

Bacheloroppgave

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

Kjersti Høyvik

Høydekartlegging for FKB-bygning med drone

Bacheloroppgave i Geomatikk

Veileder: Tormod Urke

Mai 2021

Kjersti Høyvik

Høydekartlegging for FKB-bygning med drone

Bacheloroppgave i Geomatikk
Veileder: Tormod Urke
Mai 2021

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



Oppgavens tittel:	Dato: 20.05.2021		
Høydekartlegging for FKB-bygning med drone	Antall sider:66		
	Masteroppgave:	Bacheloroppgave	X
Navn: Kjersti Høyvik			
Veileder: Tormod Urke			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/ veiledere:			

Sammendrag:

Oppgaven har sett på muligheten for å kunne utføre kartlegging for Felles Kartdatabase (FKB) ved hjelp av bilder fra dronekartlegging.

Det er tatt utgangspunkt i to eksisterende bildedatasett fra to ulike droner; DJI Mavic 2 Dual Enterprise og Camflight FX8HL

Kvaliteten er kontrollert ved å måle inn høyder på hus, mønet, med totalstasjon, og sammenliknet disse med høydene på møner i en punktsky fra fotogrammetri av dronebildene.


Det er brukt bakkekontrollpunkt målt inn med GNSS til fotogrammetrianalysen.

Mønelinje er en objekttype i FKB og kvalitetskravet for høydemålingene er tatt fra Fotogrammetrisk registreringsinstruks FKB-Bygning. Høydene for mønelinjer i eksisterende FKB sammenliknes også mot totalstasjonens målinger.

Det blir konkludert med at høydene funnet på mønelinjer fra dronekartleggingen er innenfor kravene i 95 % av målingene.

Stikkord:

Kartlegging
FKB
Drone
Fotogrammetri



(sign.)

Abstract

The thesis has examined the possibility of being able to perform precision mapping for FKB-data by using photos from drone mapping.

The analysis is based on two image datasets collected by two different drones: DJI Mavic 2 Dual enterprise and Camflight FX8HL.

The precision of the measurements is controlled by measuring heights of houses, the ridge, with a total station, and do a comparison of these heights against height found on ridges in a point clouds from photogrammetry of the drone photos. Ground control points, measured using GNSS, has been used for the photogrammetry analysis.

Ridgeline is an object category in FKB, and the precision demand for height measurements is obtained from FKB's registration directive. The height measurements of ridge lines found in existing FKB are also compared against the measurements of the total station.

It is concluded that the heights found on ridge lines from the drone mapping are within the requirements in 95% of the measurements.

Forord

Denne oppgaven markerer slutten på bachelorstudiet ved Institutt for vareproduksjon og byggteknikk ved NTNU Gjøvik. Oppgaven har vært interessant og veldig lærerik.

Underveis har jeg fått veldig god hjelp av veileder Tormod Urke ved instituttet. I tillegg har jeg fått gode faglige innspill og støtte fra Ivar Oveland hos Kartverket i Kristiansand. Tusen takk til dere begge!

For å kunne gjennomføre bacheloroppgaven i tillegg til full stilling som landmåler hos Nidaros Oppmåling AS, har jeg god støtte av arbeidsgiver Ola Aspmodal. Jeg har også fått bruke landmålingsutstyr, varebil og kontorlokale og ikke minst fått mulighet å jobbe med oppgaven i arbeidstiden en dag i uka i løpet av semesteret. Uten denne avtalen hadde oppgaven ikke vært gjennomførbar.

Jeg vil også takke Roger Fløttum, næringsrådgiver i Søndre-Land kommune, som stilte opp med drone og som gjennomførte flygingen for meg i november høsten 2020. I tillegg vil jeg takke Ole Benjamin Wike hos Nordic Unmanned AS har lagt til rette for at jeg fikk bruke data og bilder samlet inn fra et prosjekt Nordic Unmanned AS hadde på Gjøvik i 2019.

