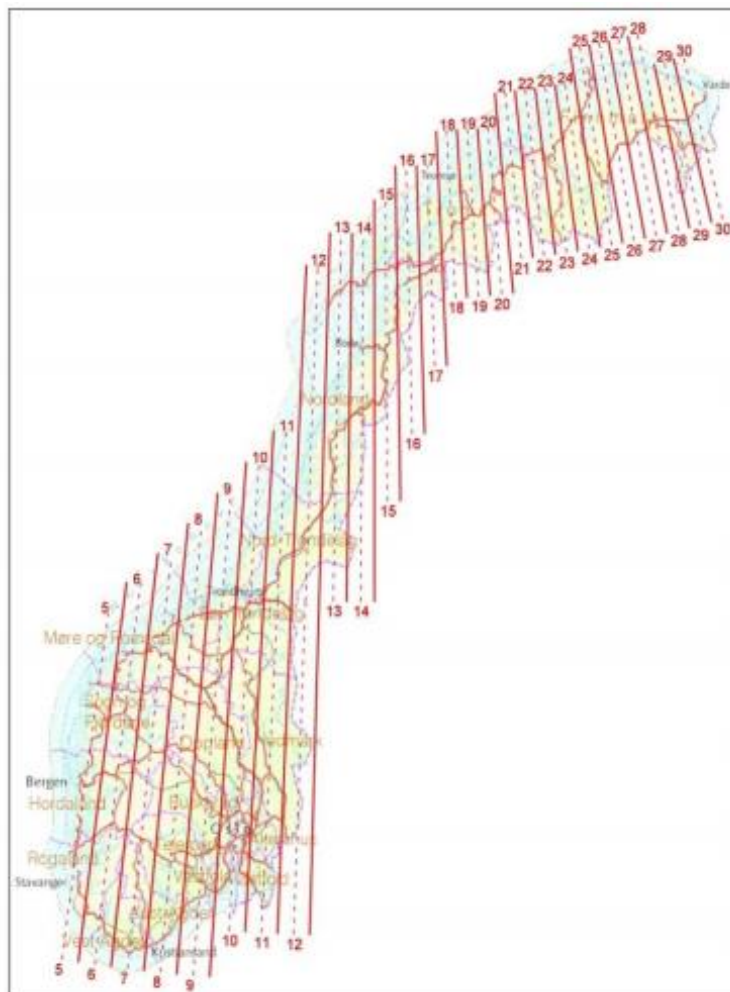
Figur 3.2 UTM (EUREF89) soneinndeling i Norge (Eilefsen, 2011). UTM-systemet deler Norge inn i tre soner.

Målestokken; skillet mellom distanse på en globus og distansen på jorden får avvik når jorden blir fremstilt i et todimensjonalt plan. Målestokken i EUREF89 UTM er 0,9996 og er forklart i figur 3.3. Maksimalt avvik er som vist -400 ppm (400 millimeter per 1000 meter). Målestokkfeilen skyldes soneinndelingen, og ulempen med EUREF89 UTM er at de brede sonene gjør målestokkfeilen relativ stor (Amlien & Gilde, 2013; Eilefsen, 2011).



Figur 3.3 Illustrasjon a målestokkfeil i EUREF89 UTM sone 32 i snitt sør-nord. Basert på (Eilefsen, 2011). Figuren viser et tverrsnitt av sonen med en normal på midtre område i sonen. Den krumme overflaten blir gjengitt i et to-dimensjonalt plan ved å flates ut som illustrert med de røde pilene. De midtre områdene i sonene får et avvik på -400 ppm på grunn av bredden på sonene.

I de fleste tilfeller gir målestokkfeilen ubetydelige avvik, men for prosjekter i bygg- og anleggsbransjen med krav til nøyaktig geometrisk plassering er dette en utfordring (Eilefsen, 2011). For å løse problemstillingen har BA-bransjen og Statens Kartverk utarbeidet en egen kartprojeksjon der Norge er delt inn i flere soner. Ved å dele kloden inn i flere soner, blir systemet mer homogent og nøyaktig. I dette systemet, Euref89 NTM, er største feil innen sonene 11 ppm (11 millimeter per 1000 meter). Fra å være delt inn i 3 soner i UTM-systemet er Norge delt inn i sone 5 til sone 30, det vil si 26 soner i NTM-projeksjonen som vist i figur 3.4 (Eilefsen, 2011).



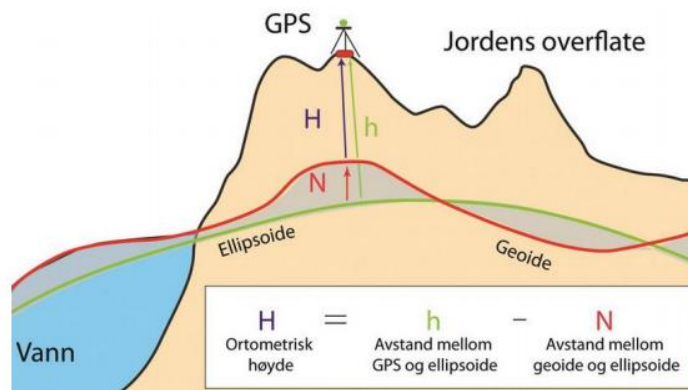
Figur 3.4 NTM (EUREF89) soneinndeling i Norge (Eilefsen, 2011). NTM-systemet deler Norge inn i 26 soner. Dette gir et maksimalt avvik 11 ppm, som er en signifikant reduksjon fra UTM-systemets avvik på 400 ppm.

Dagens løsning på bruken av de to systemene er at kartdataene forvaltes og lagres i EUREF89 UTM, men transformeres til EUREF89 NTM for planlegging og bygging. Transformasjonen mellom systemene er en matematisk beregning og er eksakt med millimeters nøyaktighet. Derfor er det to offisielle koordinatsystemer i Norge; EUREF89 UTM og EUREF89 NTM. Det er to offisielle kartprosjeksjoner: UTM og NTM, men et offisielt datum som blir brukt i begge projeksjonene: EUREF89 (Eilefsen, 2011).

Det vertikale grunnlaget

Det offisielle høydesystemet i Norge kalles NN2000. Dette ble innført siden det eldre systemet inneholdt betydelige mangler på grunn av landhevingen. Innføringen av NN2000 gjør at satellittbasert måleteknologi blir bedre utnyttet (Kartverket, 2016b). Rammeverket som ligger til grunn for at GPS-systemet kan beskrive høydeposisjoner baserer seg på geodesi; vitenskapen om form på jorden, gravitasjon og endring. Figur 3.5 illustrerer hvordan GPS-systemet beregner høydeposisjoner. Geoiden er en tenkt flate med konstant samsvarende gravitasjonskraft, og kan dermed bli sett på som en ellipsoide med bulkete

overflate (Strømsholm, 2010). En ellipsoide er en matematisk form hvor hvert plan blir skåret i en ellipse; i dette tilfellet ved et sett parametere som beskriver jordens form og størrelse (Eilefsen, 2011). GPS-koordinater referer til en bestemt ellipsoide navngitt WGS84 (World Geodetic System). WGS84 er et standard geodetisk datum som er utarbeidet av det amerikanske forsvarsdepartementet (Bockmann et al., 2009). Ortometrisk høyde (høyde over havet), forklart med figur 3.5, er forskjellen mellom ellipsoiden og geoiden.



Figur 3.5 Ellipsoide og geoid . Geoiden er en tenkt bulkete overflate med lik gravitasjonskraft, hvorimot ellipsoiden representerer den lukkede, krumme flaten som et plant snitt gjennom jordens overflate gir (Eilefsen, 2011).

I GPS-målinger er det derfor nødvendig å kjenne til geoidhøyden i området for å vite nøyaktig høyde over havet til et punkt. Målinger fra landmålere blir derfor gitt med informasjon om geoidhøyde til hver enkelt måling.

Landmålingene i casestudiet blir foretatt med to ulike koordinatsystemer. Bildene fra droneoperasjonen er referert med WGS84, mens fastmerkene fra landmåleren er målt inn med NN2000 høyder (tabell 5.1). For å få en korrekt orientert modell, oppgis koordinatsystemet som er brukt når landmålingene prosesseres, og programmet transformerer koordinatene automatisk.

Produkter av landmåling i casestudiet:

Når datagrunnlaget for de aktuelle punktene er innhentet, kan geomatisk metode brukes for å produsere prosjekteringsgrunnlaget. Aktuelle produkter av landmålingen i dette studiet er:

- Ortofoto: flybilder som har de samme geometriske egenskapene som kart. Ortofoto kan knyttes til referansesystem og derfra gi terrengdata for 3D-visualisering (Kartverket, 2016c).
- Punktsky: et sett punkter i det tredimensjonale rom, definert med x-, y- og z-koordinater.
- Terrengmodell: Viser overflaten til område, inkludert koter. Kan fremstilles tredimensjonalt (3D-modell), med utstrekning i rommet.

3.1.2 Landmåling ved bruk av teknikker for fjernmåling

Landmålinger der en person innhenter data om gitte enkeltpunkter er tidkrevende. Ved å benytte metoder for fjernmåling kan observasjoner og datainnsamling av et objekt eller fenomen gjøres uten fysisk kontakt og direkte tilknytting. Fjernmåling blir brukt for å hente inn informasjon om karakteristikk til områder, kartlegging, mineralletting, arealplanlegging og ressursstyring (Logsdon, 2017). Målemetoden gir mennesket mindre tilstedeværelse og gjør det mulig å hente inn informasjon fra områder som mennesker ikke kan bevege seg i av sikkerhetsmessige årsaker.

Flyfotografering

Det meste av geodata i Norge produseres i dag ved hjelp av fotogrammetri fra flyfoto (Dick, 2009; Kartverket, 2017). Omløpsfotograferingen i Norge skjer også med flyfotografering. For kartlegging av terreng blir det tatt vertikale bilder som bearbeides til ortobilde og kart. Flyfotograferingen dekker store landområde hvert år, og i dag finnes det ortofoto med 50 centimeters- eller bedre bakkeoppløsning for hele landet. Omløpsfotograferingen som blir gjort nå skal dekke hele landet med bakkeoppløsning på 25 centimeter (Kartverket, 2017).

Bruk av droner i fjernmåling

Kartgrunnlaget fra flyfotograferingen har varierende bakkeoppløsning. Derfor er det i enkelte prosjekter ønskelig å ha et oppdatert kartgrunnlag til prosjektering og arealplanlegging. I prosjekter innen BA-bransjen er det oftest ikke økonomisk forsvarlig å bruke fly til å hente inn denne informasjonen på grunn av kost/nytte vurderinger. Ved å ta i bruk drone, som har langt lavere operatørkostnader kan områder likevel måles inn ved fjernmåling. Dette kan gjøres ved å bruke drone og kamera til å ta bilder og etterpå gjennomføre fotogrammetri. Prinsipper bak både fotogrammetri og dronesystem er videre forklart i de kommende kapitlene.

Feilkilder i landmåling

Landmålinger er utsatt for feilkilder som kan deles inn i flere kategorier (Eika, 1947):

- Grove feil: vesentlig større feil en forventet ut fra metoder og instrumenter brukt.
- Regelmessige/systematiske feil: virkningen på hver måling kan regnes ut når feilkilden er kjent.
- Tilfeldige feil: ukjente eller uoversiktlige årsaker.
- Ensidig virkende feil: feil som påvirker resultatene i en retning, men som varierer i størrelse.

For at resultatene av et landmålingsarbeid skal være pålitelig må resultatene bli vurdert og rettet etter feilkildene som er kjente. De ensidig virkende feilene er ofte vanskelige å oppdage, da de vil gi samme feil dersom resultatene kontrollmåles ved et senere tidspunkt. Ved å være klar over mulige feilkilder, kan det likevel arbeides for å unngå feilene, og resultatene kan bli mer pålitelige (Eika, 1947).

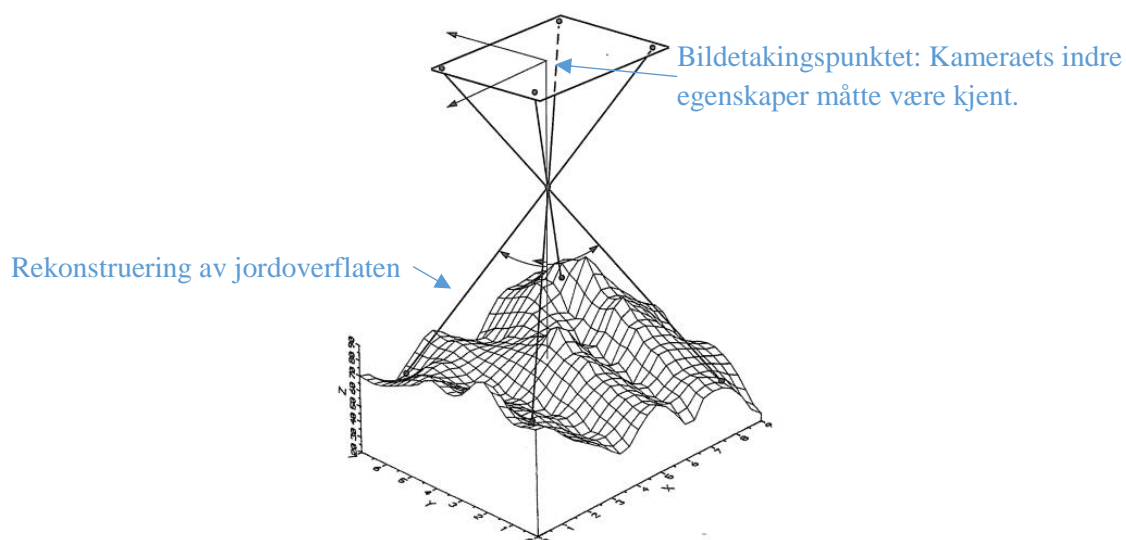
3.2 Fotogrammetri

Fotogrammetri er en teknikk for fjernmåling som bruker bilder til å avgjøre egenskapene til et objekt. Resultatet av fotogrammetri er kart, koordinater og terrengmodeller. Fotogrammetrien blir delt inn i flyfotogrammetri og nærfotogrammetri, og formålene for de to er henholdsvis kartlegging og oppgaver av mindre målestokk. En definisjon av fotogrammetri er (Andersen et al., 1991):

«Faget, vitenskapen og den indirekte måleteknikken som brukes når en ved hjelp av fotografiske eller digitale bilder observerer og bestemmer egenskaper som beliggenhet, form, størrelse og identitet for avbildet terreng eller andre gjenstander.»

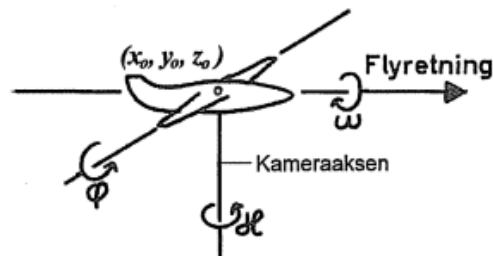
Utviklingen som har vært innen datateknologien har ført til store endringer i fotogrammetrien. Tidskrevende metoder er byttet ut til fordel for fleksible metoder gjort mulige av mer datakraft. Alle verktøy som blir brukte i fotogrammetrien har gått gjennom endringer i takt med utviklingen. Bilder har nå høyere oppløsning og de analytiske instrumentene er forbedret. Før ble *stereofotogrammetri* brukt for å avgjøre elementer ved det fotogrammetriske objektet. Stereofotogrammetrien rekonstruerte fotograferings-situasjonen ved å bruke den *indre- og ytre orienteringen* til kameraet, og analyserte bilder som ble tatt fra ulike vinkler av samme objekt. Prosessen krevde både tid og nøyaktig arbeid (Andersen, 1999).

Indre orientering (figur 3.6) omhandler størrelser vedrørende kameraets indre geometri som må være kjent for å kunne rekonstruere strålebunten som danner bildet som er tatt ved hjelp av matematiske beregninger. Disse beregningene er ikke forklart, da de i dagens metoder beregnes automatisk ved prosessering i programvare.



Figur 3.6 Indre orientering. Rekonstruering og beregninger ble tidligere gjort for hand for å lage modell av områder (Andersen, 1999). Hvert punkt på jordoverflaten måtte gjenskapes fra bildetakingspunktet ved å ha kontroll på kameraets indre geometri og den strålebunten som blir sendt ut i bildetakingsøyeblikket.

Ytre orientering omhandler beliggenheten til kameraet, ut i fra posisjonen i x-, y- og z-retning og ut i fra orienteringen (fotograferingsretningen) av kameraet (vinklene i tre retninger). I figur 3.7 vises vinklene, der to vinkler oppgir avvik i forhold til horisontalplanet og en vinkel gir avvik i forhold til rotasjon rundt kameraaksen.

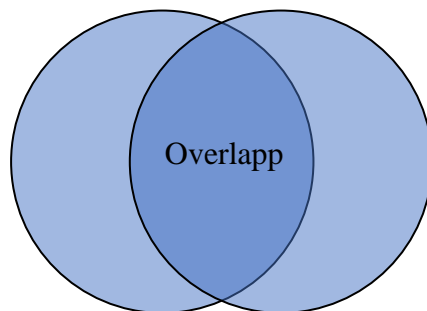


Figur 3.7 Ytre orientering handler om posisjon og orientering (Andersen, 1999; Andersen et al., 1991). Under flyvning er posisjonen gitt som en eksakt beliggenhet i rommet i form av en x-, y- og z-koordinat. Orientering er gitt med to vinkler fra horisontalplanering (vist som ω og φ i figuren) og en vinkel i forhold til rotasjon om normalen (vist som ξ i figuren).

I dag er metoden med manuelle beregninger erstattet av digital fotogrammetri og datamaskiner som er utrustet med programvare som gjennomfører orienteringsprosessen og målinger av geodata. Bildefilene som blir tatt i fotograferingsarbeidet blir lastet inn i et program som gjennomfører automatiserte delprosesser for å analysere bildene (Dick, 2009). Fra krevende prosesseringsmetoder, kan mye gjøres automatisk ved hjelp av disse prosesseringsprogrammene.

Forbedringen i de analytiske instrumentene resulterer i at det digitale kartet som er en integrert del av geografiske informasjonssystemer (GIS) er et forbedret sluttprodukt. Et sluttprodukt er digitale terrengmodeller (DTM) som beskriver topografien til arealet som blir målt, med andre ord dets overflateform (Andersen et al., 1991). Disse dataene er en fordel for arealplanlegging og prosjekteringsarbeider. Fra å ha et flatt todimensjonalt kart, kan terrenget med DTM representeres på ulike måter, fra ulike synspunkter.

For den kommersielle bruken av fotogrammetri er spesifikasjonene til kameraet som brukes en kritisk suksessfaktor. Et bedre kamera kan ta bedre bilder og derav genereres en tydeligere modell med synligere punkter (Ladsten, 2017). I stor grad kan en bestemme nøyaktigheten til resultatet ved hjelp av en passende bildemålestokk. Graden av overlapp (figur 3.8) på bilder har også utslag på nøyaktigheten til modellen.



Figur 3.8 Illustrasjon på overlapp av bilder. Punkter som ligger innenfor det overlappede området finnes igjen i begge bildene. Koordinatfesting av disse punktene blir mer nøyaktig da de blir beregnet ut fra to punkter, og usikkerheten i posisjonering av disse punktene reduseres.

3.3 Drone til landmålingsoppgaver

Ved å sette kamera på drone kan områder skannes ved å bruke samme prinsipper som ved flyfotogrammetri. Forskjellen ved å bruke drone er at spesifikasjonene til kamera og utstyr i fotograferingssituasjonen er avhengig av vekten som dronen kan bære. Stabiliteten i droneskroget påvirker også operasjonen. For å belyse metoden og utfordringer ved å bruke drone med fotogrammetri beskrives hovedprinsippene til dronen og utstyret som blir brukt i dette kapitlet.




3.3.1 Generelt om droner

Droner eller RPAS (Remotely Piloted Aircraft System) er luftfartøy som ikke har en operatør ombord, men flyr autonomt eller via fjernstyring (Yu & Zhang, 2015). Gjennom oppgaven blir ordet «drone» brukt om systemet som består av et ubemannet luftfartøy, bakkekontrollstasjon og kommunikasjonssystemet som kobler dataene sammen. *Nyttelastene*; det vil si sensorer, GPS-mottaker, kamera og komponenter som gjør droneoperasjonen kommersiell, blir omtalte som integrerte deler av dette systemet.

Hovedsakelig kan droner deles inn i tre kategorier basert på vingene: fastvingedrone, helikopter og multikopter. Eksempler på disse tre er vist i tabell 3.1. Alle dronene inkludert i tabellen er egnet til å ta bilder for å gjennomføre fotogrammetri og er relativt dyre systemer. Generelt er droner til kommersiell bruk ofte er dyrere enn droner for fritidsbruk.

De mest utholdende dronene er fastvingedroner med forbrenningsmotor. Størrelsen på dronen og nyttelasten som blir satt på bestemmer i stor grad dronens utholdenhet. Enkelte av fastvingedronene har flytid opp til 20 timer, som for eksempel FX450 Robot Aviation (RobotAviation, 2017). Vingeutformingen avgjør i stor grad hvilken drone som er best egnet til det enkelte oppdraget. Droner blir klassifisert ut fra vekt eller utholdenhet, rekkevidde og høyde (Yu & Zhang, 2015). Vekten har mye å si for sikkerhet og brukervennlighet.

Tabell 3.1 Eksempler på dronetyper: Vingeutforming og spesifikasjoner.²

Drone- type:	Fastvingedrone	Helikopterdrone (Én roterende vinge)	Multikopterdrone (Flere roterende vinger)
<i>Eksempel</i>	eBee	RX200	Falcon 8 – oktokopter.
<i>Bilde</i>			
<i>Størrelse</i>	W: 0,96 m	D: 3,4 m L: 3,0 m	L: 0,82 m B: 0,77 m
<i>Flytid</i>	< 40 min ved 90 km/h	< 6 timer, mindre med last	12-22 min
<i>Nyttelast</i>	Medium/stor Integrert kamera	Liten/medium/stor 35 kg	Liten/medium < 0,75 kg
<i>Vekt</i>	0.69 kg	50.0 kg uten nyttelast	2.3 kg
<i>Pris³</i>	300 000kr- 500 000kr	3 000 000kr ++	300 000kr – 500 000kr
<i>Annet</i>	Kan ha lang flytid og stor høyde. Elektrisk drone.	Forbrenningsmotor. Hastighet 0-120 km/h	Tåler vind opp til 30 knop/15ms. V-formet

3.3.2 Utviklingen av dronebruk

Potensialet for å bruke droner til kommersielle oppgaver innen BA-bransjen var trolig oppdaget tidlig på 90-tallet. Ideen fikk likevel ikke stor oppslutning, så forskning og utvikling på området gikk sakte (Wester-Ebbinghaus, 1980). De senere årene har droner blitt mer og mer brukt i forbindelse med flere typer undersøkelser og til kartlegging. Droner har vist seg å ha et mangfold av nyttige bruksområder, og er ofte både raskere og sikrere enn den tradisjonelle kartleggingen (Barston, 2014; Colomina & Molina, 2014).