Innhold

Abstract.....	ii
Forord.....	iii
Figurer	5
Tabeller	6
Forkortelser.....	7
1 Innledning.....	8
1.1 Oppgaveformulering.....	8
1.2 Bakgrunn for oppgaven	8
1.3 Mål.....	9
1.4 Målgruppe	10
2 Teori.....	11
2.1 Kartlegging i Norge og FKB	11
2.1.1 Geovekst.....	11
2.1.2 FKB-data	11
2.1.3 FKB-bygning, detaljeringsnivå og nøyaktighet	11
2.1.4 FKB-kartdata i Sosi-format	13
2.1.5 Fastmerkenett i Norge	13
2.2 Programvare	13
2.2.1 Pix4Dmapper - Educational Version 4.5.6.....	13
2.2.2 Gemini Terrain 15 x64 build 12/3-2020	13
2.2.3 Gemini Oppmåling 5.4 Revisjon 3204	13
2.2.4 Exiftool Version 12.25	13
2.2.5 Microsoft 365 - Excel.....	13
2.3 Fotogrammetri.....	14
2.3.1 Fra bilde til et romlig plassering.....	14
2.3.2 Strålebuntutjevning.....	14
2.3.3 Punktskyer	15
2.4 Fotografering med drone	15
2.4.1 Drone og multikopter	15
2.4.2 Tillatelse til å fly drone	16
2.5 Bildetaking	17
2.5.1 Kamerafunksjoner	17
2.5.2 Nadir- og Oblique-bildetaking.....	18

2.5.3	Hastighet ved bildetaking.....	18
2.5.4	Bakkeoppløsning	19
2.5.5	Dekningsgrad og overlapp.....	20
2.6	Stedfesting av informasjon.....	20
2.6.1	Referansesystem/Datum.....	20
2.6.2	Kartprojeksjonene UTM og NTM	21
2.6.3	NN2000, vertikalt datum.....	21
2.6.4	GNSS	21
2.6.5	Sanntidsmåling	22
2.6.6	Totalstasjon	22
2.7	Nøyaktighet og presisjon.....	23
2.7.1	Feil i målinger	23
2.7.2	Gjennomsnitt og standardavvik	23
2.7.3	Utjevning	25
2.7.4	Ytre pålitelighet.....	25
3	Metodebeskrivelse	26
3.1	Begrensinger.....	26
3.2	Mønelinje.....	27
3.3	Oversikt metodevalg.....	28
3.4	Fotogrammetriprosessering til punktsky	29
3.4.1	Bruk av kontrollpunkt.....	30
3.5	Identifisering av objekter i punktsky	32
3.5.1	Utvalg av aktuelle områder i punktsky.....	32
3.5.2	Eksport av punktsky fra Pix4D	32
3.5.3	Import av punktskyer i Gemini terreng.....	32
3.5.4	Identifisere mønelinjer.....	33
3.5.5	Måle høyden på ei mønelinje.....	34
3.6	Innmåling av mønehøyder med totalstasjon	36
3.7	Datsett fra FKB i sosi-format.....	37
4	Dronefoto fra Prost Bloms gate i Gjøvik.....	38
4.1	Utstyr	38
4.1.1	Dronetype.....	38
4.1.2	Kamera	38
4.2	Bildedatsett fra Prost Bloms gate	39
4.2.1	Dronehastighet og flyhøyde.....	40

4.2.2	Bakkeoppløsning for bildesettet	40
4.2.3	Overlapp	40
4.3	GCPs ved Prost Bloms gate	42
5	Droneflyging ved Hov i Søndre Land	43
5.1	Utstyr	43
5.1.1	Drone DJI Mavic 2 Enterprise Dual.....	43
5.1.2	Kamera og innstillinger.....	43
5.1.3	Dronehastighet og flyhøyde	44
5.1.4	Bakkeoppløsning for bildesettet	44
5.1.5	Overlapp	45
5.2	Bakkekontrollpunkter ved Hov	46
6	Innmåling med totalstasjon.....	48
6.1	Målerapport Prost Bloms gate i Gjøvik	48
6.1.1	Utstyr:.....	48
6.1.2	Innmåling oppstillingspunkter med GNSS.....	48
6.1.3	Kontrollmåling mot landsnettpunkt.....	48
6.1.4	Utjevning fastmerker og ytre pålitelighet	49
6.1.5	Oppstilling av totalstasjon.....	50
6.1.6	Utjevning	50
6.2	Målerapport fra innmålinger i Hov.....	50
6.2.1	Utstyr:.....	50
6.2.2	Innmåling oppstillingspunkter med GNSS.....	50
6.2.3	Kontrollmåling mot stamnettpunkt	51
6.2.4	Utjevning GNSS-punkter og deres ytre pålitelighet	52
6.2.5	Oppstilling av totalstasjon.....	52
6.2.6	Utjevning	52
7	Resultat.....	53
7.1	Høyder målt i punktsky i Gjøvik.....	53
7.2	Høyder målt med totalstasjon i Gjøvik.....	53
7.3	Sammenligning målinger av mønehøyder i Gjøvik.....	54
7.4	Høyder målt i punktsky i Hov.....	55
7.5	Høyder målt med totalstasjon i Hov.....	55
7.6	Høydesammenligning målinger i Hov.....	56
8	Drøfting.....	57
8.1	Høyder fra dronefoto	57

8.2	Forskjeller i bildedatasettene	57
8.2.1	Overlapp for bildedatasettet fra Hov	57
8.2.2	GCP'er for bildedatasettet fra Hov	57
8.2.3	Lukketid på kamera for bildedatasettet fra Hov	57
8.3	Høyder av mønelinje i FKB-bygning	58
8.4	Kartlegging med drone for FKB	58
8.4.1	Identifisering av objekter	58
8.5	Høyder målt med totalstasjon	59
8.6	Målgruppe	59
8.6.1	FNs bærekraftsmål	59
9	Konklusjoner	61
10	Videre arbeid	62
	Litteraturliste	63
	Vedlegg	66

Figurer

Figur 1 Detaljeringsnivå i FKB. Bilde er utklipp fra kartverkets presentasjon: «Geovekst-samarbeidet, hva og hvorfor?» (GeoNorge, 2021).	11
Figur 2 Registrering av mønelinje (Geovekst, 2020)	12
Figur 3 Triangulering. Utklipp fra (Linder, 2016)	14
Figur 4 Komponenter på et typisk multikopter. Utklipp fra (Siebert & Teizer, 2014)	16
Figur 5 Fokallengde, bildebrikke og synsfelt (O'Connor, Smith, & James, 2017)	17
Figur 6 Eksempel på «motion blur». Bildet er fra bildedatasettet fra droneflygingen i Hov. .	18
Figur 7 GSD, utklipp (Pix4D, 2018)	19
Figur 8 Eksempelbilder av tak og møner. Foto Kjersti Høyvik 2021	27
Figur 9 Oversikt metodevalg	28
Figur 10 Markering av GCP-punkt i bilder. Utklipp fra skjermbilde i Pix4D.	29
Figur 11 Restfeil i GCP'ene ved første analyse i PIX4d. Utklipp fra Pix4Ds kvalitetsrapport. .	30
Figur 12 Restfeil i GCP'ene og kontrollpunkt ved siste analyse i PIX4d. Utklipp fra Pix4Ds kvalitetsrapport.	31
Figur 13. Manuell klassifisering i punktsky. Punktene av et hustak er markert og klassifiseres under kategorien «building». Utklipp fra skjermbilde i Pix4D	32
Figur 14 Egenkontroll i Gemini Terreng 3D-visning om punktskya fra fotogrammetriprosessen er riktig plassert. Her vises markering av GNSS-målinger av GCP'en i form av et kryss med blå stiplet linje og krysset til GCP'en med rosa linje.	33
Figur 15 Egenkontroll i Gemini Terreng 2D-visning og 3D visning om punktskya fra fotogrammetriprosessen er riktig plassert ved hjelp av WMS-kart Topo 4 med gråtone og FKB-mønelinjer og -takkant.	33
Figur 16 Konturene av mønet i punktskyen i Gemini Terreng.	34
Figur 17 Plassering av mønelinje i punktsky. Ei ferdig linje i rød farge vises i bakgrunnen. Mønelinja i forgrunn er markert og viser da 5 punkter langs linja.	34
Figur 18 Valgte punkter langs mønet.	35
Figur 19 Totalstasjonens perspektiv til et tak. Wergelandsgate 12, Gjøvik. Foto Kjersti Høyvik 2021	36
Figur 20 Illustrasjon av måling på mønestein fra totalstasjon stående på bakken. Målingen kommer på siden av senter tak og litt lavere enn topp møne.	37
Figur 21 Bilde av CAMFLIGHT FX8HL (Topometrics, 2021)	38
Figur 22 Planlagt flyging. (Nordic Unmanned, 2019)	39
Figur 23 GCP punkt på Gjøvik.	42
Figur 24 Plassering av GCP'er på Gjøvik. Utklipp (Nordic Unmanned, 2019)	42
Figur 25 Dronen, DJI Mavic 2 Enterprise Dual, på landingsplata tatt under droneflygingen på Hov 25.11.2020. Foto Kjersti Høyvik 2020	43
Figur 26	45
Figur 27 Bakkekontrollpunkt i form av asfaltspiker merket med et kryss med tydelig kontrast. Foto Kjersti Høyvik 2020	46
Figur 28 Plassering av GCP'er. Utklipp fra Pix4D hvor tekst og områdepolygon er lagt inn i PowerPoint.	47
Figur 29 Landsnettpunkt på Skibladnerbrygga. Prosjektområde er markert med rød firkant. Utklipp fra Norgeskart.	49
Figur 30 Stamnettpunkt på Grette. Prosjektområde er markert med rød firkant. Utklipp fra Norgeskart.	51