Fra å være en dyr investering forbeholdt de spesielt interesserte, har droner blitt mer tilgjengelige både for privatpersoner og for bruk i industrivirksomhet. I dag benyttes droner til oppgaver fra inspeksjon av el-kraftverk og sikkerhetsovervåking til kartlegging av områder. Dette har resultert i spesialiserte selskaper innen operasjon av droner som gjennomfører prosjekter for privatpersoner og eiendomsmeglere og til kartleggingsformål. Tabell 3.2 viser utvalgte områder der droner blir benyttet i dag. Nyttelasten varierer fra enkle kamera til mer avanserte radere for bruk til fjernmåling (Elkaim et al., 2015). Det er strenge krav for å drive dronevirksomhet, både med opplæring av ansatte, sikkerhet. Regelverket settes av Luftfartstilsynet og Nasjonal Sikkerhetsmyndighet (NSM). Regelverket er beskrevet i kapittel 3.4.

² (AscendingTechnologies, 2017; RobotAviation, 2016; senseFly, 2017)

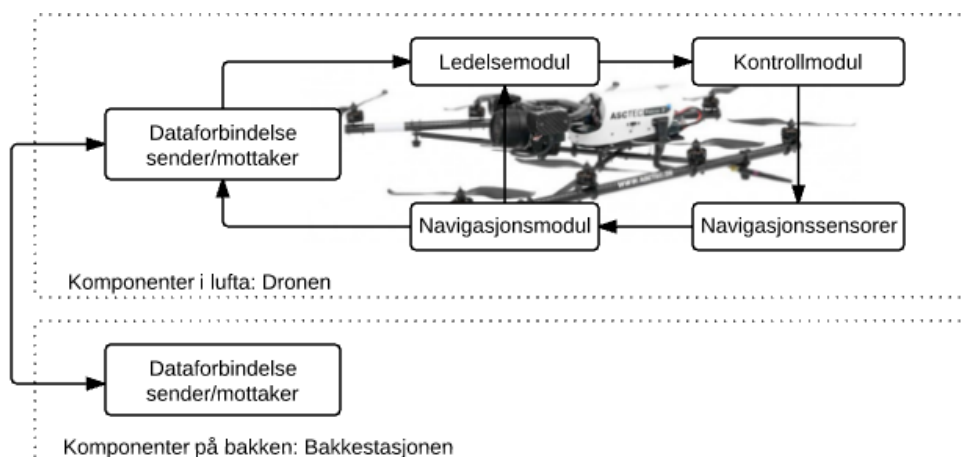
³ Priser for dronene er ikke offentlig tilgjengelige, og varierer med sensor/nyttelast som blir valgt. Prisene er estimert etter samtale med intervjuobjekter.

Tabell 3.2: Noen bruksområder til droner, og formålet med bruken i et utvalg av industrier⁴

<i>Oppgave</i>	<i>Nyttelast/sensor</i>	<i>Formål</i>
<i>Ressurs-kartlegging</i>	Kamera, LIDAR,	Masseberegning av f.eks. pukkverk, gruvedrift, industriell varebeholdning.
<i>Arkeologi</i>	Kamera, BPR/GEO radar	Gjenkjenne formasjoner.
<i>Jordbruk og skogbruk</i>	Multispektral sensor	Estimere avlinger. Estimere volum av skog.
<i>Overvåking av el-nett</i>	Kamera	Finne problemområdet for å raskt få mannskap til rett plass for utbedring av linjer.
<i>Beredskap</i>	Infrarødt (IR) kamera, og kamera	Kartlegge brannområde, finne varmekilder, og kontrollere slokking av brann. Søk – og redning.

3.3.3 Hvordan UAS fungerer

Falcon 8 brukes som eksempel for å forklare hvordan styringssystemet til en drone fungerer. Falcon 8 er utstyrt med åtte rotorer i v-form gjør at dronen kan sveve stillestående og rotere 360° på stedet. Dette er for fotogrammetriens del viktig for å holde dronen stabil og gi skarpe bilder. I tillegg er det en stabilisator på kameraet som kontinuerlig stabiliserer kameraet og sørger for at fotograferingsplanet motarbeider påvirkningen av vind (Asbjørnsen, 2017). Figur 3.9 viser konseptet bak GNC-løsningen (styringssystemet) og illustrerer hvordan de ulike elementene kommuniserer sammen (Elkaim et al., 2015). Nedre del av figuren viser bakkestasjonen og de tilhørende komponenter. Øvre del av figuren illustrerer komponentene som er i lufta, plasserte i droneskroget.



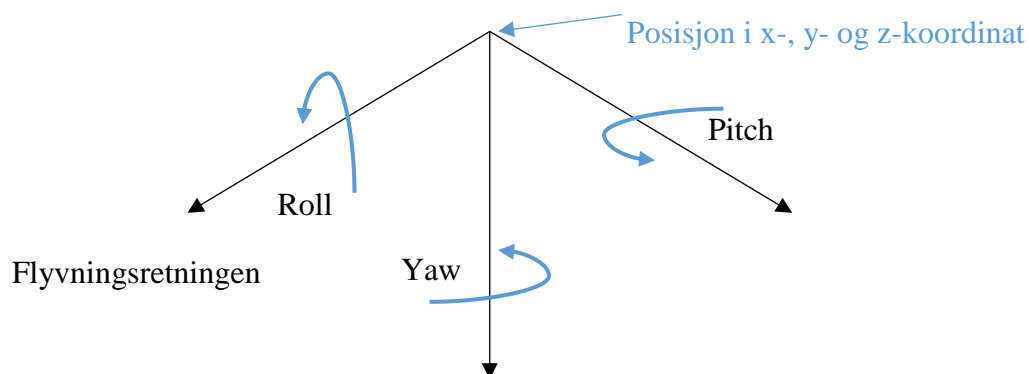
Figur 3.9 Prinsippet bak styringssystemet til dronen. Basert på (Elkaim et al., 2015). Bakkestasjonen inneholder komponenter som kommuniserer med dronen i lufta gjennom dataforbindelse. Dronen er utstyrt med komponenter for styring, navigering og kontrollering.

⁴ (Turner et al., 2016)

I Falcon 8 sitt styringssystem er komponentene på bakken samlet i en håndholdt konsoll som droneoperatøren bærer med seg under flyvningsoperasjonen. På konsollen er det en skjerm for å kunne følge med på hva dronen ser, og en oversikt over hvor dronen er. Alle bildene som blir tatt kommer opp med tilhørende informasjon på skjermen. For å koordinatfeste bildene er det en koordinatsender på bakkestasjonen som kommuniserer med navigasjonsmodulen i dronen og geotagger bildene. Geotaggene lagres i en fil med tilhørende bildenavn som brukes i prosesseringen av bildene.

Komponentene i dronen (de luftbårne komponentene), kommuniserer ved at alle er koblet til *hovedkortet*. Hovedkortet fungerer som et sentralbord og knytter kommunikasjonen mellom alle komponenter sammen. Dataforbindelsen med sender og mottaker sørger for at dronen kan kommunisere med bakkekontrollstasjonen, og sender informasjon fra bakkekontrollstasjonen til de resterende komponentene i dronen. Ledelsesmodulen sender instruksjoner om banen som dronen skal følge gjennom inspeksjonen, kontrollmodulen står for kontroll over fremdriften, høyderegulering og balansen til dronen og navigasjonsmodulen sørger for at dronens posisjoner (Elkaim et al., 2015).

Dronen har et styringssystem som kan bestemme ruten til dronen på forhånd. Da legges området som skal inspiseres inn i et program på PC-en og den definerte ruten flys automatisk (Søderholm, 2014). For fjernstyring er det sensorer for registrering av tre posisjonskoordinater, tre komponenter for hastighet og tre parametere som uttrykker orientering, tilsvarende som ved stereofotogrammetri (kapittel 3.2). Dette brukes som referanse for hvor dronen er til ethvert tidspunkt i løpet av flytiden (Elkaim et al., 2015). Orienteringen gir ved vinklene «yaw, pitch og roll», som vist i figur 3.10. Ved manuell flyging er det en joystick på bakkekontrollstasjonen for å navigere plassering til dronen og en for å styre hastigheten.



Figur 3.10 Forklaring av yaw, pitch og roll. Tilsvarende som ytre koordinater i stereofotogrammetrien blir vinkel om flyvningsretningen (roll), omdreiningssakse (yaw) og vipping perpendikulært av flyvningsretningen (pitch) målt.

Andre viktige komponenter i dronesystemet er batteriet som gir drivkraft og minnekortet som tar vare på den innhentede informasjonen. Utviklingen som har vært innen litiumbatteri har bidratt til å muliggjøre kommersielle droneoperasjoner, da bedre batteri gjør droner mer utholdende.

For å hente inn informasjon og gjøre dronen til et kommersielt verktøy, er den valgte nyttelasten en viktig komponent. Nyttelast velges ut fra droneoperasjonens formål og omfang. For at problemstillingen og oppgaven skal konsentreres rundt en aktuell og relevant metode, er nyttelasten valgt å være kamera. Kamera til å gjennomføre fotogrammetri med er en tilgjengelig metode i Stavanger-regionen, og er den metoden som var disponibel i tidsrommet da datagrunnlaget ble hentet inn.

Feilkilder

Uavhengig av nyttelast som er benyttet, er dataene fra droneoperasjonen mindre brukbare dersom de ikke georefereres. Feilkildene i geomålingene må også tas høyde for. For å belyse noen mulige feilkilder i georeferansene, listes de opp med forklaring (Elkaim et al., 2015; Kartverket, 2016a):

- Nøyaktigheten i barometeret: Barometeret har følere med en usikkerhet. Falcon 8 har redundante løsninger med tre barometre for å redusere sannsynligheten for tilfeldige avvik i målingene.
- Endringer i barometrisk trykk: Høyde som dronen er sett til å fly beregnes ut fra barometrisk trykk i det dronen starter flyruten. Dersom det barometriske trykket endres i løpet av flytiden vil dette gi avvik i faktisk flyhøyde i forhold til målt høyde.
- Magnetisk misvisning: Kompasset peker mot magnetisk nord pol og nord-sør meridianene på kartverk peker på geografisk nord pol. Vinkelen mellom kalles den magnetiske misvisningen. Dronen kompenserer for dette ved å misvisningen ha lagt inn for hver GPS-posisjon.
- Treghet i GPS-målinger: Satellittsystemet påvirkes av blokkering og forskyving av signaler. Dette avhenger av forhold i atmosfæren og på signalmottakerens kvalitet.
- Høydeendring i terrenget: Den høyden dronen starter på, blir gitt ut i fra startpunktet, og dronen følger det barometriske trykket. Dette betyr at dronen ikke følger høydeendringer i terrenget, og kan få et avvik i fotograferingshøyder i områder med store høydevariasjoner.

3.3.4 Prosessering og lagring av data

Datamengden som samles inn fra dronebildene er relativt stor. Størrelsen avhenger av bildeoverlapping og oppløsning på kameraet. Oppløsningen på kameraet bestemmer centimeter per piksel i bildene ved bestemte flyhøyder, og derfor også den teoretiske nøyaktigheten som kan antas ut i fra bildene.

Området som er brukt til undersøkelsen i denne oppgaven er 34,8 dekar (348 000 kvadratmeter) og det blir tatt 819 bilder med en størrelse på omtrent 30 megabyte hver. Sluttproduktet av prosesseringen, fra rå bilder til ferdig punktsky og tredimensjonal terrengmodell er avhengig av prosesseringsprogram, datamaskinminne (korttidsminne og kapasitet på datamaskinen) og hvilke parametere som legges til grunn for prosesseringen i programmet. Derfor er det ikke bare dronesystemet og målingene av kontrollmerkene/GCP som må være valide, men det settes også krav til at programvaren som blir brukt er pålitelig.

Programvaren er ansett pålitelig dersom prosesseringen er repeterbar. Med dette er det innforstått at brukere som prosesserer samme datagrunnlag skal få samme resultater ved tilsvarende bruk av programmet.

For å bruke filene i ulike programvarer må ofte filene konverteres til andre formater. Konverteringen mellom filformater kan være komplisert. Enkelte programmer tillater å eksportere til flere filformater, men programmer uten sammenfallende filtyper kan være vanskeligere å flytte filene mellom. I tilfeller der programmer krever spesifiserte filtyper, må filene importeres i et utenforstående program for å konverteres for videre bruk. Enkelte konverteringer har også begrensinger i informasjonsmengden som flyttes, og endrer mengden informasjon i filen. Muligheter for eksport til ulike filformater for det enkelte programmet kan sees i sammenheng med utviklere av programvaren og egeninteressen de har i programvaren.

Mangel på en felles programvare for ulike fagområder innen byggeprosjekter fører ofte til at prosjekterte løsninger ikke passer sammen i gjennomføringsfasen. «Åpen BIM» er et uttrykk som blir brukt om programmer som kan settes sammen ved å bruke et felles format. Dette åpner muligheten for å kontrollere at alt som er prosjektert innenfor ulike fagfelt kan samkjøres, og forsinkelser kan unngås i leveransen. Programmene der «åpen BIM» (IFC-filer) er benyttet i denne oppgaven er Revit og ReCap, begge Autodesk programvarer (Elvevoll & Sætre, 2017).

3.4 Gjeldende regelverk

På grunn av en hurtig utvikling innen droneteknologien, både for privat og profesjonell bruk, er myndighetene i de fleste land på etterskudd i forhold til retningslinjer og regelverk for veiledning og kontrollering av dronebruk (Thompson & Bracken-Roche, 2015). I 2017 ble det pålagt med praktisk prøve for å kontrollere ubemannede fartøy i Norge innenfor kategori RO2 og RO3. Hensikten er å sikre trygg og riktig bruk. Regelverket baseres på dronetype og formål med flygningen. Dersom dronen brukes til sport, konkurranse eller rekreasjon gjelder de samme retningslinjene som for modellflyging. Da kan ikke dronen bære nyttelast, hverken kamera eller annet utstyr for å nyttiggjøres.

Regelverket rundt dronebruk er dekket i bestemmelse for sivil luftfart A 7-1 «Forskrift om luftfartøy som ikke har fører om bord mv» (Lovdata, 2015). Ved flyging skal dronen vike for andre luftfartøy, ikke fly nært ulykkessteder og operatøren skal ikke være påvirket av alkohol. Videre er det tre operatørkategorier for bruk av drone som baseres på vekt og type operasjon som gjennomføres. Det blir også skilt mellom operasjoner innenfor (VLOS) og utenfor (BLOS) synsrekkevidde (Luftfartstilsynet, 2016). Sikkerhet er et punkt som blir høyt vektet, og all flyging skal skje hensynsfullt, uten risiko for skade, og skal heller ikke være til sjenanse for andre. Dronen må være godt synlig, og det er påbudt å holde sikkerhetsavstander over bakken og i nærhet til folkemengder. En rask oppsummering av de viktigste punktene er gjengitt i tabell 3.3. Dersom en droneoperasjon skal flys på avstander under 50 meter fra objekter, må det gis særskilt tillatelse for operasjonen på

forhånd. Dersom dronen veldig liten (under 250 gram) gjelder egne regler. Disse er ikke beskrevet fordi de ikke er relevante for bruken av dronen i denne studien.

Tabell 3.3: Gjeldende regler for operatører som styrer luftfartøy uten fører om bord (Lovdata, 2015; Luftfartstilsynet, 2016).

OPERATØRTYPE	RO1	RO2	RO3
Forklaring	- Enkle operasjoner med mindre droner - Generelle krav - Operative krav - Regler for drift - Melde flyvning til luftfartstilsynet	- RO1 regler - Tilleggskrav kap.5 -Tilleggsbestemmelser kapittel 8	- RO1 regler - Tilleggskrav kap.6 -Tilleggsbestemmelser kap.9 -Kan drives av turbinmotor
Vekt	< 2,5 kg	< 25 kg	⇒ 25 kg
Maksimal høyde	120 meter	120 meter	> 120 meter
Maksimal hastighet	60 knop (30 m/s)	80 knop	> 80 knop
Tilleggskrav system		Sikkerhetssystem. Settes på bakken om en mister kontrollen. Fastvinge: lande kontrollert dersom nødsituasjon eller sekundærradio	Sikkerhetssystem. Settes på bakken om en mister kontrollen. Fastvinge: lande kontrollert dersom nødsituasjon eller sekundærradio
Krav til synsrekkevidde	Kun VLOS	VLOS og EVLOS Lavintense lys dersom BLOS (med spesifikasjoner)	Lavintense lys dersom BVLOS (med spesifikasjoner)
Lyskrav	Kun fly i dagslys	Markeringslys natt	Markeringslys natt
Krav til organisasjonen	Må foreligge operasjonsmanual for bedriften	Opparbeide kunnskap Sikkerhet, luftrom, kommunikasjon, signaltetthet Dokumentert kompetanse Ansvarsområde for personell i operasjonsmanual	RO2 + grundigere operasjonsmanual
Merking	Navn og telefonnummer	Identifikasjonsnummer fra Luftfartstilsynet	Identifikasjonsnummer fra Luftfartstilsynet

3.5 Kriterier for effektivisering

For å hevde at nye metoder er mer effektive enn eksisterende, velkjente løsninger er det visse kriterier som legges til grunn i denne studien. Forutsetninger for forbedringene i metodebruk defineres som bedre kvalitet, forbedret tids- og kostnadsbruk og økt nytteverdi. Betydningen av forutsetningene er forklart som:

- Kvalitet: Høyere nøyaktighet av resultatene og/eller mer detaljert informasjon: metoden må være bedre enn den allerede eksisterende metoden. Dette ved å få bedre resultater, eller generere samme resultater raskere, ved bruk av mindre ressurser.
- Kostnads- og tidsbruk: Metoden er billigere eller tilsvarende i pris og gir bedre kvalitet på resultatene. Tiden som brukes for å ferdigstille resultatene er redusert eller tilsvarende, men med bedre kvalitet på resultatene.
- Nytteverdi: Metoden er mer brukervennlig: lettere å benytte seg av, mer tilgjengelig og/eller med færre feilkilder. Det kan også forstås som at det er bedre gjengivelse av den virkelige verden, og/eller med flere bruksområder.

Valget om å bruke drone med fotogrammetri fremfor, eller i tillegg til, tradisjonell landmåling er ikke bare opp til bedriftene som bestiller og utfører droneoperasjonen. Prosjekttil produserer ikke kartgrunnlag for egeninteresse, men som grunnlag i arealplanlegging, boligprosjektering og tilsvarende for å bruke aktivt i prosjekteringsfasen. Dette krever at en tredje part har forståelse og ser fordelen av å bruke drone med fotogrammetri, og er villig til å betale for det før det blir en anerkjent metode.

4 Forskningsmetode

Bakgrunnen for å benytte en systematisk metode for forskning er å ha en håndfast måte å innhente, organisere og tolke informasjon på. Det er viktig å ha et bevisst forhold til metode for å kvalitetssikre arbeidet i forbindelse med undersøkelser, og for at enhver som ikke har vært delaktig i arbeidet skal kunne vurdere underlaget for konklusjonen (Bakkehaug, 2016). Mulighetene for videreføring av arbeidet er også motiverende for å ha en ryddig, åpen og systematisk forskningsprosess.

4.1 Metodevalg

En empirisk forskningsmetodikk innhenter kunnskap ved hjelp av systematiske observasjoner og undersøkelser (Malt & Tranøy, 2015). Lesere av oppgaven skal få forståelse for forskningsprosessen og se hvordan resultatene er innhentet. På grunnlag av problemstillingens natur har det i denne avhandlingen blitt funnet hensiktsmessig å benytte casestudie som metode. Casestudiet kan brukes til å gi en forståelse av et generelt fenomen basert på enkelttilfelle, og eventuelt si noe om forståelsen kan brukes som modell for forklaring på lignende problemer (Alasuutari, 1995; Lilledahl & Hegnes, 2000). En annen grunn for å velge en casestudie er dens anvendelighet til daglige problemer og tilgjengeligheten til forskning med en skriftlig avhandling. Casestudiets resultater kan relateres direkte til hverdagslige erfaringer og hjelper leseren å få forståelse for mer komplekse situasjoner (Yin, 2013). Fokuset i en case studie er å beskrive, forstå, forutse og/eller kontrollere objektet (Woodside, 2010), som i denne oppgaven er fenomenet drone med fotogrammetri til landmålingsformål. En kvalitativ metode passer godt når det ikke finnes mengder tidligere kunnskap om emnet, som i denne oppgaven (Streb, 2010).

Tradisjonelle landmålingsmetoder er velkjente for de som opparbeider og for de som bruker kartgrunnet. Utfordringene forbundet med landmåling kan lesere relatere til egne erfaringer, og ved en systematisk undersøkelse av å bruke drone med fotogrammetri kan enhver som har interesse i forskningen få en forståelse av situasjonen. Ved å forklare omstendighetene rundt undersøkelsesområdet, blir dette enkeltområdet brukt som modell for å forklare bruksområdet og effekten av å bruke drone med fotogrammetri for tilsvarende prosjekter. Casestudiets forskningsmetodikk er videre forklart i neste kapittel.

4.2 Casestudie

En casestudie er «en studie av én enhet» der målet er å prøve ut en teori eller et fenomen, og undersøke påvirkning innenfor de realistiske rammebetingelsene (Routio, 2007).

Yin definerer casestudie som:

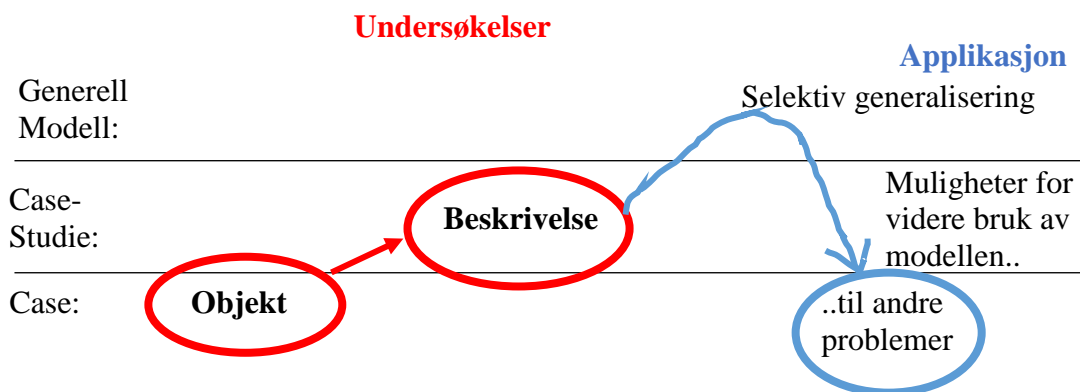
«A case study is an empirical inquiry that investigates a contemporary phenomenon within its real life context, especially when the boundaries between phenomenon and context are not clearly evident.» (Yin, 2013)

Caset som er benyttet som grunnlag i denne oppgaven er lagt til et område gjenstand for snarlig utbygging. Dette viser at casestudiet er reell for industrien, og av en størrelse som er innenfor det som kan anses som et normalt norsk boligfeltprosjekt. Ingen områder for utbygging er identiske, og derfor kan ikke fenomenet drone med fotogrammetri evalueres uten sammenheng med konteksten det brukes i. I henhold til definisjonen fra Yin er dette altså i en kontekst fra den virkelige verden der skillet mellom et fenomen og konteksten ikke er klart tilstede, og dermed aktuelt for en casestudie.

Problemstillingen som undersøkes i oppgaven omhandler utbyggingen av et bestemt prosjekt, men under de gitte betingelsene (kapittel 1.2.1) kan funnene generaliseres for andre tilsvarende prosjekter.

Forutsatt at caset kan direkte relateres til en gruppe tilsvarende caser med tilnærmet likt formål og krav til nøyaktighet, er det ikke hensiktsmessig å studere mer enn én enkelt case siden resultatene kan generaliseres for tilsvarende problemstillinger (Routio, 2007).

Gjennom en deskriptiv analyse av området og diskusjon av nytteverdi og økonomisk konsekvens for bruker og sluttkunde, er det utarbeidet en generisk beskrivelse av verdien og nøyaktigheten ved bruk av droner med fotogrammetri etter modellen vist i figur 4.1. For videre bruk av generaliserte konklusjoner fra denne avhandlingen, må det vurderes om objektet som undersøkes kan ansees som praktisk talt identiske med analysert case ut i fra de forutsetninger som er gitt. Konklusjoner fra casestudie er dermed aktuelle for caser som ikke har blitt undersøkt, såfremt at enhver som leser avhandlingen på et senere tidspunkt evaluerer hvilke konklusjoner som er gjeldende for deres bruk.



Figur 4.1 Deskriptiv metode (Routio, 2007). Casestudiet bruker et objekt som gjenstand for undersøkelse og utarbeider en beskrivelse av enkeltobjektet. Relevante funn blir brukt til å foreslå en selektiv generalisering (oppdagelse av likheter) som benyttes videre i aktuelle problemområder i tilsvarende caser.

Denne oppgaven er preget av at det finnes begrensede mengder relevant tidligere forskning på området. Hensikten med studiet er derfor ikke å finne målbare tall for forbedringer, men å undersøke hvilke faktorer som bidrar til effektivisering av nåværende metode. Casestudiemetoden er en kvalitativ forskningsmetode som kan brukes til å besvare spørsmål om «hvorfør» (Robson & Foster, 1989), og forklare konsekvenser av de

observasjonene som blir gjort. Casestudier kan baseres på bevis fra seks kilder: dokumentasjon, arkivmateriale, intervju, direkte observasjoner, deltaker observasjoner og fysiske gjenstander (Woodside, 2010). Problemstillingen i denne oppgaven blir besvart ved å innhente data, observere og dokumentere effektene av å bruke den foreslåtte metoden, intervju ressurspersoner, deltakelse i prosjektet og analyser av resultatene. Siden dette er en akademisk casestudie er fokuset på et enkelt objekt, og det produseres en detaljert, men ikke generalisert rapport basert på de funn som gjøres.

4.3 Forskningsmetode

Underkategorien av dette casestudiet er konstruktiv forskningsmetode som er en normativ tilnærming, med innslag av deskriptive elementer. Deskriptiv forskning beskriver og analyserer den nåværende tilstanden landmålingen, og den normative forskningen konstruerer en ny løsning; drone med fotogrammetri, og ser hvordan den kan løse problemet landmåling (Lukka, 2003). Posisjoneringen til den konstruktive tilnærmelsen er vist i figur 4.2.

	Teoretisk	Empirisk
Deskriptiv	Konseptuell tilnærming	Nomotetisk tilnærming Handlingsorientert tilnærming
Normativ	Beslutningsorientert tilnærming	Konstruktiv tilnærming

Figur 4.2 Posisjonering av konstruktiv forskning (Kasanen & Lukka, 1993). Konstruktiv forskning er en normativ tilnærming som konstruerer en løsning og undersøker potensiale for løsningen. Empirisk forskning er basert på undersøkelser, gjerne i form av eksperimenter.

4.3.1 Innsamling og prosessering av data

Følgende delprosesser ble koordinert mellom flere bidragsyttere til datainnsamlingen:

- Droneoperasjonen (Planlegging, gjennomføring, opplasting og overføring av bilder)
- Landmåling av fastmerkene
- Prosessering av bildene
- Generering av modellene
- Evaluering av modellene

Gjennom alle delprosessene som nevnt i delkapittelet over, ble det gjort observasjoner ut fra aktiv deltakelse i dronetrykningen, og selvstudie av de etterfølgende prosessene. Effektene av å bruke drone med fotogrammetri har vært tema for diskusjon både formelt og ved uformelle samtaler med ulike påvirkning (personell).

4.3.2 Evaluering av resultatene

Gjennom flere samtaler med ressurspersoner som er direkte involverte i reguleringsarbeid, intervju med konsulenter i BA-bransjen og diskusjoner med droneoperatører og fagpersonell er det dannet et godt grunnlag for vurderingen av metoden.

I denne forskningen er det ikke benyttet intervjuguide i samtale med intervjuobjektene. Formålet med å ikke benytte seg av en intervjuguide er å gi intervjuobjektene spillerom til å komme med spørsmål og tanker rundt emnet, og for å ikke utelukke kunnskap som de har å meddele. Toveiskommunikasjon med diskusjoner rundt metoden, resultatene og modellen ble ansett som nødvendig for å kunne fokusere samtalen rundt det sentrale spørsmål i problemstillingen. Målet med intervjuene er ikke entydig å få informasjon om eksisterende kunnskap, men å forsøke å skape ny forståelse rundt forskningsspørsmålet.

5 Casestudiet

Høsten 2016 ble det avtalt å undersøke effektene av å bruke drone til landmåling for arealplanlegging og prosjektering i samarbeid med Prosjektil. Området som er studert er et utbyggingsprosjekt i Reemarka på Bryne ved Riksvei 44. Arbeidet i Reemarka er i gang og derfor er området et godt utgangspunkt for å innhente nødvendige data til å undersøke bruksområder og nytteverdi for drone med fotogrammetri. For å få tilstrekkelig informasjon om effektene av dronebruken går fremdriften i prosjektet som normalt. Effektene av drone med fotogrammetri undersøkes for å benyttes i fremtidige prosjekter.

5.1 Det studerte området

Reguleringsplanen på Reemarka omfatter et avgrenset område på 34,8 dekar som hovedsakelig består av jordbruksareal. Figur 5.1 viser et flyfoto over Reemarka (til venstre i figuren), og et kart med plangrensen og byggegrensen for området er til høyre i figuren. Det er planlagt å bygge eneboliger, leiligheter og rekkehus med litt over 60 boenheter.



Figur 5.1 Bilde over Reemarka på Bryne⁵ og kart over plan- og byggegrense⁶. Det ubebygde området har boligfelt i vest, riksvei langs østsiden og et gardsbruk i sør. På nordsiden går et elveløp med en opparbeidet tursti langs ved.

⁵ (Google Earth, 2017)

⁶ (Prosjektil, 2017)

I sør er det et gårdsbruk og langs østsiden går Riksvei 44, noe som gjør at Statens Vegvesen har satt byggegrensen innenfor plangrensen, som vist i figur 5.1. I vest grenser utbyggingsområdet til et boligområde kalt Litle Åvegen. Her har det vært problemer med masseutrasinger. Derfor står noen av boligene på peler og andre konstruksjoner står på konstruksjoner av puter. Pelene settes gjennom løse masser og forankres i fjell eller annen stabil grunn. Putene er drenert sand og benyttes når byggene tåler elevasjonsendringer i grunnen. Peler og puter benyttes når grunnforholdene ikke er tilstrekkelige til direkte fundamentering. Ved tidligere gravearbeid har det vært problemer med at jordmasser raser ut og at bygninger flytter seg. For å ha kontroll på bevegelse i grunnen forbindelse med utgravninger til boenhetene, er det ønskelig å ha data over terrenget på forhånd. Interessant data er høyder på tomter, garasjer og hus. På denne måten kan utbyggere ivareta både egen og naboers interesse for å sikre kontroll over høydeendringer og ta stilling til eventuelle erstatningskrav som kan oppstå i forbindelse med dette.

For arealplanlegging og prosjektering er det hensiktsmessig å ha fullstendig informasjon til å fastslå avstander i terrenget. Dette for å holde reguleringsbestemmelsene i forhold til krav om parkeringsplasser, grøntområder og grenser som settes i området. Formålet med arealplanleggingen er å ha en god balansert plan som plasserer bebyggelsen fornuftig i terrenget. Ofte vil en fornuftig plassering være å flytte minst mulig masse. Derfor er det hensiktsmessig å kunne plassere boliger og byggverk slik at flytting av masse kan optimaliseres.

5.2 Innhenting av data

Før planleggingen av boligfeltet startes legges et grunnlagskart med informasjon om terrenget til grunn. Jordmasser har i flere perioder blitt flyttet og/eller byttet ut. Kartene som finnes i dag er av eldre opphav, og det har derfor blitt utført stikningsarbeid i forbindelse med reguleringen av området. Metoder for å hente inn denne informasjonen er beskrevet i kapittel 3.1. Dette arbeidet er ikke dekkende for hele området, og fullstendig informasjon over detaljer på plangrensen er heller ikke tilgjengelig.

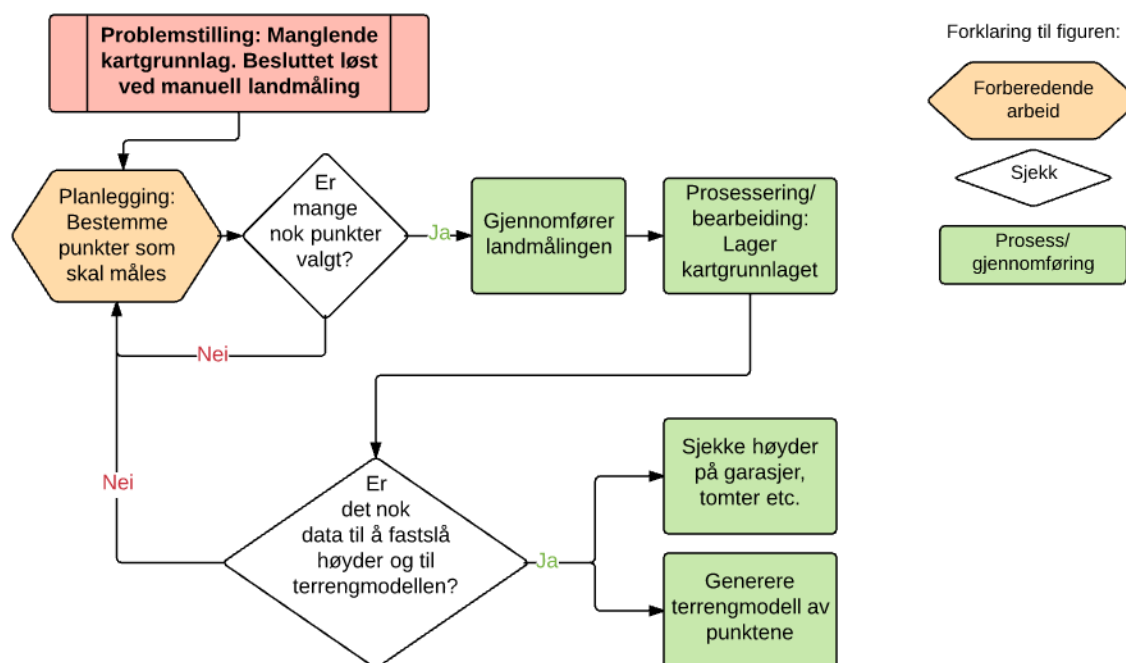
I etterkant av stikningsarbeidet ble det laget et terrengekart med informasjon om koter i dag (2016) og fra sist gang området ble målt inn i 1964. Kartet er vist i figur 5.2. Målingene fra 2016 ble gjort med håndholdt GPS på grunn av gode måleforhold på stikningsdagen. Terrengekartet benyttes til vurderingen av terrengmodellen som er generert fra droneflyvningen og fotogrammetrien.



Figur 5.2 Koter i Reemarka i 1964 og 2016 (Gjengitt med tillatelse fra Prosjektil). Kartet viser at høydelinjene fra den nyeste innmålingen er avvikende fra eldre måling datert 1964. Dette eksemplifiserer poenget med å oppdatere kartgrunnlaget i forkant av prosjektering og gjennomføring av nye byggeprosjekter.

5.2.1 Landmåling ved bruk av tradisjonelle metoder

Fremgangsmåte for å hente inn data ved manuell landmåling er som illustrert i flytskjemaet i figur 5.3. Metoden som blir brukt i for å måle kontrollpunktene i denne oppgaven er GNSS (kapittel 3.1). Hovedaktivitetene er mer utdypende forklart i dette kapittelet.



Figur 5.3 Flytskjema for kartlegging med manuell landmåling. Punkter som skal måles inn bestemmes i forkant av landmålingen. Landmåler gjennomfører landmåling og bearbeider grunnlaget før oversendelse til prosjekterende. Bruker informasjonen til høydemålinger, lage kotekart og til terrengmodeller. Figuren er basert på informasjon fra Heskestad (2017).

Planleggingen: Kjøper bestiller landmåling og beskriver området som skal stikkes ut i xy-planet. Dette blir overlevert til landmåleren.

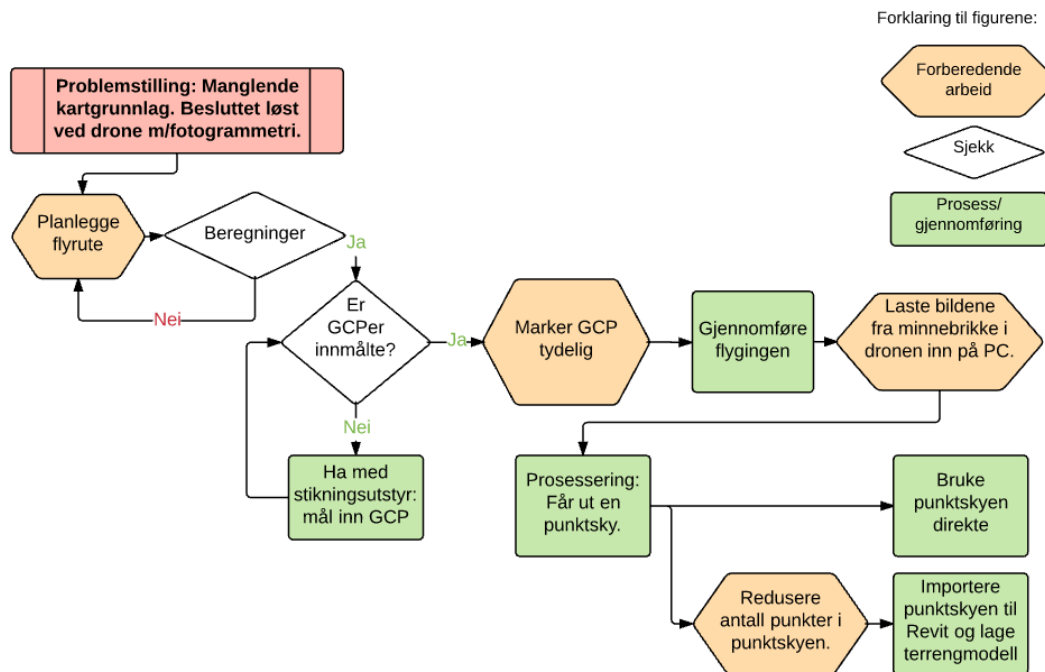
Gjennomføringen: Landmåleren går ut i feltet og måler inn punktene. Dette kan gjøres ved ulike metoder (kapittel 3.1). I casestudiet gjennomføres landmålingen med håndholdt GPS.

Prosessering/bearbeiding: Punktene oppgis med en x-, y- og z-koordinat. Disse blir brukte i videre arbeid til terrengkart og å fastslå høyder.

Benyttelse av landmålingen: Informasjonen om terrenget blir brukt til arealplanlegging og/eller prosjektering.

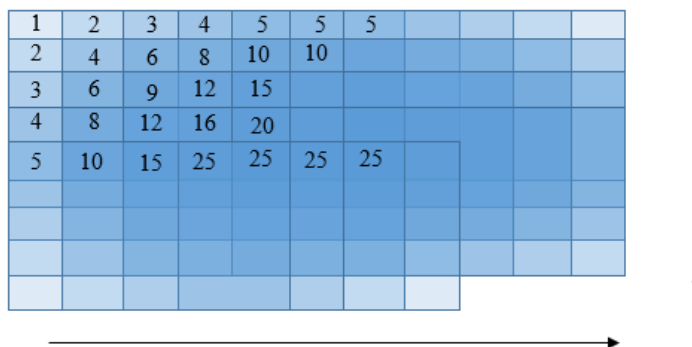
5.2.2 Dronekartleggingen

Data fra dronekartleggingen er innhentet og prosessert er vist i flytskjemaet i figur 5.4. Aktivitetene er ytterligere forklart i de følgende avsnittene.



Figur 5.4 Flytskjema over kartleggingsprosess; drone med fotogrammetri. Ruten planlegges og beregnes for å sikre at nøyaktigheten er tilfredsstillende. Kontrollpunkter/GCP blir markerte og flyvningen gjennomført. Bildene er georefererte og prosesserte og til slutt er punktskyen brukt direkte eller til å generere terrengmodell. Kontrollpunktene blir målt inn samtidig eller i etterkant av landmålingen. Figuren er basert på informasjon fra Asbjørsen (2017).

Planlegging: Flyruten blir forhåndsbestemt før dronflyvningen gjennomføres. Undersøkelingsområdet legges inn i program for automatisk styring og flyruten blir optimalisert med hensyn til bildeoverlapp og flyhøyde ved å legge inn parametere som ruten kalkuleres etter. Flyhøyde blir bestemt å være 50 meter over bakken og bildeoverlapp 80/80. Dette er forklart i figuren nedenfor.



Figur 5.5 Illustrasjon for bildeoverlapp 80/80. Punktet innenfor områdene er funnet igjen i flere bilder. Et område er maksimalt fotografert i 25 bilder, mens områder i ytterkant av flyvningsområdet har lavere dekning.

Teoretisk nøyaktighet ved denne flyhøyden og tilhørende bildeoverlapp blir beregnet til å være på centimeteren. Droneoperatørene antar at den garanterte nøyaktigheten er dobbelt så stor som programmet teoretisk regner ut. Begrunnelsen for denne beregningen er at det er andre kilder til usikkerhet; skarphet i bildene, forskyvning av GPS-signaler, prosesseringen, geotaggene i bildene og målingene av kontrollpunktene (Ladsten, 2017).

Forberedelser på undersøkelsesstedet: Kontrollpunkter for bruk i prosesseringen av bildene blir spraymerket som vist i figur 5.6. Merkingen krever ingen etterarbeid, da sprayen slites bort over tid.



Figur 5.6 Bilde av kontrollpunkt 2. For å sikre at alle fastmerker blir lest av rett, merkes de opppe i venstre hjørne.

Selve flyvningen: Dronen plasseres på avgangsplassen og styres opp i luften manuelt av droneoperatøren ved å bruke bakkekontrollstasjonen. Som vist i figur 5.7 er bakkekontrollen en håndholdt relativt lett håndterlig konsoll. Når dronen er på nivå høyere enn kollisjonsobjekter som hus, tre og master, settes den i modus for automatisk flyging og følger den forhåndsbestemte flyruten.



Figur 5.7 Bilde av dronen (Falcon 8) og droneoperatør med bakkekontrollstasjonen. Bakkekontrollstasjonen er lett håndterlig og bæres med under flyvningen.

Så lenge dronen har batteri og kontakt med bakkekontrollstasjonen, flyr dronen og tar bildene etter den forhåndsbestemte flyruten. Dersom minnekortet nærmer seg fullt, batteritiden er under et gitt nivå (35%), eller dronen ikke har kontakt med bakkestasjonen som sender koordinater for flygingen, er det automatiske innstillinger som gjør at dronen venter på kontakt eller lander ved punktet den lettet fra. Da byttes batteri/minnekort, og neste etappe starter. Systemet husker hvor det forrige bildet ble tatt, og hvor neste bilde skal tas. Etter at hele området er kartlagt, inneholder minnebrikken all data; både selve bildene og georeferanser til bildene.

Innmåling av punktene: Etter at droneflyvningen er gjennomført går landmåler til stedet og måler inn fastmerkene som forklart i kapittel 5.2.1. Alternativt kunne landmåleren målt inn og merket punktene før droneoperasjonen, så lenge de er synlige i bildene. Informasjon om koordinatsystemet som er brukt, dato for landmåling, koordinatverdier og geoidehøyde for enkeltpunktet er gitt i tabell 5.1.

Tabell 5.1 Koordinatene til kontrollpunktene. Nummeret på kontrollpunktet er vist, koordinater i x-, y- og z- retning, og geoidehøyde for punktet. Vertikalt- og horisontalt koordinatsystem som er brukt i målingene er spesifisert.