Figur 31 Høydemålinger av mønelinjer i Gjøvik.....	54
Figur 32 Høydemålinger av mønelinjer på Hov.....	56
Figur 33 FNs bærekraftsmål.....	59

Tabeller

Tabell 1 Kvalitetskrav. Utklipp fra Fotogrammetrisk registreringsinstruks FKB-Bygning 4.6 4.1 Kvalitetskrav (Geovekst, 2020).....	12
Tabell 2 Posisjon til nærmeste punkt til GCP-punktet målt i Gemini terreng. GCP1, 3 og 5 er satt kun som kontrollpunkt.	31
Tabell 3 Beregning av gjennomsnittshøyde og standardavvik for ei mønelinje på et hustak .	35
Tabell 4 Utrekning flyhastighet	40
Tabell 5 Utrekning flylinjebredde.....	41
Tabell 6 Utrekning frontoverlapp.....	41
Tabell 7 Koordinater og høyder for GCP'ene for prosjektet ved Prost Bloms veg. (Nordic Unmanned, 2019).....	42
Tabell 8 Underlag til utregning flyhastighet.....	44
Tabell 9 Utrekning flylinjebredde.....	45
Tabell 10 Utrekning frontoverlapp.....	46
Tabell 11 Posisjon GCP'er ved Hov.....	47
Tabell 12 Kontroll av GNSS-utstyr mot landsnettpunkt.....	49
Tabell 13 Kontrollmålinger mot stamnettpunkt	51
Tabell 14 Høydemålinger av mønelinjer i Gjøvik målt i punktsky.....	53
Tabell 15 Høydemålinger av mønelinjer med totalstasjon i Gjøvik.	53
Tabell 16 Differanse i høyder for mønelinjer i Gjøvik	54
Tabell 17 Høydemålinger av mønelinjer i punktsky fra Hov	55
Tabell 18 Høydemålinger av mønelinjer med totalstasjon på Hov.....	55
Tabell 19 Differanse i høyder for mønelinjer på Hov.....	56
Tabell 20 Sammenligning kamerainstillinger	57