Gemini | Oppmåling

Punktliste

Prosjekt: D:\Gemini\survey\Work\Diverse prosjekter\Prosjekt\Reemarka\Innmålinger
 Koordinatsystem: EUREF89 - SONE 32 / NN 2000 høyder

28.03.2017

PunktID	N-koord.	Ø-koord.	Høyde	Geoide H
1	6 514 979,588	305 042,984	27,634	43,673
9	6 515 116,621	305 079,033	19,597	43,675
8	6 515 278,265	305 110,016	18,813	43,677
7	6 515 355,508	305 158,522	17,845	43,678
6	6 515 417,267	305 292,518	17,464	43,680
5	6 515 292,900	305 226,532	19,744	43,678
4	6 515 154,234	305 171,737	20,552	43,676
3	6 515 001,074	305 144,552	24,852	43,674
2	6 514 891,633	305 064,662	29,617	43,672

5.2.3 Programmer for prosessering av data

Det valgte programmet for prosesseringen er *Pix4Dmapper* fra Pix4D. Programmet er kompatibelt for å lage punkttskyer, digitale terrengmodeller og ortofoto fra bilder, og er under kontinuerlig utvikling får å få nye funksjoner (Pix4D). Pix4Dmapper er brukervennlig med et godt opparbeidet brukerforum og brukerstøtte som besvarer henvendelser innen kort tid.

Programmet som er valgt for å undersøke punktskyen videre og ferdigstille terrengmodellen er *Revit*. Begrunnelsen bak valget er at dette ble anbefalt fra flere hold og enkelte av de ansatte i bedriften hadde kjennskap til det fra før.

I tillegg til disse to programmene brukes det flere andre programmer til håndtering av og konverteringer mellom filtyper. *Recap* fra Autodesk ble brukt for å vaske punktskyen,

Meshlab blir brukt for å redusere punkter før import til terrengmodell i Revit, og *Excel* og *NotePad* brukes for å konvertere punktfilene til rett format for lesing i de ulike programmene. Neste kapittel forklarer mer utdypende om gjennomføringen av prosesseringen.

5.3 Prosessering av dataene

Aeroview laster de 819 bildene fra minnekortene tatt i dronedylingen og de tilhørende geotaggene inn i programvare for å oversende leveransen.

5.3.1 Pix4DMapper til fotogrammetri

Bildene mottas i e-mail med tilhørende fil med georeferansene gitt i x-, y- og z-retning. Et utklipp fra filen med geotaggene er vist i tabell 5.2. Filen viser bildenavn, breddegrad, lengdegrad, høyde i WGS84 og informasjon om pitch, roll og yaw til dronen for hvert bilde (forklart i kapittel 3.3.3). Avviket i fotograferingsplanet (pitch og roll) er lik 0, og yaw forteller at dronen flyr frem og tilbake, ved at ene retningen er omtrent 260 grader, og andre omtrent 180 grader mindre, altså 80 grader.

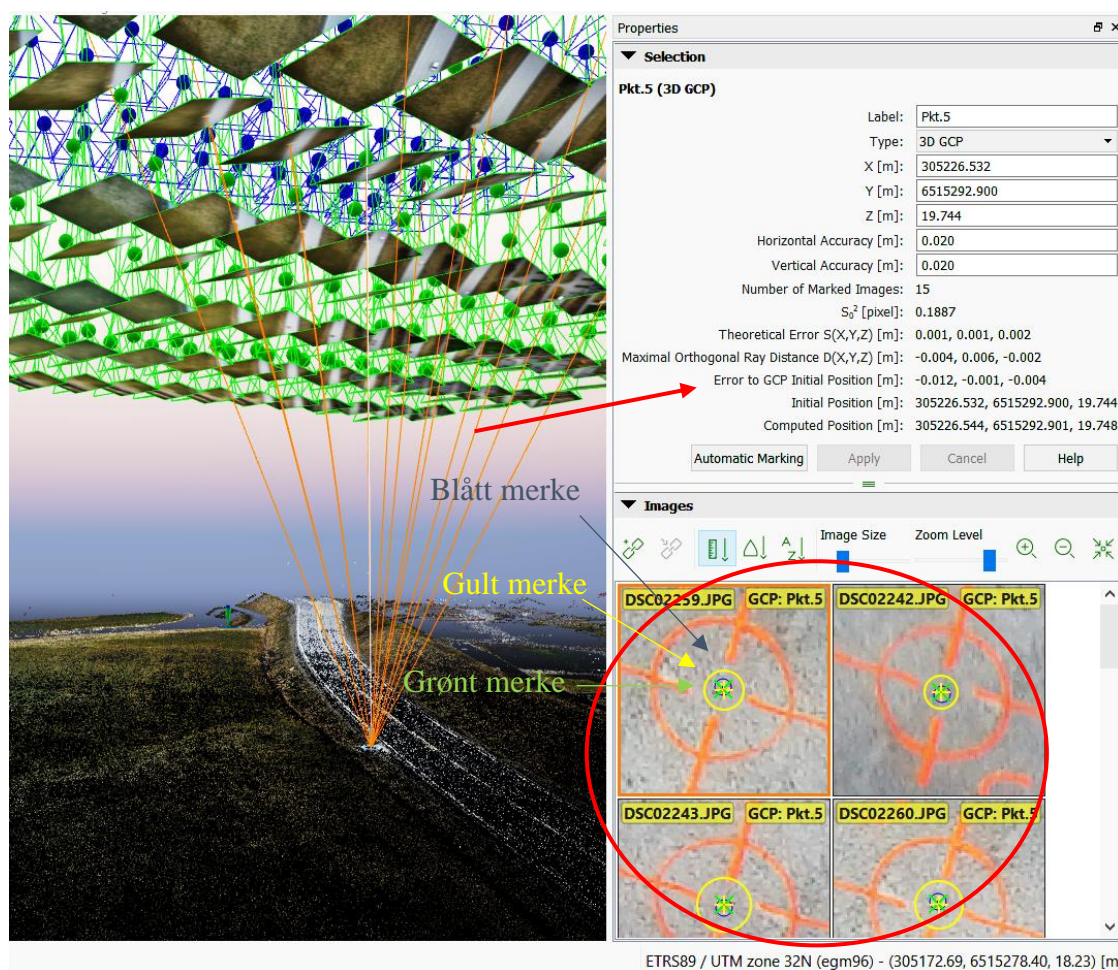
Tabell 5.2 Utklipp av filen med geotaggene til bildene. Tabellen viser bildenavn, posisjonering til kameraet i bildetakingsøyeblikket og pitch, roll og yaw. Kameraet er stabilt i horisontalplanet, men rotasjonen rundt normalen viser at dronen flyr frem og tilbake ved å snu flyretning 180 grader

7	DSC01658.JPG	58.72967147827148	5.633656978607178	128.69	0	0	258.64
8	DSC01659.JPG	58.72965240478516	5.633485794067383	128.53	0	0	258.95
9	DSC01660.JPG	58.72963333129883	5.633316993713379	128.42	0	0	258.65
10	DSC01661.JPG	58.7296142578125	5.633150577545166	128.43	0	0	258.58
11	DSC01662.JPG	58.72959899902344	5.632987022399902	128.7	0	0	259.48
12	DSC01663.JPG	58.72957611083984	5.632801532745361	128.78	0	0	258.81
13	DSC01664.JPG	58.72956085205078	5.632635593414307	128.77	0	0	258.87
14	DSC01665.JPG	58.72953414916992	5.632448196411133	128.81	0	0	259.07
15	DSC01666.JPG	58.72951507568359	5.632279396057129	128.94	0	0	259.35
16	DSC01667.JPG	58.7295036315918	5.632111072540283	129.07	0	0	259.33
17	DSC01668.JPG	58.72948455810547	5.631942749023438	129.1	0	0	259.51
18	DSC01669.JPG	58.72946548461914	5.631773471832275	129.14	0	0	261.61
19	DSC01670.JPG	58.72958755493164	5.631691932678223	128.16	0	0	82.38
20	DSC01671.JPG	58.7296142578125	5.631834983825684	128.35	0	0	81.76
21	DSC01672.JPG	58.72963714599609	5.631996631622314	128.76	0	0	81.51
22	DSC01673.JPG	58.72965621948242	5.632187843322754	129.09	0	0	81.18
23	DSC01674.JPG	58.72967529296875	5.632363796234131	129.19	0	0	80.68
24	DSC01675.JPG	58.72969436645508	5.632562160491943	129.08	0	0	80.37
25	DSC01676.JPG	58.72971343994141	5.632736206054688	128.99	0	0	80.25

Når bildene og filen er lastet inn gjennomføres første steg i prosesseringen som kobler bildene sammen. Første prosessering gir forhåndsvisning av ortofoto før fortetting og videre bearbeiding av modellen. Etter hvert steg i prosesseringen kan kvaliteten av

resultatene sjekkes av kvalitetsrapporten som genereres av programmet. Kvalitetsrapportene blir brukt til å diskutere usikkerheten i resultatene. Dersom enkelte av bildene som er tatt ikke er skarpe nok, eller av en annen grunn bør forkastes, kan dette gjøres ved å eliminere dem fra modellen. Alle bildene som er tatt i Reemarka er gode, så ingen forkastes.

Etter at den første prosesseringen er fullført, blir kontrollpunktene lagt inn i programmet, og markert i bildene der de finnes. Den røde ringen nedre i høyre hjørne av figur 5.8 viser hvordan dette blir gjort i programmet. Blått merke viser hvor kontrollpunktet som stikkeren har målt inn er i bildene. Dette punktet blir gjenkjent i flere bilder; i dette tilfellet fra 12-17 bilder. Gult merke er 2D-punktet som blir merket i bildet av den som prosesserer bildene, og fungerer som korrigeringen under prosesseringen, og det grønne krysset er det kalkulerete (nye) 3D-punktet. Som vist i figuren er merkene sammenfallende, med lavt avvik mellom initial posisjon og kontrollpunktet.



Figur 5.8 Markering av GCP/kontrollpunkt. Bildet til venstre i figuren viser alle bildene som har merket fastmerket, og nede i høyre hjørne viser bildene sett ovenifra. Blått merke viser hvor kontrollpunktet som stikkeren har målt inn er i bildene. Gult merke er 2D-punktet som blir merket manuelt i bildet og korrigerer punktskyen, og det grønne merket er det kalkulerete (nye) 3D-punktet. Avvik fra GCP/kontrollpunkt til først antatt posisjon er beregnet (rød pil).

I tillegg til å beregne det nye punktet, kalkuleres teoretisk feil, avvik fra initial posisjon til kontrollpunktet og nøyaktighet (rød pil i figur 5.8). For både horisontal og vertikal nøyaktighet er en standard-verdi på 0.020 meter brukt. Dette tilsier en nøyaktighet innenfor 2 centimeter. Pix4D anbefaler å bruke standardverdien så fremt usikkerheten ikke er større enn 0.020. Målingene fra landmåleren har usikkerhetsverdier mellom 0.009 og 0.014. Nøyaktigheten til punktene fått fra landmåleren er lave verdier for alle kontrollpunktene, og det blir dermed ikke urealistisk å tenke at nøyaktigheten er noe lavere enn det som blir presentert i sluttresultatene.

Koordinatsystemet som blir brukt videre av programmet er bestemt å være det samme som stikkeren brukte når de målte inn punktene manuelt (ref. kap.3.1):

- Datum: EUREF89
- Koordinatsystem: EUREF89/UTM Sone 32N

Informasjon om lengdegrad, breddegrad og høyden til punktene er gitt i tillegg til geoidhøyde, som er forklart i kapittel 3.1. Dataen over kontrollpunktene er vist i tabell 5.1, side 35. Punkt 1-8 er plassert på asfalt. Punkt 9 er merket i kanten av en grusbane. Dette punktet er ikke brukt i prosesseringen, da det var sparket opp før landmåleren fikk tatt målingen, og dermed kan det tenkes å ha lavere nøyaktighet.



Figur 5.9 Bilder over et ødelagt kontrollpunkt/GCP (Gjengitt med tillatelse fra Prosjektil). For å sikre at kontrollpunktet er målbart bør det plasseres på en grunn som ikke kan ødelegges, eller måles inn når kontrollpunktene merkes såfremt at de da er like når droneflyvningen gjennomføres.

Når kontroll/GCP-punktene er lagt inn i programmet, re-optimeres modellen, og en ny kvalitetsrapport genereres. Plasseringen av GCP-punktene som er lagt inn er vist ved blått kryss i figur 5.10. Røde prikker viser dronens plassering i bildetakingsøyeblikket. Kontrollpunktene er plassert langs plangrensen, og dermed er et område et stykke utenfor reguleringsområdet også tatt med i modellen. Grunnen for å ta bilder utenfor området er å innhente tilstrekkelig informasjon innenfor det aktuelle området, slik at plangrensen har detaljerte data på lik linje med senteret av området, som forklart i figur 5.5.



Figur 5.10 Bilde over Reemarka. Røde punkter er bildene som er tatt, og blå kryss er kontrollpunkter/GCP. Dronen tar bilder utenfor plangrensen (se figur 5.1) for å sikre maksimal mengde overlapp av bilder også på grensene.

Når området som ønskes inspisert blir lagt inn i navigasjonsprogram for å bestemme flyruten, blir det automatisk tatt hensyn til at det skal være tilstrekkelig overlapp og bildegrunnlag også på grensene av reguleringsområdet. Neste steg i prosesseringen er å lage punkttskyen. Etter dette blir også en kvalitetsrapport generert.

For å transformere punkttskyen til RCP- eller RCS-format, importeres- og eksporteres den gjennom andre program. Pix4D har ikke mulighet for å eksportere i filformatene som AutoDesk støtter. Dette er en svakhet i kommunikasjonen mellom programmene som er valgt i de ulike fasene av prosesseringen, da de ikke er tilpasset hverandre. Ved oppstart av oppgaven var det disse programmene som ble valgt å bruke, uten å vurdere konsekvensene av å bruke programmer fra ulike utgivere. Andre program kan kanskje håndtere tilsvarende grensesnitt mellom programmer på en bedre måte, men dette er ikke undersøkt da det er utenfor problemområdet som er undersøkt i studiet. Det må likevel understrekes at det kan være mer hensiktsmessig å bruke andre programmer til gjennomføringen av prosesseringen.

5.3.2 Autodesk RECAP 360 UTLIMATE

Punktskyen som er generert i Pix4Dmapper eksporteres som en XYZ-fil og importeres i Recap. I dette programmet reduseres støy, og modellen eksporteres så i form av en RCP-fil. Den urenskede punktskyen er vist i figur 5.11.

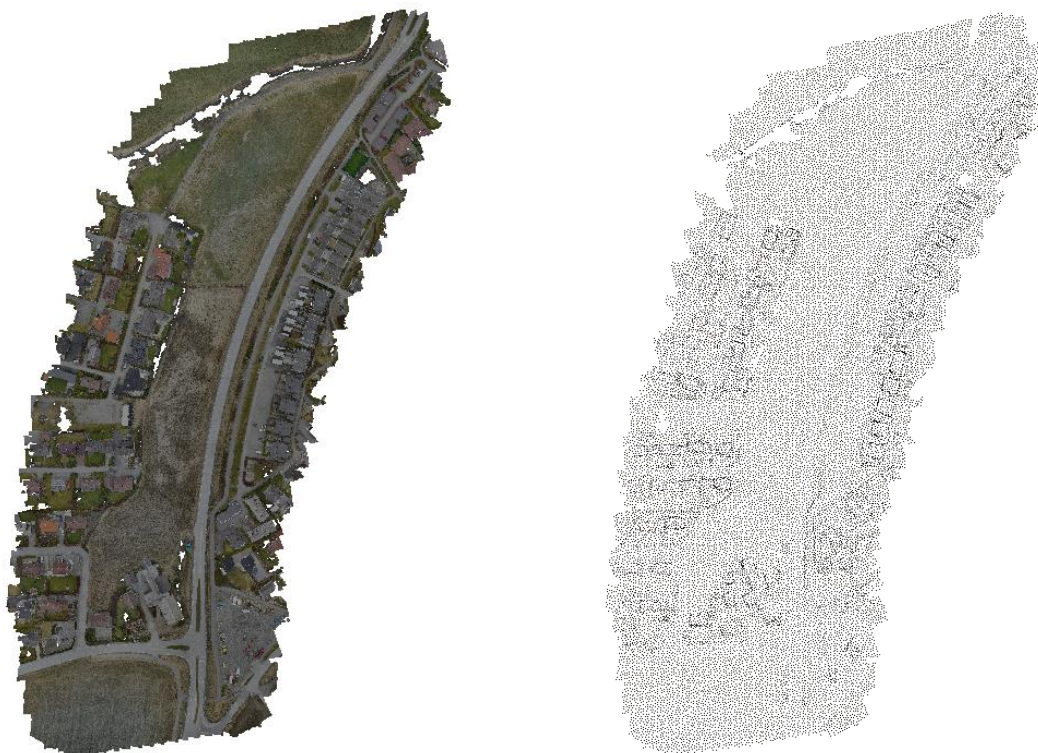


Figur 5.11 Bilde av den urenskede punktskyen importert i Autodesk Recap. Bildet viser tettheten av punktskyen som gjør at detaljer kommer tydelig til uttrykk.

Når punktskyen er detaljert og inneholder store mengder data; både koordinater og fargekoder, kan problemer i modellen lett bli oppdaget og korrigert. Noe som legges godt merke til er at områder der det står tre og høyere vegetasjon er mangelfulle. Dette kan sees på nordsiden av grøntområdet der det går en bekk med trær over. I dette området er punktskyen tom. Pix4D kan ha vurdert dette som støy, og dermed tatt det bort fra punktskyen.

5.3.3 Meshlab

RCP-filen som er ferdig vasket blir importert i Meshlab og punktskyen blir redusert fra 188 633 895 punkter til omtrent 20 000 punkter, noe som er maksimalt for bruk i Revit. En reduksjon i punkter gir en mer håndterbar modell. Resultatet av punktreduksjonen er illustrert i figur 5.12.



Figur 5.12 Den simplifiserte punktskyen sammenlignet med den fulle modellen. Til venstre er råfilen med punktene fra prosesseringen tatt direkte inn i Meshlab, og til høyre vises den simplifiserte punktskyen som er brukt for å generere terrenngmodellen.

5.3.4 Transformering av filtyper

RCP-filen kan importeres direkte inn i Revit som en punktsky. Både den fulle og den simplifiserte modellen kan brukes som et 3D-objekt. Forskjellen mellom de to modellene ligger i hvor visuelle detaljene er. I den simplifiserte modellen er det for eksempel problematisk å kjenne igjen enkelt detaljer i området. Den fulle punktskyen er derfor den som kan brukes som et objekt til å ha i bakgrunnen når området prosjekteres. Denne er likevel ikke passende til å lage terrenngmodell av, på grunn av at Revit ikke genererer terrenngmodeller av så store filer.

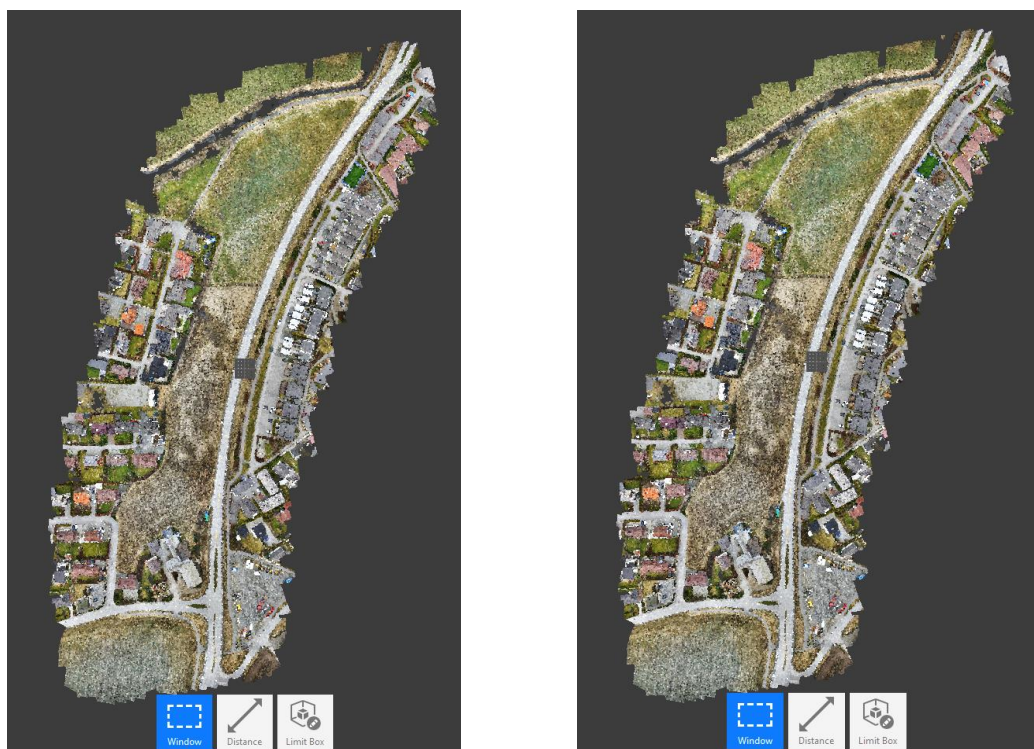
For at Revit skal generere en terrenngmodell, transformeres den simplifiserte punktskyen til en kommaseparert fil med verdier kun i x-, y- og z-retning. Revit leser kun komma separerte filer (CSV og TXT) der desimaltall bruker punktum som skilletegn, og de ulike verdiene er separerte av komma. Det er også en begrensning at Revit ikke klarer å generere terrenngmodeller med punktskyer større enn 30 000 punkter. Derfor brukes filen som er simplifisert til terrenngmodellen. RCP-filen av punktskyen gis nytt navn med TXT i slutten av filnavnet. Denne filen blir åpnet i Excel. Deretter blir informasjonen fordelt i kolonner, og alle kolonner utenom x-, y- og z-verdier til punktene slettes. Den ferdige filen blir lagret som en komma-separert fil (CSV). I denne filen er komma desimalskilletegnet, så filen importeres i NotePad for å endre alle kommaer til punktum.

5.3.5 Revit

Den bearbejdede simplifiserte filen importerer i Revit og brukes for å lage en terrengmodell. For å kvalitetssikre arbeidet med transformeringen av filen, blir også punktskyen lagt over terrengmodellen for å se at de stemmer overens. Modellene er fremstilt i kapittel 5.4.

5.3.6 Kvalitetssikring av dataprosesseringen i Pix4D

På grunn av mye læring underveis i prosesseringen er alle bildene, fra georefererte bilder, til fullført modell prosessert to ganger. Dette er gjort for å kontrollere at resultatene er repeterbare og for å kvalitetssikre eget arbeid. Første gangen bildene prosesseres er flere filtyper som ikke er til videre nytte lagret, og alle muligheter som Pix4D tilbyr er brukte. Dette resulterte i formater og modeller som ikke er brukt videre, men gav utslag i prosesseringstid for dataene. Som forventet er punktskyene fra begge prosesseringene like. Punktskyene er vist i figur 5.13.



Figur 5.13 Punktskyene fra de to prosesseringene fremstilt i RECAP. Bildene er fra første og andre prosessering, henholdsvis. Figurene viser tilsvarende kvalitet på punktskyen, og derfor blir kun modellen fra første prosessering bearbejdet videre.

Siden informasjonen fra begge prosesseringene er tilsvarende, er det ikke verdiskapende å gjennomføre de resterende prosessene to ganger da de vil gi tilsvarende resultater dersom behandlet likt. Likevel er det verdifullt å ha gjort prosesseringen to ganger, da repeterbarhet skaper mer sikkerhet i resultatene.

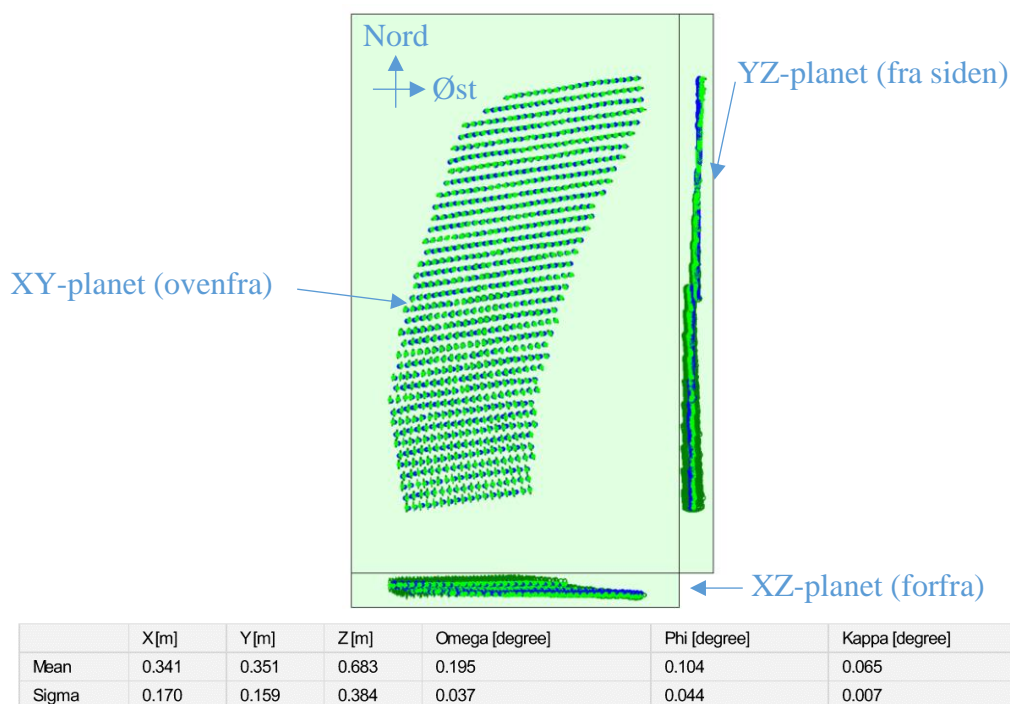
5.4 Resultater og analyse

Dette kapittelet presenteres og drøfter resultatene fra casestudiet. Først analyseres nøyaktigheten til resultatene, deretter modellene og til slutt tids- og kostnadsbruken. For å svare på problemstillingen og diskutere om metoden kan brukes til mer effektiv landmåling for arealplanlegging og prosjektering, diskuteres spesifikasjonene i punktskyen og hva som ligger til grunn i dataene.

5.4.1 Kvaliteten av resultatene

Nøyaktigheten

Prosesseringen genererte to kvalitetsrapporter; én før kontrollpunkter/GCP var tatt med i beregningene, og én etter at alle kontrollpunktene/GCP var inkludert (Pix4DmapperPro, 2017a, 2017b). Punktskyen hadde en gjennomsnittlig tetthet på 5697,49 punkter per m³ med 188 633 895 punkter totalt (Pix4DmapperPro, 2017a). Nøyaktigheten er fremstilt i xy, xz og yz-planet, henholdsvis ovenfra, forfra og fra siden i figur 5.14. Før kontrollpunktene er tatt med i punktskyen er usikkerheten i posisjonering størst for z-koordinaten. Figur 5.14 viser usikkerheten for enkeltpunktene og oppgir tallene for gjennomsnittlig usikkerhet og standardavvik for punktene.

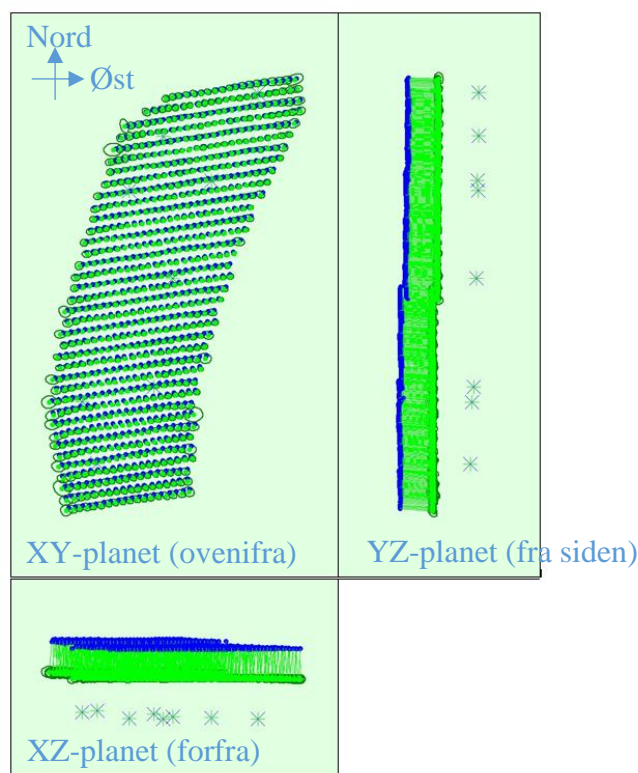


Figur 5.14 Gjennomsnittlig usikkerhet og standardavvik for posisjonering og orientering til bildene før kontrollpunkter/GCP fremstilt ved figur og verdier (Pix4DmapperPro, 2017a). Gjennomsnittet varierer fra 0,341-0,683 meter for posisjonering fra 0,065 til 0,195 grader i orienteringen.

Figuren fremstiller usikkerheten til enkeltpunktene ti ganger forstørret. Blå punkter representerer initial bildeposisjon (geotaggen til bildene), og de grønne punktene viser de

kalkulerte posisjonene etter prosesseringen. I xy-planet, ovenfra, er usikkerheten redusert vesentlig, men aller mest er usikkerheten redusert der z-koordinaten kommer til uttrykk. Dette kan skyldes en, eller en kombinasjon av feilkildene som er nevnt i kapittel 3.3.3. Dronen flyr 50 meter over bakkenivå i det sekvensen starter, og tilpasser ikke de 50 meterne over bakkenivå etter hvert som terrenget endres, men navigerer ved barometrisk trykk. I tillegg kan det skyldes batteriskifteprosessen da dronen stilles inn på å fly 50 meter over avtakingspunkt, og dette punktet er ikke det samme for hele prosessen. Ved å ha ulike avtakingspunkter i et kupert terreng, vil dronen i praksis ikke fly eksakt samme høyde over hele området (Hatlestad, 2017). Orienteringen av kameraet har også usikkerhet. Høyeste usikkerheten er omega, som er vinkelen om flyvningsretningen på $0,2^\circ$ (kapittel 3.3.3).

For å korrigere punktskyen og redusere usikkerheten legges kontrollpunktene inn og punktskyen re-optimeres. Usikkerheten i modellen etter at kontrollpunktene er lagt inn er vist i figur 5.15. I sammenligningen av fremstillingen av usikkerheten før kontrollpunktene er lagt inn, må det tas høyde for at denne figuren viser usikkerheten hundre ganger forstørret.

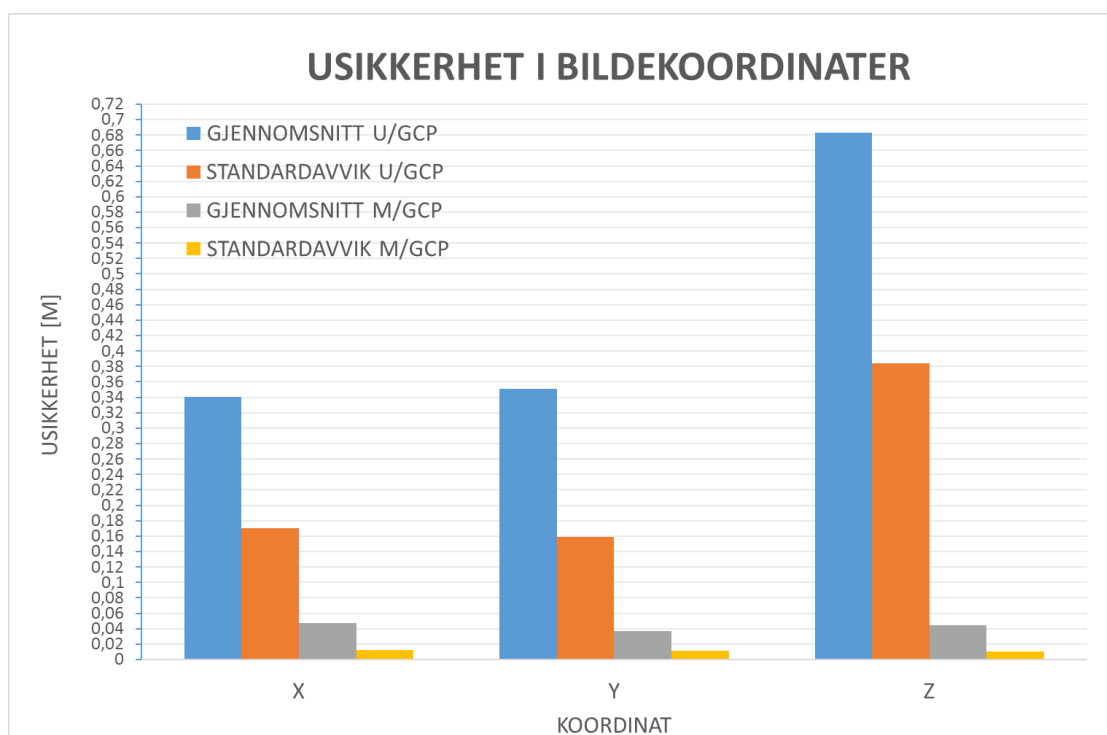


	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.047	0.037	0.044	0.036	0.045	0.014
Sigma	0.012	0.011	0.010	0.012	0.012	0.005

Figur 5.15 Gjennomsnittlig usikkerhet og standardavvik for posisjonering og orientering for bildene etter kontrollpunkter/GCP fremstilt ved figur og verdier (Pix4DmapperPro, 2017b). Gjennomsnittet er omtrent under 0,047meter i alle retninger for posisjoneringen og under 0,045 grader i alle vinkler i orienteringen.

Den største endringen i punktskyen når GCP-koordinatene er tatt med i modellen, er at alle punktene korrigeres ved å flyttes lavere i z-retning, altså i høydekoordinaten. Figur 5.15 viser at de kalkulerte posisjonene til kontrollpunktene/GCP (grønne pluss) og posisjonen som er målt inn av landmåler (blå kryss) er sammenfallende. Sammenlignes verdiene av gjennomsnittlig usikkerhet og standardavviket til usikkerheten før og etter kontrollpunktene er tatt med, er begge betraktelig redusert når kontrollpunktene/GCP er tatt med i beregningene. Usikkerheten i orienteringen til dronen i bildetakingsøyeblikket er også redusert når kontrollpunktene er lagt inn. Dette skyldes at punktene som er merket i modellen er funnet igjen i flere bilder og orienteringen av kameraet blir mer nøyaktig da posisjonen er spesifisert i punktene i bildene.

Usikkerhetene i bildekoordinatene før og etter kontrollpunktene er lagt inn i punktskyen er sammenlignet i et stolpediagram (figur 5.16) i henholdsvis x-, y- og z-retning.



Figur 5.16 Gjennomsnittlig usikkerhet og standardavviket i koordinatene til bildene i x-, y- og z-retning før og etter kontrollpunkter/GCP er tatt med i punktskyen. Når kontrollpunktene er merket i modellen reduseres både gjennomsnittlig usikkerhet og standard avvik betraktelig.

Før kontrollpunktene er tatt med i modellen er gjennomsnittlig usikkerhet i målingene omtrent 50% høyere i z-koordinaten enn i x- og y-retning. Usikkerheten i de målte verdiene som er gjenkjent i bildene har en verdi til høydekoordinaten som gjennomsnittlig avviker med $\pm 0,683$ meter fra verdien som er gitt i det enkelte punktet. Da kontrollpunktene er målte inn er gjennomsnittlig usikkerhet i alle retninger i underkant av ± 5 centimeter. Denne usikkerheten er ubetydelig for arealplanlegging og prosjektering av byggefelt.

Standardavviket sier noe om spredning i dataene, og er et mål for verdiens gjennomsnittlige avstand fra den kalkulererte verdien. I prosesseringen av bildene blir alle punkter i punktskyen koordinatfestet ut i fra mellom 888 og 2000 punkter, og standardavviket er lavt fordi at dess flere punkter om brukes, dess nærmere den eksakte verdien blir punktet. Ved å sammenligne usikkerheten og standardavviket i dataen før og etter kontrollpunkter er lagt inn i dataen, kan det sees at det er stor reduksjon i begge verdiene. Det betyr en økt nøyaktighet av punktskyen. Derfor er det nyttig å ha kontrollpunkter som blir målt inn ved å bruke en tradisjonell metode for landmåling. Samtidig, ved å benytte seg av kontrollpunkter kan punktskyen ikke ha høyere nøyaktighet enn nøyaktigheten av punktene som er målt inn ved å bruke en tradisjonell landmålingsmetode.

Nøyaktigheten til kontrollpunktene/GCP

Kunnskapen om prosesseringsprogrammer var relativt lav ved starten av prosesseringen. Derfor ble usikkerheten til stikningspunktene satt til standardverdien til Pix4D på 0.020 meter, til tross for at usikkerheten i stikningsarbeidet var mellom 0.009 og 0.014 i alle retninger for alle målingene. Ved å sette en lavere usikkerhet, ville også sluttnøyaktigheten (ved fullført prosessering) blitt noe bedre. Feilene til kontrollpunktene er vist i tabell 5.3

Tabell 5.3 Feilberegninger til kontrollpunktene i modellen (Pix4DmapperPro, 2017b). Standardverdi for usikkerhet i manuelle målinger er satt til 0.020 meter i horisontalplanet, og tilsvarende for vertikalen. Målingene fra stikkeren er mer nøyaktige enn dette, så det er fornuftig å anta lavere usikkerhet enn dette

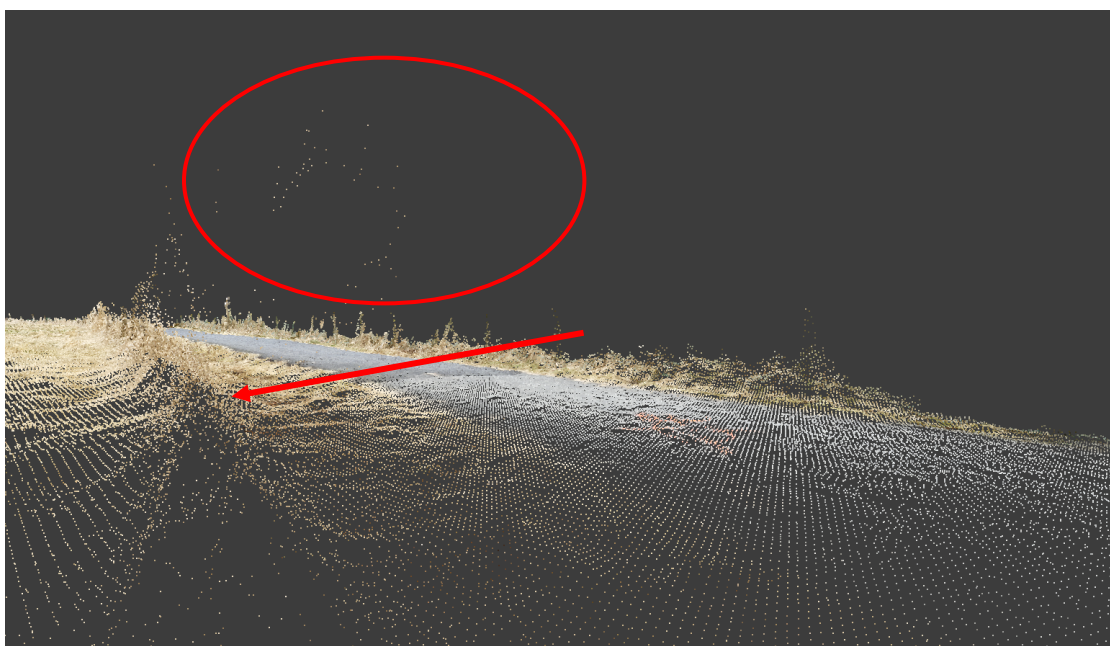
GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]
Pkt.2 (3D)	0.020/ 0.020	0.014	0.011	-0.011
Pkt.4 (3D)	0.020/ 0.020	-0.008	-0.015	-0.009
Pkt.6 (3D)	0.020/ 0.020	-0.010	0.003	0.005
Pkt.7 (3D)	0.020/ 0.020	0.024	0.022	-0.001
Pkt.8 (3D)	0.020/ 0.020	0.009	0.005	-0.001
Pkt.5 (3D)	0.020/ 0.020	-0.012	-0.001	-0.004
Pkt.3 (3D)	0.020/ 0.020	-0.043	-0.014	0.012
Pkt.1 (3D)	0.020/ 0.020	0.026	-0.010	0.009
Mean [m]		-0.000020	0.000003	0.000041
Sigma [m]		0.021398	0.011949	0.007742
RMS Error [m]		0.021398	0.011949	0.007742

Selv om kontrollpunktene er gitt å ha lavere nøyaktighet enn de i realiteten hadde, er en nøyaktighet innenfor fem centimeter fremdeles ikke er lavere enn ved manuell landmåling, som for denne type målinger ofte er innenfor 5. til 10. centimeter, med målinger tatt hver tiende meter. Usikkerheten i resultatene fra drone med fotogrammetri blir dermed av ubetydelig størrelse (Heskestad, 2017). I manuelle landmålingsmetoder må det brukes totalstasjon som er en mer tidkrevende prosess enn å måle inn med stikking for å måle med høyere nøyaktighet (Sørbø, 2017). Vurderinger om krav til nøyaktighet for hvert prosjekt må legges til grunn for å kunne si noe om hva som er bra nok nøyaktighet for det prosjektet. Studiet baseres på å gjengi terrenget av et relativt stort område, og derfor er helheten av gjengivelsen av terrenget mer aktuell å drøfte enn det enkelte punkt i punktskyen. For å undersøke hvor nøyaktig punktskyen fra drone med fotogrammetri kan bli, måtte

oppgavens omfang og gjennomføringen av casestudiet vært noe annerledes. Formålet for bruk av resultatene til arealplanlegging er en god balansert plan. Da er nøyaktigheten innenfor 5 centimeter mer enn godt nok. En punktsky innenfor 5 centimeter er normalt tilstrekkelig for prosjekteringsformål også (Heskestad, 2017).

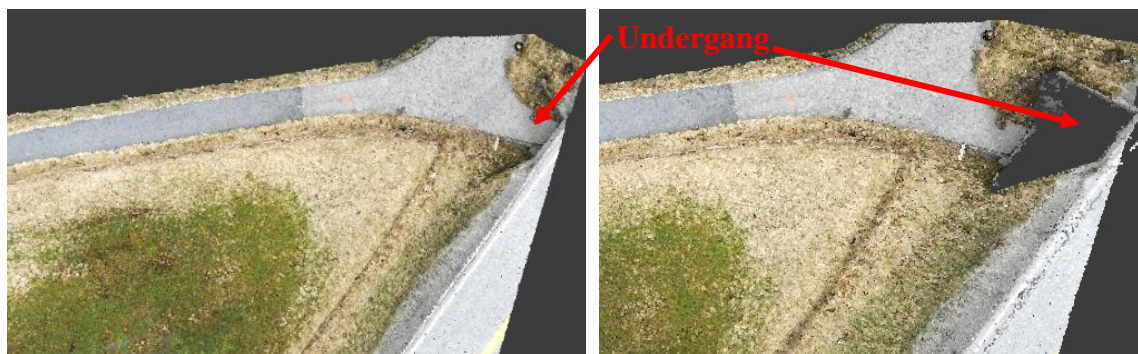
Punktskyen

Et raskt overblikk i modellen viser at området er tilsynelatende godt visualisert. Ved å gå nærmere inn i detaljer i punktskyen kan det sees at høyere vegetasjon påvirker modellen ved å «løfte terrenget» som pekt ut med rød pil i figur 5.17. Den røde sirkelen i bildet viser at enkelte punkter blir «svevende» der hvor vegetasjonen ikke er tett. Når punktskyen er tilstrekkelig detaljert kan den korrigeres slik at sluttproduktet ikke er påvirket av feilkilden ved vegetasjon.



Figur 5.17 Virkning av vegetasjon i punktskyen. Der det er høyere vegetasjon viser punktskyen et «løft» i terrenget (rød pil). Høyere grasstrå kommer igjen i bildene som «svevende punkter» (rød sirkel).

Alle bildene er tatt ovenfra. Figur 5.18 viser mangler i den tredimensjonale modellen når den er basert på bilder tatt vertikalt nedover fra horisontalplanet. Ved å tilte modellen opp til et visst punkt (omtrent 6° til 8°) er ikke dette merkbart. Ved å se undergangen rett ovenfra (til venstre) er modellen tilsynelatende dekkende for hele området, men ved å tilte den 20 grader mot øst (til høyre) blir det tydelig at det ikke fremkommer noe informasjon om hva som er «inne i» undergangen. En konsekvens av dette er at dersom undergangen skulle vært objekt for regulering, måtte den blitt målt inn med en tradisjonell metode siden punktskyen ikke er dekkende.



Figur 5.18 Skyggeområder i punktskyen vist ved en undergang fra forskjellige vinkler. I bildet til venstre er punktskyen tiltet omtrent 20° fra nord-sør mot øst. Dette viser at punktskyen ikke har data om hvordan underganger ser ut inni. I bildet til høyre er undergangen sett ovenfra, uten synlige mangler.

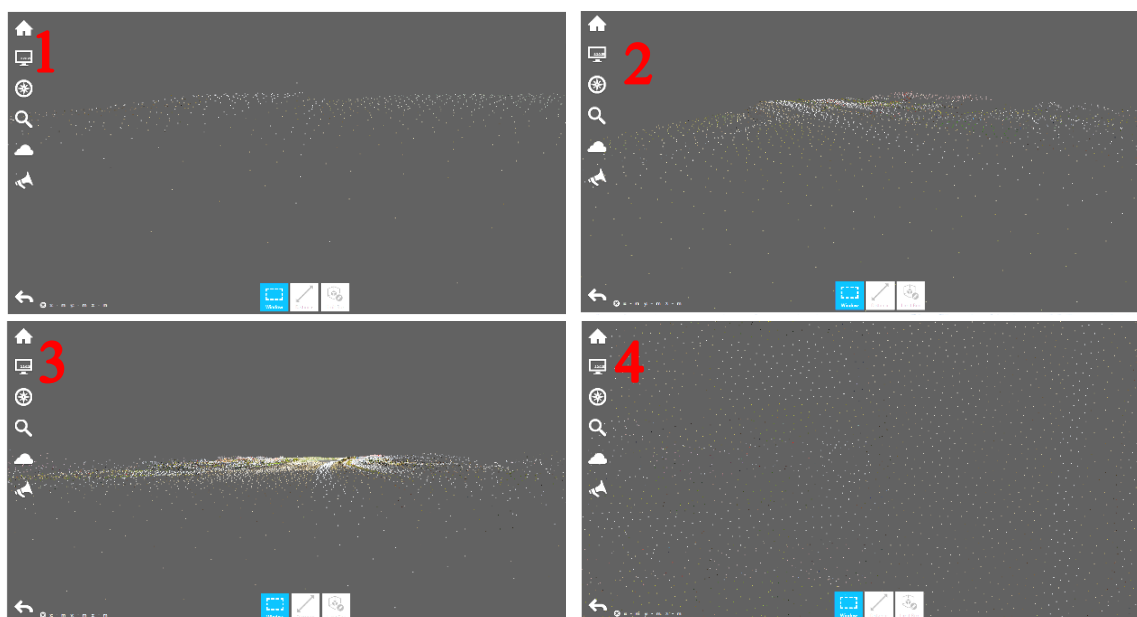
Hvorvidt dette er en svakhet i dette caset kan diskuteres siden undergangen hverken skal legges om eller utbedres i prosjekteringsgrunnlaget. Det må likevel tas med i videre diskusjon av bruksområder for drone med fotogrammetri, da kravet til hvor mye modellene må dekke er avhengig av formålet til landmålingen. Ved manuell landmåling av underganger og tilsvarende objekter må det brukes totalstasjon med kikkert, som er en tidkrevende prosess med dyrt utstyr (kapittel 3.1). Anvendeligheten til drone med fotogrammetri vil derfor ikke begrenses på grunn av dette i forhold til tradisjonell landmåling, da undergangen må måles inn separat uavhengig av metoden som benyttes.

Punktskyen er nærmere inspisert ved se på mindre områder og ta utklipp av enkelte elementer i området. For å sammenligne den fulle modellen med den simplifiserte modellen som brukes til å generere terrenngmodellen, er det tatt fire utklipp fra de samme stedene i begge modellene, vist i figur 5.19 og figur 5.20. Den fullstendige modellen gjengir detaljene som er i terrenget. Bilde 1 er fra et veistrekk der skiltet og autovernet er visuelt. Bilde 2 viser en undergang, men en svakhet som kan sees her, er at tak over hus «svever» over bakken. Dette er igjen på grunn av at alle bildene er tatt ovenfra, og det ikke finnes informasjon om punkter som ligger under. Den røde ringen i bilde 2 viser et svevende «objekt», som i dette tilfellet er en lykt som er stor nok til å ha blitt registrert i flere bilder, men selve stolpen er for lite visuell i bildene til å gjenskapes i punktskyen. I dette bildet vises midtstripa i veien og grøften er godt visualisert.



Figur 5.19 Bilder fra prosessering av den fulle modellen. Figuren peker ut elementer i modellen; noen som viser hvor detaljert modellen er, og noen som viser avvik i forhold til virkeligheten. Bilde 1 viser skilt og autovern. I bilde 2 er det et «svevende» gatelys og «svevende» tak på hus, og bilde 3 illustrerer hvordan variert vegetasjon gir hull i punktskyen. I bilde 4 er det pekt ut hvor detaljerte takene på husene er.

Bilde 3 viser et område som har en rekke med trær. I prosesseringen av punktskyen har alle trær blitt fjernet. Det siste bildet viser eksempler på andre områder der det er manglende data og hull i punktskyen på grunn av at bildene er tatt ovenfra. Takene på husene er detaljerte og ulike fargenyanser i taksteinene kan sees i bildene.



Figur 5.20 Bilder fra tilsvarende steder i den simplifiserte punktskyen. I denne punktskyen kan ingen detaljer sees. Med så lite detaljer er det ikke mulig å vite hvilke punkter som skal tas ut under korrigering av modellen, og gjengivelsen av terrenget er dårligere, som forventet.

Figur 5.20 viser at modellen som er simplifisert inneholder betydelig mindre punkter. Gjengivelsen av terrenget er ikke tilstrekkelig til å visualisere området. På grunn av fargene til de ulike punktene er det mulig å tyde at det går en vei på bildene. På bilde 4 er det lite som tilsier at det som vises er et byggefelt i venstre del, og jordbruksareal til høyre. Dette tilsier at spesifikasjonen til punktskyen må tilpasses den konteksten den skal brukes i for å sikre en tilstrekkelig gjengivelse av terrenget.

Ved høy tetthet av punktene som øverste bilde i figur 5.21, kan detaljer som høyde på grunnmur og tilsvarende også vises igjen i bildene. Siden punktene er gitt globale koordinater, kan også globale høyder i terrenget settes. Dette er en fordel i området som er undersøkt i casestudiet, da det allerede er kjent at området har hatt problemer med masseutrasinger. I det nederste bildet er punktskyen betydelig mindre, og det er ikke mulig å se detaljer, som i det øverste bildet. Igjen viser dette at formålet med landmålingen må være kjent for å kunne optimalisere leveransen i forhold til detaljer og nøyaktigheten til punktskyen som leveres.



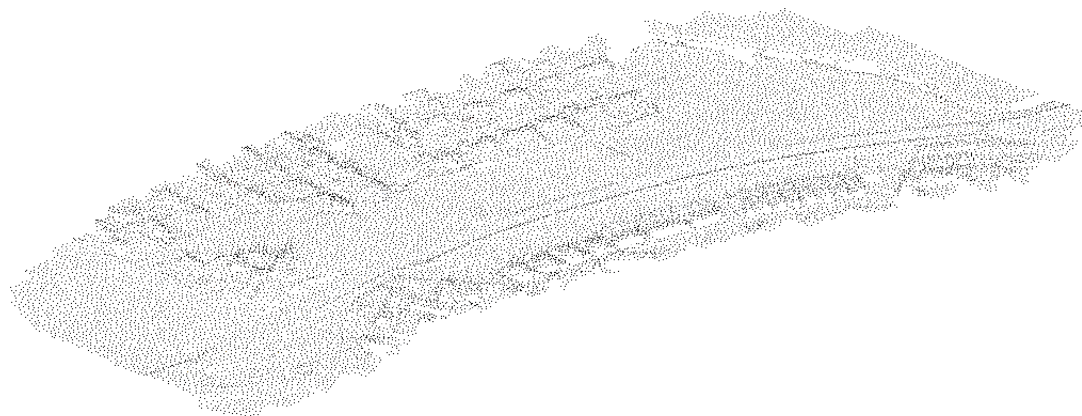
Figur 5.21 Eksempler på detaljer i fullskalamodellen (over) og bilde tatt fra tilsvarende steder i den simplifiserte modell (under). I fullskalamodellen kan detaljer på gårdsplassen sees, men i den spesifiserte modellen er det lite som viser at punktskyen er fra en gårdsplass.

Både den fulle og den simplifiserte modellen importeres i Revit i form av en punkttsky. Figur 5.22 viser at alle de fargekodede punktene gir oversikt over detaljer i hele området. Igjen kan det sees at takene «svever» når modellen snus sidelengs. Dette kan korrigeres direkte i modellen siden gjengivelsen allerede er tydelig. Figuren viser også at trær er en utfordring, når de tas bort og det står igjen hull etter prosesseringen er gjennomført.

Figur 5.23 viser den simplifiserte punkttskyen. Denne modellen er ikke fargekodet, da en forutsetning for å kunne lage terrengmodell er at informasjonen i filen kun omfatter punkter i x-, y- og z-koordinat. I forhold til den fullstendige punkttskyen gir den simplifiserte modellen en langt mindre oversikt over terrenget når den er importert som en tredimensjonal punkttsky.



Figur 5.22 Fullskalamodellen i Revit. Punkttskyen viser detaljer og gir mulighet for å gjennomføre simuleringer for hvordan den prosjekterte utbyggelsen påvirker eksisterende bebyggelse.

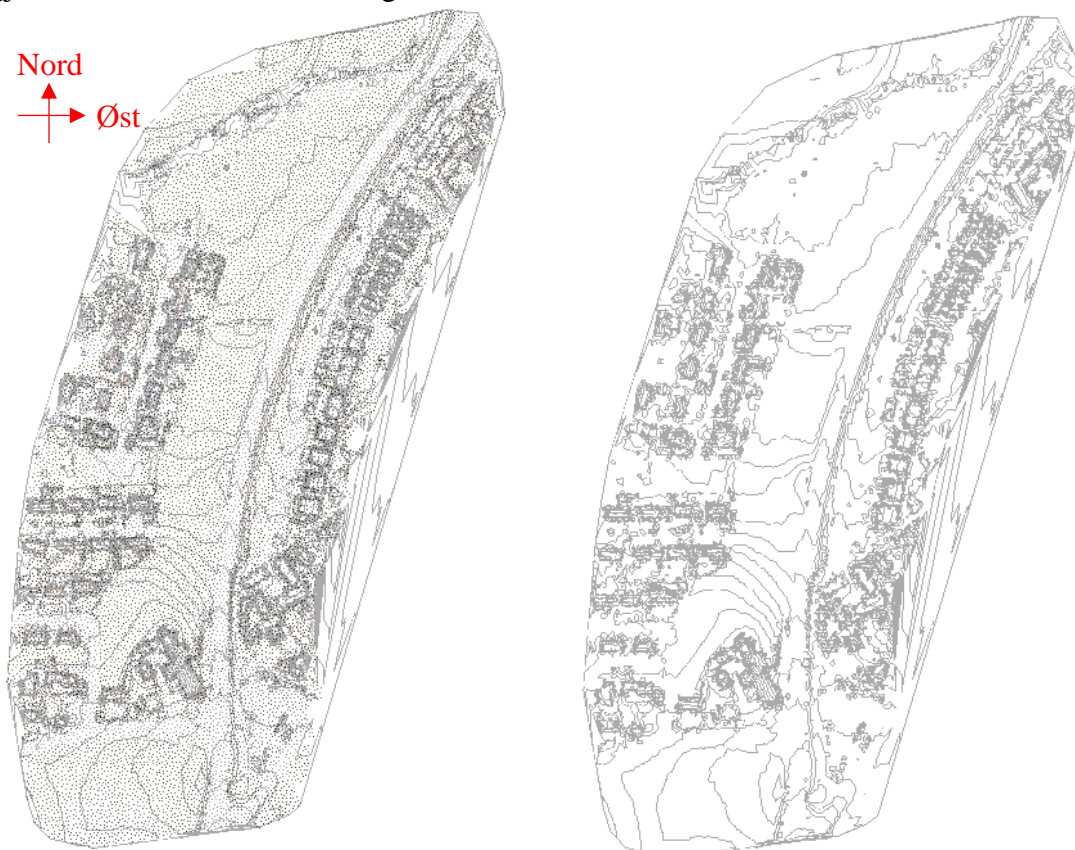


Figur 5.23 Simplifisert punkttsky i Revit. I denne modellen er det vanskeligere å se hva som er bebyggelse og hva som er høydevariasjoner i terrenget.

Digitalisert terrengmodell

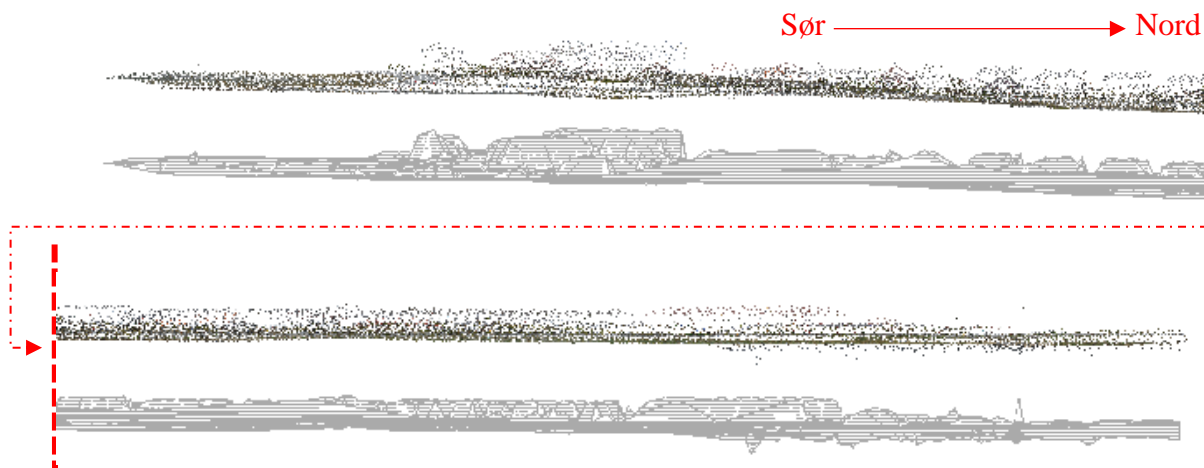
Grunnen for å simplifisere punkttskyen var i utgangspunktet å kunne lage en terrengmodell, men også for å vurdere verdien av å ha mange punkter. Figur 5.24 viser terrengmodellen som er generert i Revit sett ovenfra. Til venstre er punkttskyen lagt ved terrengmodellen, og til høyre er terrengmodellen fremstilt uten punkttskyen.

En terrengmodell gjengir alle punkter i form av koter, og derfor er også hus gitt en høydelinje (kote), siden de ikke er fjernet fra punktskyen før terrengmodellen er laget. Ved videre utbedring av en terrengmodell må punktskyen vaskes ren for hus og andre gjenstander, slik at kun terrenget gjenstår i punktskyen. Dette er ikke gjennomført da det ikke tilfører mer verdi til undersøkelsen i dette studiet. Det poengteres likevel at det må gjøres for videre bruk at terrengmodellen.



Figur 5.24 Terrengmodellen generert i Revit. Til venstre: Terrengmodellen der punktskyen er lagt over. Til høyre: Den digitale terrengmodellen. Ved å bruke bare punktskyen er det ikke lett å se høydeendringene i modellen, men ved å generere terrengmodellen er kotene skissert.

Figur 5.25 viser terrengmodellen og punktskyen fra østsiden med punktskyen flyttet 50 meter oppover for å sammenligne punktsky og terrengmodell. Ut i fra punktene i punktskyen kan det ikke fastslås hvordan terrenget endres i høyden. Terrengmodellen derimot, har linjer som viser hvordan terrenget endrer seg, og gir en god gjengivelse av terrengvariasjoner.



Figur 5.25 Terrengmodellen med punktskyen flyttet 50 meter over for sammenligning. Modellen er klippet i øst-vest retning for å forstyrres for å bli visuell. Det er vanskelig å fastslå hvordan terrenget går i punktskyen. Terrengmodellen viser kotene og gjør det lettere å oppdage høydevariasjoner.

Terrengmodellen som er laget fra den simplifiserte punktskyen og det gjeldende grunnkartet for området er presentert i figur 5.26 for å kunne sammenlignes med den digitale terrengmodellen. Kotene i det gjeldende grunnkartet er relativt samsvarende med de som er vist i terrengmodellen fra Revit, med unntak av at linjene i Revit ikke er like «glatte». Siden en manuell landmåling normalt ikke måler punkter nærmere enn omtrent 10 meter fra hverandre, blir linjene i grunnkartet interpolert mellom færre punkter, med tilsynelatende mindre nøyaktighet. Hvorvidt dette har noe å si for kartgrunnlaget i denne caset kan diskuteres, men det kan konkluderes med at resultatene fra drone med fotogrammetri er brukbare på lik linje med grunnkartet som er basert på tradisjonelle innmålinger. Derimot, dersom terrengmodellen skal tas inn i program for å optimere og lage en fornuftig plan for bebyggelse i området, er den digitale terrengmodellen klar for å starte planleggingen direkte over. Et todimensjonalt kart må bearbeides og legges inn manuelt i programvare for å få tilsvarende funksjon.



Figur 5.26 Sammenligning av den digitale terrengmodellen i Revit og kartgrunnlaget fra manuell landmåling (Gjengitt med tillatelse fra Prosjekttil, 2017). Kotene er sammenfallende, men det kan sees at det i modellen fra manuell måling er rettere linjer, og tilsynelatende færre punkter langs kotene.

Oppsummert er modellen av punktskyen utfyllende med lav nok usikkerhet til å mene at resultatene er nøyaktige for å benyttes til arealplanlegging og prosjekteringsformål. Smådetaljer som vegger og asfaltkanter er synlige nok til å måle høydeforskjellen på i den fulle modellen. På hus der tak går over veggene, blir veggene skjult, og punktskyen er ikke god nok til å estimere høyder der. Det samme gjelder for høye trær, der punktskyen mangler informasjon om terrenget. Dette er heller ikke å forvente, da dronen tok alle bildene fra luften i horisontalplanet. På området som er undersøkt i casestudiet er det av ubetydelig utstrekking, da det for det meste er lav vegetasjon med få høye trær.

5.4.2 Tidsbruk og kostnadsbruk

Tiden som er forbundet med landmålingene er presentert i tabell 5.4. Verdiene for manuell landmåling er estimert av (Sørbø, 2017). Første gangen dataene ble prosessert var tidskrevende med mye læring underveis i prosessen. For å sikre at prosesseringen ikke ble

mangelfull ble alle filtyper og muligheter som programmet tilbydde valgt. På grunn av feiling og læring underveis i prosesseringen gikk det mye tid som i en vanlig prosesseringssituasjon hadde vært unngått. Lærekurven i prosessen var bratt, og den største utfordringen var å finne ut hvilke data som trengs, og hva dataen kan brukes til. Derfor ble prosesseringen gjennomført en gang til, både for å kvalitetssikre de punktskyen som var prosessert og for å få reelle anslag på hvor lang tid en komplett droneoperasjon vil ta

Under andre prosessering var kunnskapsnivået om ulike filtyper høyere, i tillegg til at vissheten om hvilke filer som er kompatible for de resterende programmene i prosessen var tilstede. Ved å ha forhåndskunnskap om hva som ønskes av materiell fra prosesseringen går prosessen vesentlig raskere, som vist i tabellen. Tidsbruken for prosesseringen i andre forsøk er kvalitetssikret av en ekstern ressurs som påpekte at verdiene er reelle for hva som vanligvis brukes i droneoperasjoner av tilsvarende omfang (Sæter, 2017).

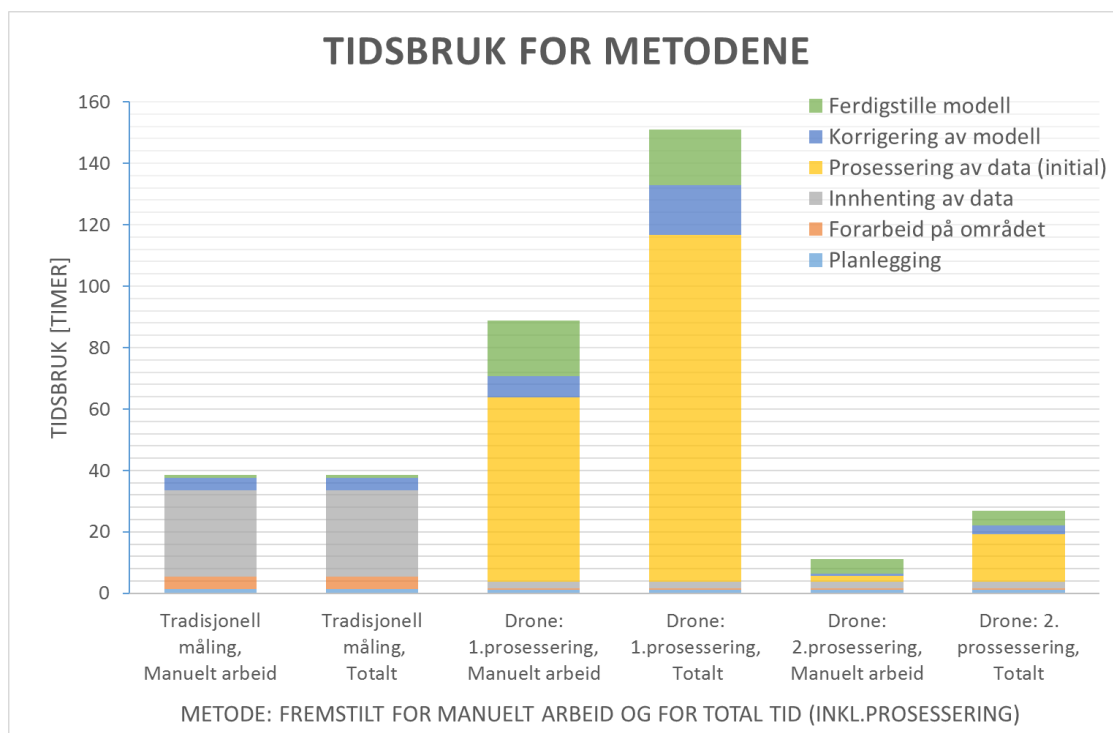
«Manuelt arbeid» er arbeidet som krever et menneske tilstede. Selv om dronen flyr en automatisk forhåndsbestemt flyrute, er ikke det medregnet under «automatisk arbeid» siden noen må være tilstede under operasjonen og stå ansvarlig for flyvningen. Det manuelle arbeidet er ikke delt opp i innkjøpte tjenester og arbeid som er gjort av bedriften selv. Dette på grunn av at det er irrelevant i diskusjonen om tidsforbruk med tanke på kostnader for innkjøp av arbeidskraft mot å ha denne arbeidskraften selv også er kostnadsdriver som krever ytterligere studier utover det som er undersøkt i oppgaven. Tidsforbruk for tradisjonell landmåling er gitt med utgangspunkt i de mest hyppige målingene en landmåler ville tatt fra et tilsvarende område. De mest detaljerte manuelle innmålingene er vanligvis tatt med 5 til 10 meter mellom målepunktene. En forutsetning om at datagrunnlaget hadde vært tilsvarende detaljert er ikke relevant å sammenligne med, for i praksis hadde ikke dette forekommet. Dersom enkelte objekter og detaljpunkter i området skulle vært medtatt, måtte det vært brukt totalstasjon for å måle de inn i etterkant av oversiktsmålingene (Sørbo, 2017).

Tabell 5.4 Tidsbruk for landmåling ved stikking, droneoperasjon første og andre forsøk.

Tidsforbruk i timer	Tradisjonell landmåling			Droneoperasjon 1. prosessering			Droneoperasjon 2. prosessering		
	Manuelt arbeid	Automatisk arbeid	Total tid for ferdigstillelse	Manuelt arbeid	Automatisk arbeid	Total tid for ferdigstillelse	Manuelt arbeid	Automatisk arbeid	Total tid for ferdigstillelse
Planlegging	1,5	0	1,5	1,2	0	1,2	1,2	0	1,2
Forarbeid på området	4	0	4	0,5	0	0,5	0,5	0	0,5
Innhenting av data	28	0	28	2	0	2	2	0	2
Prosessering av data	0	0	0	60	53	113	2	13,5	15,5
Korrigerings av modell	4	0	4	7	9,2	16,2	0,8	2,2	3
Ferdigstille modell	1	0	1	18	0	18	4,7	0	4,7
Totalt:	38,5	0	38,5	88,7	62,2	150,9	11,2	15,7	26,9

Tabell 5.4 viser at prosesseringen i droneoperasjonen er tidkrevende arbeid. Den initiale prosesseringen sette bildene i sammen, matcher punkter og lager ortofoto av bildene. Deretter genereres punktskyen, før kontrollpunktene blir lagt inn og punktskyen re-optimeres og transformeres til ønsket format. Etter at prosesseringen er gjennomført korrigeres modellen, og i ferdigstillelse av modellen inngår genereringen av terrengmodellen og importering av modellen i ønsket program for videre bruk.

Konsekvensene av tidsbruken ved å hente inn data for de ulike metodene er fremstilt i diagram med stablede kolonner i figur 5.27. Diagrammet viser at menneskelig arbeidskraft som benyttes er tilnærmet halvert for metoden der dronen blir brukt under den første prosesseringen da undertegnede ikke hadde kunnskap til programmet, og at ved kunnskap til programmet, er menneskelig arbeidskraft betydelig redusert. Som allerede begrunnet, er manuell landmåling basert på estimerte verdier som er tatt ut fra så detaljert landmåling en stikningsingeniør vanligvis ville gjort av området. Manuell stikking krever at menneskelig arbeidskraft er tilstede hele prosessen, og totalt er tidsbruken i underkant av 40 timer. Sett ut fra normal arbeidsuke, ville dette tatt en uke å levere til kunden fra bestilling er på plass.



Figur 5.27 Tidsforbruk for landmålingsprosessene. I tradisjonell landmåling krever all tid timeverk. Metoden med å bruke drone tillater prosessering automatisk av programvare uten tilsyn, og det reduserer derfor både timeverk og total leveringstid da prosesseringen kan skje ut over normal arbeidstid. Diagrammet viser også at det er mindre å hente på å bruke metoden dersom personell ikke er kjent med programvare allerede.

Fra å få en bestilling til en ferdigstilt modell ved bruk av drone med fotogrammetri, bruker det totale arbeidet omtrent 27 timer totalt. Over halvparten av denne tiden er prosesseringstid som skjer automatisk etter at prosesseringen er satt i gang. Ved effektiv innhenting av bildene, klar programvare for prosessering og kunnskap om hva som tilfredsstillende kjøpers behov, kan en leveranse i dette tilfellet skje på litt over et døgn. Det er likevel ikke realistisk at droneselskapene kan garantere for så hurtig leveranse, i og med at de trolig har andre oppdrag som skal leveres, men av samme begrunnelse kan manuell stikking, under samme begrunnelse, bruke lenger tid enn det som vises i dette diagrammet.

5.4.3 Nytteverdien

For å vurdere nytteverdien blir det diskutert hva drone med fotogrammetri kan brukes til og hva som gjør denne metoden bedre eller mer anvendelig enn tradisjonell landmåling. Tre faktorer legges til grunn for å drøfte om metoden gir økt nytteverdi:

- Pris: er prisen konkurransedyktig: Er drone med fotogrammetri tilsvarende eller billigere enn tradisjonelle metoder for landmåling?
- Tidsbruk: kan resultatene leveres til rett tid raskere enn ved tradisjonelle metoder for landmåling, eller er tiden tilsvarende?
- Kvalitet: er kvaliteten tilsvarende eller bedre? Ved bedre kvalitet, og dersom dyrere; er den økte kvaliteten noe som bransjen er villig å betale for? Ved tilsvarende kvalitet; hentes dataen inn på kortere tid? Hva kan dataen brukes til?

Pris: En diskusjon rundt prismessige konsekvenser med intervjuobjekter avdekket at priskonsekvensen for utstyret forbundet med drone med fotogrammetri i stedet for utstyr brukt i tradisjonelle målemetoder ikke er avgjørende, da disse kostnadene er små. I forhold til byggeprosjekters totale kostnader er kostnadene for landmåling lave, og en liten variasjon i disse vil ikke endre kostnadsbildet vesentlig. På grunn av at drone med fotogrammetri til arealplanlegging og prosjektering er en relativt ny metode, er det lite informasjon å finne om reelle driftskostnader. Undersøkelser av priskonsekvenser gir derfor ikke et tilstrekkelig bilde for å konkludere om kostnadene for metoden. Det kan likevel sies at normalt er kostnader forbundet med landmåling relativt lave sammenlignet med et prosjekts totale kostnader (Rasmussen, 2017). På grunn av reduksjonen i arbeidstimer som blir brukte for å ferdigstille resultatene fra droneoperasjonen i forhold til ved tradisjonelle metoder, er kan kostnader forbundet med timeforbruk antas å være redusert.

Tid: Sett ut fra den totale tidsbruken for å ferdigstille punktskyen og terrengmodellen kan drone med fotogrammetri leveres på langt færre timer grunnlag fra tradisjonell landmåling. Landmåling fra drone bruker 11,2 timer manuell arbeidstid, og 15,7 timer automatisk prosesseringstid, mens tradisjonell landmåling er gjennomført med 38,5 timer manuelt arbeid. Den automatiske prosesseringstiden kan gjennomføres uten menneske tilstede, uten restriksjoner på når det prosesseres. Derfor kan dette gjøres over natten. Dette tilsvarer en reduksjon på 70,9% i forbruk av arbeidstimer og gjør at droneoperasjonen kan leveres på kortere tid enn den tradisjonelle metoden. Prosesseringstid er også avhengig av hvor mye data som skal prosesseres, men selve droneoperasjonen bruker omtrent den samme tiden, uavhengig av hvor mange bilder som tas. Det må nevnes at tiden det tar å prosessere øker med større mengder data, så mengde og graden av nøyaktighet som er nyttig til hvert enkelt tilfelle bør drøftes før bildene blir hentet inn. Hva punktskyen og modellen skal brukes til, må avklares på forhånd slik at leveransen står til det som er nyttig for brukeren. Vanligvis er ikke tiden avgjørende for en landmåling, fordi den som prosjekterer ofte vet at de har behov for et landmålingsoppdrag i god tid før de må ha det levert. Likevel er tidsperspektivet aktuelt å diskutere, både med tanke på hasteoppdrag og kostnader som kan forventes i droneoperasjonen.

Kvalitet og bruksområder: Potensielle brukere av metoden ser verdien av stort datagrunnlag, men er ikke klar over bruksmuligheter utover det de allerede bruker dataene til i dag (Steen, 2017). Dersom det som er tilført av informasjon ikke blir brukt, og tidsbruken hadde vært det samme, er det ikke grunn for å bestille landmåling utført ved drone med fotogrammetri. Hvis bestiller av punktskyen ikke vet behovene og formålet med landmålingen, eksempelvis hvor tett punktsky som trengs for å måle høyder av bygninger, er det en risiko for å få en leveranse som ikke kan brukes.

Sett ut i fra eksempelet i figur 5.21, kan høyder i fra gjeldende terreng (i punktskyen) til toppen av byggverk sjekkes for å sikre at byggverk prosjekteres i henhold til høydebegrensinger i reguleringsplanene. De koordinatfestede punktene gjør at også sol/skyggef forhold på terrasser og hageområde simuleres før byggingen av prosjekter starter. Dette krever både at brukerne er klar over mulighetene, og at de faktisk tar de i

bruk. Derfor er den økte kvaliteten er også avhengig av at brukeren av resultatene vet hva som kan gjøre med resultatene for å ha økt nytteverdi. Når punktskyen er riktig format kan den importeres i prosjekteringsprogram som Revit og brukes til å lage fullstendige «objekter» av eksisterende elementer i området. Eksisterende elementer kan kopieres og legges til som spesifikasjoner i prosjekteringen videre. Dette kan være spesielt nyttig i renoveringsprosjekter, utbyggingsprosjekter der byggherre ønsker tilsvarende fasade, og i prosjektering av felt som skal oppføres i lignende utførelse. Når «objektene» er laget basert på punktskyen kan elementet implementeres som et objekt som er koordinatfestet med linjer og plassering, og hvert enkeltpunkt blir satt sammen til en sammenhengende geometri. Dette resulterer i mindre størrelse i filen, og økt bruksområde i de programmet har begrensinger for størrelser til prosjektene som arbeides med.

For å kunne levere et nyttig produkt, må enten bestiller eller kjøper ha nok kunnskap om behov og funksjonskrav. Dersom ingen av dem kan spesifisere disse er det en risiko for at de ikke kan levere data som gir økt nytte. Ved å få filtyper med koordinater i feil koordinatsystem, eller av feil format vil det være en del arbeid for å få transformert filtypene i rett format, som vist med forskjellen i tidsbruken i første og andre prosessering.

Oppsummert viser funnene at drone med fotogrammetri til landmålingsoppgaver gir langt mer detaljerte gjengivinger av terrenget på kortere tid. Hvorvidt den økte informasjonen øker nytteverdien og bruksområdene kommer an på om den som skal bruke landmålingen kjenner til programvaren og får en leveranse i henhold til sine behov. Koordinatsystem som skal brukes videre bør også være kjent, både det i vertikale og det horisontale grunnlaget for å unngå å måtte legge ned arbeid i å transformere koordinatene mellom ulike systemer. Metoden gir muligheter for mange bruksområder, men igjen kan nytten av dette relateres til bestillers- og leverandørs kompetanse. Nyten av å ta i bruk drone med fotogrammetri vil være størst når en kjøper har kartlagt sitt behov, og droneoperatøren og den som prosesserer dataene vet leveransen som fyller behovet. Forståelsen for hva som er behovet er viktig både fra kjøper og leverandør sin side.

6 Diskusjon

Studiet er gjennomført på en strukturert måte for at leseren kan vurdere resultater og konklusjoner i sammenheng med det teoretiske rammeverket som er lagt til grunn for undersøkelsen. Dette kapittelet diskuterer litteraturstudiet, reliabiliteten til datagrunnlaget, gyldigheten av området som er undersøkt og gjennomføringen av casestudiet. Hensikten med kapittelet er å fastslå om studiet har validitet og om funnene er pålitelige.

6.1 Litteratur og teorier lagt til grunn for undersøkelsen

Hensikten med det litterære rammeverket er å gi leseren grunnlag til å forstå fremgangsmåten og resonnement som blir gjort i casestudiet. For å begrense det litteraturstudiet er det valgt å ikke inkludere generell teori om arbeid som inngår i bygge- og anleggsprosjekter. Prosessene forbundet med arealplanlegging og prosjektering er heller ikke beskrevet. Det utelatt fordi at studiet må begrenses, og det forventes at målgruppen som har interesse av å bruke drone med fotogrammetri til landmåling for arealplanlegging og prosjektering allerede har tilstrekkelig kunnskap om arealplanlegging og prosjektering.

Drone med fotogrammetri er sammenlignet med tradisjonelle metoder for landmåling. Derfor er teorien rundt begge metodene relevante for litteraturstudiet. Innføringen i koordinatsystemer og prinsipper for fjernmåling er også relevant teori da emnene som er aktuelle for den grunnleggende forståelsen av temaet. Metodene som brukes til landmåling består av flere sammensatte steg, og medfører dermed flere kilder til avvik fra virkeligheten. Siden posisjonsbestemmelse krever nøyaktig arbeid er aktuelle feilkilder beskrevet.

Landmåling og forskning på å gjengi jordens overflate i todimensjonale plan har foregått i mange tiår. Kilder som omhandler dette er av eldre årgang, og metodene i seg selv har endret seg lite. Disse kildene er derfor troverdige og godt bearbeidet gjennom årenes løp. Fotogrammetri er en metode som er normalt å benytte til å gjengi jordens overflate, og har blitt utviklet i takt med øvrige utviklinger innen digitalisering. Derfor er store mengder kilder som omtaler fotogrammetri tilgjengelige, og de anses både grundige og valide. I motsetning har utviklingen innen droneteknologi hatt store fremskritt de senere årene, og kildene er relativt nye og få. Skriftlige kilder er tilsynelatende godt bearbejdede, men de gjenspeiler at forfattere ofte kan ha personlige gevinster av å fremme dronebruk. Derfor er fakta sjekket opp for å sikre flere samsvarende kilder og dermed oppnå pålitelighet i funnene som blir gjort. Det teoretiske rammeverket rundt droneteknologi beskriver hvordan dronesystemet fungerer, komponenter som ligger til grunn for å benytte drone til kartleggingsoppgaver og hva som skal til for å gjennomføre en droneoperasjon. I tillegg er det ansett relevant å inkludere informasjon om bruksområde som drone tidligere er benyttet til innen kartlegging.

Det er ikke funnet tidligere forskning som er direkte relatert til drone med fotogrammetri til landmåling for arealplanleggingsformål, og det er derfor relativt få kilder å basere det

spesifikke studiet av metoden på. Skriftlige kilder som benyttes er derfor basert på lignende bruksområde for droner, og relevante bidrag er forsøkt tatt ut i den aktuelle sammenhengen. Både teoridelen og drøftingen av resultatene er informasjonen supplert ved å bruke ressurspersoner til intervjuer og diskusjoner. Alle intervjuobjektene har i varierende grad insentiver til å ville at drone med fotogrammetri skal være nyttig for BA-bransjen. Disse er enten leverandører av tjenesten eller brukere med ønske om interne forbedringer av relativt kompliserte prosesser. Kildene kan likevel anses pålitelige da hensikten med å bidra med innspill er egen læring og kartlegging av muligheter og behov.

6.2 Forskningsmetode

Som beskrevet i metodekapittelet baseres casestudiet på forståelse av et generelt fenomen ved å utforske enkelttilfellet. Sammenhengen mellom drone med fotogrammetri og muligheter det gir innen landmåling til arealplanleggingsformål er studert for et spesifikt område. Forståelsen av metoden er brukt til å undersøke effekten av å bruke drone med fotogrammetri til landmåling for prosjekter innenfor sammenfallende kategori, i henhold til casestudiets metodikk. Hvorvidt funnene er gjeldende for andre prosjekter er beskrevet i form av begrensinger og forutsetninger for undersøkelsen. Metodikken til casestudiet er aktivt utnyttet gjennom studiets tidsløp, ved å basere funn på bevis fra dokumenterte kilder, direkte observasjoner, deltakelse i resultatinnhenting og intervju. Formålet med å velge casestudiet er begrunnet med anvendeligheten og tilgjengeligheten til forskning for å få forståelse for den komplekse situasjon. I oppgavens tilfelle er leserens forståelse sikret med innføring i temaet, forklaring av fremgangsmåter før analysen er gjennomført. Funn som er aktuelle for problemstillingen er derfor sikret validitet.

6.3 Casegjennomføringen

Caset ble gjennomført i flere uavhengige sekvenser som alle påvirker utfall av studiet. Hvorvidt resultater som er innhentet er pålitelige er derfor diskutert med utgangspunkt i aktuelle påvirkningsfaktorer for å vurdere funnenes validitet.

6.3.1 Datainnsamling og interne forhold som påvirker resultatene

Landmåling med bruk av drone med fotogrammetri er en metode som krever samhandling mellom flere systemer og komponenter. Dersom en eller flere av disse komponentene hadde blitt erstattet kunne resultatene blitt påvirket. Valget av type drone og type kamera som er brukt til å gjennomføre casestudiet med er basert på hva som var tilgjengelig for undersøkelsen. Datagrunnlag fra en annen type drone kunne gitt andre resultater, særlig i forhold til stabiliteten i horisontalplanet. Falcon 8 er utstyrt med åtte rotorer i en v-form som bidrar til at den kan holdes stabil når bilder tas. Bruk av drone med andre egenskaper kan påvirke usikkerheten av målingene og kvaliteten av bildene. Bildekvaliteten er også påvirket av kameraet som er benyttet. Et kamera med dårligere oppløsning, må ta flere bilder for å oppnå samme antall punkter i punktskyen. Dette ville påvirket tidsbruken både under droneflyvning og under prosessering når flere bilder skal prosesseres. Konklusjonen

hadde på tross av disse endringene blitt den samme, så lenge komponentene ikke hadde hatt en signifikant dårligere kvalitet.

Kontrollpunktene som er brukt for å korrigere punktskyen som er generert fra dataene er målt inn av profesjonell landmåler. For å sikre nøyaktigheten i punktskyen, forutsettes korrekte målinger av kontrollpunktene. Siden landmåleren er en seriøs aktør har det i oppgaven blitt lagt til grunn at feilkildene ikke spiller en rolle på sluttresultatet. Det forutsettes at målingene er korrekt utført, og at utstyret som er benyttet er korrekt kalibrert. Det må likevel nevnes at nøyaktigheten av punktskyen aldri kan bli mer nøyaktig enn nøyaktigheten av kontrollpunktene ved å bruke fastmerker i droneoperasjonen. Ved systematiske feil i modellen i plasseringen av kontrollpunkter vil det forekomme avvik fra den geografiske plasseringen i virkeligheten.

Tidsbruken fra planlegging til ferdigstilt modell er objekt for større usikkerhet. Påliteligheten i tidsestimater som i realiteten ikke er gjennomført kan i den grad det er mulig økes ved å kvalitetssikre informasjon fra flere kilder. I oppgaven er de estimerte verdiene grundig diskutert med Sørbø, som på grunn av hans bakgrunn og erfaring ansees som en pålitelig kilde. Tidsbruk for droneoperasjonene er diskutert med Aeroview, og de har bekreftet at de oppgitte verdier er representative for normalen av prosjekter.

Hadde undersøkelsen vært foretatt i et område av en annen størrelse, eller med mindre behov for kartlegging, ville resultatene blitt påvirket. Et mindre område, eller et område med behov for et mindre antall målte punkter ville nødvendigvis ikke vært mer effektivt å måle inn med bruk av drone. Dette er fordi at prosesseringen med matching av bilder krever tid, droneoperasjonen krever tid, og dersom det er et fåtall punkter som skal koordinatfestes, er fremdeles tradisjonelle metoder for landmåling mest effektive. Derfor blir drone med fotogrammetri mer anvendelig når landmålingen er av høyere antall punkter. Landmålinger av større områder krever samtidig lengre tid, og da kan fastvingedrone benyttes for å måle inn området raskere. Det er grunner for å påstå at områder inntil en viss størrelse og omfang er mest effektive å måle inn ved tradisjonelle metoder, men etter at omfanget er overskredet fungerer drone med fotogrammetri mer effektivt. Områder av annen størrelse er ikke undersøkt, og det kan derfor ikke konkluderes med noen spesifikke funn.

6.3.2 Eksterne forhold som påvirker datainnsamlingen

Fotogrammetri er basert på bildemateriale og kvaliteten på resultatene er i stor grad avhengig av kvaliteten på bildene som blir benyttet. Dette faktum fører til at datagrunnlaget i undersøkelsen er påvirket av værforhold på flyvningsdagen. Dager med sol vil gi en punktsky som viser skygger, og dager med regn vil i verste fall føre til at flyvningen blir utsatt. Værforhold på flyvningsdagen påvirker derfor resultatene av dronerresultatene. Flyvningsdagen i denne undersøkelsen hadde tilnærmet perfekte værforhold; lite vind, oppholdsvær, og skydekke slik at det ikke kom skygger i bildene. Skiftende vær hadde også kunnet påvirke nøyaktigheten, i og med at dronen kalibrerer høydereferansen ut fra barometrisk trykk. Dersom flere dager med ugunstige værforhold gjør at dronepiloter ikke

kan fly, vil tid for leveransen bli forsinket. Det vil resultere i at droneoperasjonen bruker for lang tid i forhold til tradisjonell måling. Siden fotogrammetri er sammensetning av bilder, vil også snø kunne påvirke konklusjonen i favør av den tradisjonelle målemetoden. En lang vinter med snø vil skape dårlige forhold for å gjøre fotogrammetri i et område som skal bygges. Refleksjoner fra snøen vil i utgangspunktet trolig kunne forringe resultatene, også dersom formålet er å beregne mengde snøfall eller snøsmelting. Dette elementet er allerede støttet opp for i begrensingen til oppgaven; da det er forutsatt at konklusjoner er gjeldende for tilsvarende område og omfang. Dermed er resultatene for dette studiet fortsatt valide. For å konkludere med om metoden ved å bruke drone med fotogrammetri er mer effektiv enn manuell landmåling, måtte alle områder, omfang og værforhold blitt testet ut. Dette er ikke gjort, og heller ikke intensjonen med oppgaven. Problemstillingen er begrenset til caser som er tilsvarende den gjennomførte.

En utfordring ved bruk av drone med fotogrammetri er å gjennomføre droneoperasjoner i soner med flyforbud, som strekker seg 5 kilometer fra flyplassene i hele Norge. I disse sonene må droneoperatører ha særskilt tillatelse til å fly. Dette kan både resultere i forsinket leveranse av dronemateriell og i verste fall føre til at droneoperasjonen må utgå på grunn av manglende flytillatelse. I forhold til diskusjoner rundt bruksområder for drone med fotogrammetri blir dermed dette en begrensing. Omfanget av aktuelle droneoperasjoner som blir påvirket av denne begrensingen er ikke kartlagt, fordi det ikke anses som en del av oppgavens problemstilling.

6.3.3 Tolking og analyse av resultatene

Analysen av resultatene er utført med bakgrunn i teorier som er studert i forkant av droneoperasjonen og diskusjoner med intervjuobjekter. Intervjuobjektene har interesse av, og en positiv innstilling til at dette er en god metode å bruke. De har fra før en positiv holdning til metoden som blir studert, og en utvetydig oppfatning om at drone med fotogrammetri kommer til å forbedre landmålingsprosessen. Samtlige intervjuobjekter som svarte på spørsmål og hjalp til med avklaringer er mulig preget av et ønske om å forbedre prosesser innen bransjen. En av forutsetningene for at bedrifter skal være interesserte i å bidra i studiet er at de i utgangspunktet har tiltro til at metoden kan gi verdi, og hadde ikke hatt fordel av engasjement hvis ikke. Funnene av forskningen skal likevel hevdes å være pålitelige, gitt forutsetningene og begrensinger, på grunn av at innblandingmomentet og den positive holdningen er fokusert på gjennom hele casestudiet for å sikre validitet i forskningen.

Arbeidet med forskningen kan kritiseres for forskerens tette involvering i metoden, og kan ha blitt preget av et ønske om at metoden skal være forbedring fra eksisterende metode. Likevel er det forsøkt å ivareta objektivitet gjennom hele studiet. Tolking av resultatene er også diskutert med bidragsytere, for å sikre en felles forståelse for implikasjoner som fremkommer av studiet.

Studiet er gjennomført basert på én fremgangsmåte ved å bruke drone med fotogrammetri. Metoden som er brukt krever fastmerker plasserte i terrenget, som blir målte av landmåler, og medfører de konsekvenser som er beskrevet. Metoder for å korrigere punktskyen uten fastmerker begynner allerede langt på vei å anvendes, og det er mest sannsynlig lite relevant å bruke fastmerker etter hvert som utstyret for å korrigere forskyvninger i GPS-signal blir mer tilgjengelige. Begrunnelse for brukt fremgangsmåten er at det var det utstyret og metodene som var tilgjengelige i gjennomføringstidsrommet. Formål for undersøkelsen var å undersøke en metode som kunne bli direkte anvendt i nærliggende tid, og metoden kan derfor sies å være direkte relevant for omfanget som er studert. Hvorvidt den benyttede fremgangsmåten er den optimale metoden for å gjennomføre drone med fotogrammetri, er ikke diskutert. Sannsynligvis er andre metoder vel så bra, men siden dette er utenfor problemstillingens definisjonsområde ikke lagt til grunn i oppgaven. Andre fremgangsmåter for å gjennomføre fotogrammetri med drone er ikke aktuelt for undersøkelse i denne omgang, men er relevante for videre forskning. Selv med annet utstyr, av lavere kvalitet kan det forventes at drone med fotogrammetri har bedre gjengivelse av terrenget med høyere oppløsning i modellen enn tradisjonelle metoder for landmåling.

Funnene i studien, med hensyn til kvalitet på punktsky og tidsbruken vil, med alt tatt i betraktning, ikke endres selv om fremgangsmåtene til å gjennomføre fotogrammetri med drone optimeres. Det presiseres også at formålet med oppgaven ikke er å finne en optimert fremgangsmåte, men å svare på om drone med fotogrammetri kan effektivisere kartleggingsprosesser, og hvilke faktorer som bidrar til dette. Med forankring i problemstillingen og oppgavens omfang vurderes det dermed at målet med oppgaven er oppnådd.

Nyere forskning på tradisjonelle metoder er ikke undersøkt. Dersom dette også hadde blitt undersøkt kunne tema for vurderingen blitt noe annerledes. Likevel; selv om tradisjonelle landmålingsmetoder effektiviseres viser resultatene at drone med fotogrammetri er så mye mer effektivt, at de tradisjonelle metodene måtte blitt signifikant forbedret. I tillegg er kvaliteten med fargekoding av punkter og tettheten av punktskyen ikke relevant å sammenligne, da tradisjonelle metoder ikke kan måles på dette punktet.

6.3.4 Bruksmuligheter og aktuelle funn

Total nøyaktighet og grad av detaljer som drone med fotogrammetri klarer å utnytte er avhengig av interne og eksterne forhold. Sammenlignet med tradisjonelle metoder for landmåling oppnår drone med fotogrammetri en bedre gjengivelse av terrenget med flere antall punkter, i tillegg til fargekoding av punktene. Visuelt er modellen mer brukbar for forståelse av virkeligheten, som forventet.

Bruksmuligheter for punktskyen og terrengmodellen er diskutert med utgangspunkt i at formålet for landmålingen er kartlegging. Kartleggingen har som hensikt å være grunnlag for prosjektering og arealplanlegging. Behov og forventninger til bruker av landmålingen er ikke tatt stor høyde for. Hvorvidt kundebehovet for å ta i bruk mulighetene som drone

med fotogrammetri åpner for er ikke grundig kartlagt, og heller ikke forsøkt besvart i studiet. Imidlertid må det sies at punktskyen kan prosesseres i SOSI, dwg., eller annet kjent format for de som bruker, og ønsker å fortsette og bruke datamengden som er gitt i en tradisjonell projekteringssituasjon. Droneoperasjonen er også i dette tilfellet mer effektiv enn tradisjonelle metoder for landmåling, på grunn av totale tidsbesparelser fra planlegging til ferdigstillelse av modell.

7 Konklusjon

Bygg- og anleggsbransjens kontinuerlige fokus på økt effektivitet bidrar til utvikling av ny teknologi som utfordrer tradisjonelle metoder for gjennomføring av arbeidsoppgaver. Fokuset for oppgaven har vært om droneteknologi med kamerabasert fotogrammetri kan bidra til mer effektiv landmåling for prosjektering av byggeprosjekter og hvilke faktorer som ligger til grunn. Funnene viser at landmåling ved bruk av drone med fotogrammetri effektiviserer prosessen for dette området.

Kvalitet: Tettheten av punkter i punktskyen som genereres ved prosesseringen av bildene i dette studiet er i gjennomsnitt 5700 punkter per kvadratmeter (m^2). Ved manuell landmåling vil punkter måles hver 5. til 10. meter i et tilsvarende område, som tilsvarer 0,04 til 0,01 punkter per m^2 . Fremgangsmåten som er benyttet til drone med fotogrammetri i dette studiet krever måling av kontrollpunkter/GCP. Disse kontrollpunktene måles ved tradisjonell landmåling og benyttes til å korrigere den prosesserte punktskyen. Før kontrollpunktene er lagt inn i punktskyen er gjennomsnittlig feilmargin i x-, y- og z-koordinatene henholdsvis 34 centimeter, 35 centimeter og 68 centimeter. Etter korrigering har alle koordinatene en feilmargin under 4,7 centimeter. Kravet til nøyaktigheten av målingene er avhengig av formålet med landmålingen. For prosjektering av boligfelt og andre områder hvor hensikten for målingen er god oversikt er det tilstrekkelig med en nøyaktighet innenfor ± 5 centimeter. Derimot i tilfeller der detaljpunkter som hushjørner som skal måles er ikke denne nøyaktigheten tilstrekkelig. Det må imidlertid også ved tradisjonelle metoder for landmåling iverksettes ekstra ressurser for å få detaljpunkter målt nøyaktig nok. Siden dette vil være tilsvarende for begge metodene er ikke dette avgjørende for resultatet.

Sammenlignet med tradisjonell landmåling er drone med fotogrammetri en metode som gir en mer detaljert gjengivelse av terrenget. Ved å bruke terrengmodellen i kombinasjon med en fargekodet punktsky er det mulig å tilføre kartgrunnlaget ytterligere informasjon om eksisterende bebyggelse. Kvaliteten er derfor bedre ved å bruke drone med fotogrammetri fremfor tradisjonell metode for landmåling, da utfallet av droneoperasjonen er en detaljert punktsky med høy nøyaktighet og i tillegg en anvendelig digital terrengmodell.

Tids- og kostnadsbruk: Sammenlignes tidsbruken ved droneoperasjonen og tradisjonell landmåling viser droneoperasjonen betydelige tidsbesparelser. Dette forutsetter at vær og flyforbud ikke hindrer droneflyvningen. Mye av tiden som brukes ved drone med fotogrammetri er prosessering som kun krever datakraft. Dersom utstyr og mannskap er tilgjengelig, kan punktskyen og terrengmodellen i studiet ferdigstilles etter omtrent 11 timers manuelt arbeid og 16 timers prosesseringstid. Til sammenligning vil en manuell landmåling av området ta omtrent 39 arbeidstimer. Dette tilsvarer en reduksjon i arbeidstimer på omtrent 70% for å ferdigstille dataene. Derfor er droneoperasjonen mer effektiv enn tradisjonell landmåling både for leveringstid og færrest mulig arbeidstimer. Dersom landmålingen skal ha relativt få målte punkter kan ikke punktskyen og den digitale terrengmodellen fra drone med fotogrammetri ferdigstilles på kortere tid enn kartgrunnlag

utarbeidet ved tradisjonelle metoder. Dette på grunn av at prosesseringen og ferdigstillingen av punktskyen bruker tid, og at det i fremgangsmåten som er benyttet i denne metoden krever landmåling av kontrollpunkter ved bruk av tradisjonell metode for landmåling.

Forskjellen i total kostnader mellom drone med fotogrammetri og tradisjonell landmåling er hovedsakelig i dette studiet vurdert fra forskjellen i timeforbruk. Kostnader relatert til investeringer er engangsbeløpet ved kjøp av utstyr og vedlikehold av utstyret, i tillegg til opplæring av personale og programvarekostnader. På grunn av lite tilgjengelig informasjon om kostnadsbildet er det ikke foretatt en vurdering av disse kostnadene. Sammenlignet med de øvrige kostnadene i normale byggeprosjekter er kostnadene forbundet med landmåling relativt lave og ingen av metodene vil gi særlige utslag i et byggeprosjekts totale kostnader. Derfor gir ikke dette vesentlige endringer i kostnadsbildet for det totale byggeprosjektet.

Nytteverdi: Kundens behov avgjør den ønskede kvaliteten av dataene. Selv om datagrunnlaget har høyere kvalitet enn forventet er ikke kunden villig til å betale mer så lenge de ikke har økt nytte av leveransen. Punktskyer og terrengmodeller som leveres ved å benytte drone med fotogrammetri gjengir terrenget mer detaljert enn nødvendig, og i tillegg er mer effektiv på grunn av redusert leveringstid, og dermed også reduserte produksjonskostnader. Sett ut fra tidsbruken, kostnadsbruken og kvaliteten til punktskyen er det mer effektivt å levere kartgrunnlag fra drone med fotogrammetri fremfor tradisjonelle metoder for landmåling. En annen gevinst som taler for drone er økt sikkerhet for landmåleren, da droner kan fly i områder som utgjør en risiko for landmålere.

For maksimal utnyttelse av potensialet til drone med fotogrammetri kreves kunnskap om bruksområder som blir gjort tilgjengelige av den store mengden detaljer som punktskyen inneholder. Behovet for det enkelte prosjektet bør kartlegges for å få signifikant utbytte av landmålingen, og for å unngå å hente inn unyttig data. Når formålet for landmålingen er beskrevet, har drone med fotogrammetri nytteverdi til prosjektering og arealplanlegging. Fra resultatene i casestudiet blir det konkludert at drone med fotogrammetri kan bidra til mer effektiv landmåling for prosjektering og arealplanlegging. Funnene av undersøkelsen som er gjort viser både økt kvalitet, redusert tidsbruk og en generelt bedre gjengivelse av terrenget.

7.1 Anbefalinger

Hensikten med studiet har vært å undersøke om droneteknologi med kamerabasert fotogrammetri kan bidra til mer effektiv landmåling til arealplanlegging og prosjektering av byggeprosjekter, og hvilke faktorer som bidrar til dette. Resultatene viser at drone med fotogrammetri kan effektivisere landmålingen, men studiet har ikke undersøkt hvilken fremgangsmåte for droneoperasjonen som er optimal. Ved videre bruk av metoden anbefales det derfor å undersøke andre fremgangsmåter for å benytte drone med fotogrammetri til landmålingsformål.

8 Referanser

8.1 Intervjuobjekter

Navn	Bidrag	Bedrift
Alexander Hatlestad	Besvare tekniske spørsmål	Aeroview AS
Camilla Bø	Diskusjoner og innspill	Prosjektil AS
Jan-Eirik Sørbø	Diskusjoner og innspill	Prosjektil AS
John Magne Fenne	Diskusjoner og innspill	Prosjektil AS
Margrete Steen	Diskusjon av metoden	Prosjektil AS
Mikal Asbjørsen	Dronepilot og besvare spørsmål	Aeroview AS
Robert Sæter	Diskusjoner og innspill	Aeroview AS
Robert Ueland	Besvare tekniske spørsmål	Ingeniør innen landmåling
Sverre Heskestad	Diskusjoner og innspill	Prosjektil AS
Tor Lone Rasmussen	Diskusjoner og innspill	Prosjektil AS
Ørjan Nyberg Ladsten	Diskusjoner og innspill	Aeroview AS

8.2 Bibliografi

- Alasuutari, P. (1995). *Researching culture: Qualitative method and cultural studies*: Sage.
- Amlien, Y., & Gilde, T. O. (2013). *En koordinat er ikke bare en koordinat - En enkel innføring i koordinatsystem og kartprojeksjoner i Norge*. Høgskolen i Gjøvik. Retrieved from <http://hovedprosjekter.hig.no/v2013/tol/geo/utmntm/koordinatsystem.pdf>
- Andersen, Ø. (1999). *Orientering i stereoinstrument*: Institutt for kartfag, NHL.
- Andersen, Ø., Brånå, G., & Lønnum, S. E. (1991). *Fotogrammetri* (Bokmål[utg.], 2. utg. ed.). Bekkestua: NKI.
- AscendingTechnologies. (2017). AscTec Falcon 8. Retrieved from <http://www.asctec.de/en/uav-uas-drones-rpas-roav/asctec-falcon-8/>
- Bakkehaug, K. (2016). *Utfordringer og problemer ved innredning av kjellere*. NTNU.
- Barston, N. (2014). Technology uptake: increasingly sophisticated on-site tools and the rise in the use of BIM to run construction projects may be daunting, but they also represent an opportunity for 'contractors'. (SURVEYING: Technology uptake)(Building Information Modelling). *International Construction*, 53(8), 35.
- Bockmann, L., Barthelm, P. C., Danielsen, J., Grimstveit, L., Sundsby, J., Vestøl, O., & Harsson, B. G. (2009). *Koordinatbaserte referansesystemer*. Retrieved from Statens kartverk, Geodesi: http://www.kartverket.no/globalassets/standard/bransjestandarder-utover-sosi/koo_referansesyst.pdf
- Colomina, I., & Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, 79-97. doi:10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013
- Dick, Ø. B. (2009, 14.februar 2009). *Fotogrammetri*. Retrieved from <https://snl.no/fotogrammetri>
- Eika, T. (1947). *Landmåling*. Trondheim: Tapir.
- Eilefsen, A. (2011). Hvordan få riktige grunnlagsdata til prosjektering? Retrieved from http://www.vegvesen.no/attachment/1049185/binary/1064319?fast_title=04+Hvordan+f%C3%A5+riktig+grunnlagsdata+til+prosjektering.pdf
- Elkaim, G. H., Lie, F. A. P., & Gebre-Egziabher, D. (2015). Principles of Guidance, Navigation, and Control of UAVs *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles* (pp. 347-380): Springer.

- Ellevoll, K. A., & Sætre, J. (2017). *Hvordan treffe hoppkanten i et BIM-prosjekt*. Hammervoll Pind
- Kraftværk AS.
- Juliebø, E. (2004, 23.03.2017). Sentrale begreper og definisjoner innen landmålingsfaget. Retrieved from <http://www.iu.hio.no/bygglab/Landm/diverse/Ordl-lan.htm>
- Kartverket. SOSI. Retrieved from <http://kartverket.no/geodataarbeid/Standarder/SOSI/>
- Kartverket. (2013, 02.02.2013). GPS og GNSS. Retrieved from <http://www.kartverket.no/Kunnskap/Posisjon-og-navigasjon/GPS-og-GNSS/>
- Kartverket. (2016a, 29.02.2016). Magnetisk misvisning. Retrieved from <http://www.kartverket.no/kunnskap/posisjon-og-navigasjon/slik-finner-du-kompasskursen/Magnetisk-misvisning/>
- Kartverket. (2016b, 26.05.2016). Nytt høydesystem NN2000.
- Kartverket. (2016c, 28.04.16). Ortofoto. Retrieved from <http://www.kartverket.no/geodataarbeid/Flyfoto/Ortofoto/>
- Kartverket. (2017, 12.04). Dette er Kartverket. Retrieved from <http://kartverket.no/Om-Kartverket/Kartverket/>
- Kartverket, digitalt, N., & Naturfagsenteret. (2017). Kartkoordinater. Retrieved from <https://kartiskolen.no/innhold/kartkoordinater>
- Kasanen, E., & Lukka, K. (1993). The Constructive Approach in Management Accounting Research. *Journal of management accounting research*, 5, 243-264.
- Lilledahl, G., & Hegnes, A. W. (2000). *Kvalitativ metode*. Sosiologi Hovedfag UiO Kvalitativ metode Forelesningsnotat. Retrieved from <http://www.giaever.com/sosiologi/KM.htm>
- Lillemoen, M. (2012). Geografisk informasjon.
- Logsdon, J. M. (2017). Space exploration. *Encyclopædia Britannica*.
- Lovdata. (2015, 10.12.2015). Forskrift om luftfartøy som ikke har fører om bord mv. Retrieved from <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2015-11-30-1404>
- Luftfartstilsynet. (2016, 02.05.2016). Generelt om droner/RPAS. Retrieved from http://luftfartstilsynet.no/selvbetjening/allmennfly/Droner/Om_Droner
- Lukka, K. (2003). The Constructive Research Approach; Case Study Research In Logistics.
- Malt, U., & Tranøy, K. E. (2015, 4.august 2015). empiri. Retrieved from <https://snl.no/empiri>

- Meland, Ø. (2000). *Prosjekteringsledelse i byggeprosessen : suksesspåvirker eller andres alibi for fiasko?* (2000:116), Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Fakultet for bygg- og miljøteknikk, Institutt for bygg- og anleggsteknikk, Trondheim.
- Myre, T. K., & Nils, O. (2012). *Lean Design Management - hvordan kan Lean forbedre prosjekteringsfasen i byggebransjen? - Et casestudie fra Kruse Smith AS*: NTNU.
- Pix4D. Retrieved from <https://pix4d.com/>
- Pix4DmapperPro, G. w. (2017a). *Quality Report (No GCP)*. Retrieved from Pix4DmapperPro, G. w. (2017b). *Quality Report (With GCP)*. Retrieved from RobotAviation. (2016). SKYROBOT SYSTEMS. Retrieved from <https://www.robotaviation.com/products>
- RobotAviation. (2017). Products. Retrieved from <http://www.robotaviation.com/products.html>
- Robson, S., & Foster, A. (1989). *Qualitative research in action*: Edward Arnold.
- Routio, P. (2007, 03.08). Case Study. Retrieved from <http://www2.uiah.fi/projects/metodi/171.htm>
- senseFly. (2017). eBee senseFly. Retrieved from <https://www.sensefly.com/drones/ebee.html>
- Streb, C. K. (2010). Exploratory case studies. *Encyclopedia of case study research*, 372-373.
- Strømsholm, B. (2010, 26.06.2012). Ellipsoide og geoide. Retrieved from <http://ndla.no/nb/node/55934?fag=2600>
- Søderholm, J. (2014, 26.02.2016). Landmåling med UAV. Retrieved from <http://anleggsmaskinen.no/2014/10/4185/>
- Thompson, S., & Bracken-Roche, C. (2015). Understanding public opinion of UAVs in Canada: A 2014 analysis of survey data and its policy implications. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 3(4), 156-175. doi:10.1139/juvs-2015-0025
- Turner, I. L., Harley, M. D., & Drummond, C. D. (2016). UAVs for coastal surveying. *Coastal Engineering*, 114, 19-24. doi:10.1016/j.coastaleng.2016.03.011
- Vandsemb, O. A. (2014). *Kartlegging av status for dronebransjen med hensyn på bruksområder for ubemannede luftfartøy i det elektriske kraftnettet*. (Master Master), Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.
- Wester-Ebbinghaus, W. (1980). AERIAL PHOTOGRAPHY BY RADIO CONTROLLED MODEL HELICOPTER. *The Photogrammetric Record*, 10(55), 85-92. doi:10.1111/j.1477-9730.1980.tb00006.x

- Woodside, A. G. (2010). *Case study research: Theory, methods and practice*: Emerald Group Publishing.
- Yin, R. K. (2013). *Case study research: Design and methods*: Sage publications.
- Yu, X., & Zhang, Y. (2015). Sense and avoid technologies with applications to unmanned aircraft systems: Review and prospects. *Progress in Aerospace Sciences*, 74, 152-166. doi:10.1016/j.paerosci.2015.01.001
- Økern, H. (1994). *Landmåling : 2* (2. utg. ed. Vol. 2). Bekkestua: NKI.