Forkortelser

2D	2-dimensjonal
3D	3-dimensjonal
cm	centimeter
CP	Controll Point
dll	Forklaring: filformat Dynamic Link Library-filer
DTM	Digital Terrain Model
EXIF	Exposure Information
FKB	Felles Kartdatabase
GCP	Ground Control point
GML	Geography Markup Language
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
GSD	Ground Sampling Distance
hPa	hectopascal
ISO	International Organization for Standardization
kg	kilogram
km	kilometer
Laz Las	Forklaring: Et format for 3-dimensjonale punkttskyer
m	Meter
mgon	milli gon
m/s	meter per sekund
mm	millimeter
Mp	Megapixel
NIBIO	Norsk institutt for bioøkonomi
nm	nanometer
NTM	Norsk Transversal Mercator
NVE	Norges vassdrags- og energidirektorat
Pix4D	Forklaring: Programvare brukt til fotogrammetri
PPM	Parts Per Million
RTK	Real Time Kinematics
Sosi	Forklaring: sosi-formatet er et filformat
TP	Tie Points
UTM	Universal Transversal Mercator
VA	Vann og Avløp
WMS	Web Map Service

1 Innledning

1.1 Oppgaveformulering

Denne oppgaven vil se på muligheten for å kunne utføre kartlegging for Felles Kartdatabase (FKB) ved hjelp av bilder tatt fra kamera på droner. Oppgaven vil presentere analyse av kvaliteten av punktskydata fra fotogrammetri innhentet av bilder fra drone.

Kvaliteten av punktskydataen er kontrollert opp mot innmåling av mønelinjer på tak ved hjelp av totalstasjon oppstilt på innmålt GNSS -punkter. Av hensyn til oppgavens omfang undersøkes to forskjellige bildedatasett fra to ulike droner, og fra to ulike områder. Metoden for kvalitetsanalysen vil være imidlertid være overførbar til videre arbeider.

Problemstillingen som drøftes i denne oppgaven er:

Er høydemålingene ved bruk av drone ved kartlegging for FKB-Bygning innenfor kravene til FKB?

1.2 Bakgrunn for oppgaven

Utgangspunktet for oppgaven starter med et tema foreslått av NTNU basert på innspill fra Kartverket:

“Kartverket ønsker et større gjenbruk av flybilder, særlig fra droner. Aktuelle tema er knyttet opp mot krav til kalibrering, datainnsamling og produksjon av et mest mulig homogent ortofoto.

- 1. Bruk av droner til detektering av endringer for ajourføring av kart og registre. Det er ønskelig å få undersøkt muligheten for å bruke data fra droner til automatisk å detektere og kartlegge endringer, for eksempel bygninger som ikke er byggemeldt.*
- 2. Bruk av droner til kartlegging for metodikk for ajourføring av mindre områder. Det er ønskelig å få utarbeidet en metodikk for kommunene til å samle inn data med drone for å ajourføre mindre områder (mellom Geovekst-kartleggingene, som kun er hvert 4.-5.år). Innenfor dette tema er det også mulig å se nærmere på påvirkning fra kontrollpunkter i dronefotogrammetri. “*

Del 2 av foreslått tema initierer mange aktuelle problemstillinger. I samtale med Kartverket, representert av Ivar Oveland, kom det fram at det å åpne for kartlegging med droner er svært ønskelig fra både Kartverket og kommunene i Geovekst. Men det ble presisert at metodikk og standard trenger oppdatering for å sikre kvaliteten. Hovedgrunnen for dette ønsket, er den store kostnaden med flybåren fotografering og laser, som klart begrenser hvor ofte dette kan utføres. Det kan være 4-5 år imellom hver ny kartlegging for enkelte kommuner, noe som skaper vansker med å kunne oppdatere kartene med nybygg og veier i tilstrekkelig grad. Det finnes mange gode droner med gode kameraer tilgjengelig og til relativt lave kostnader og mulighetene for innsamling av data fra flere aktører er derfor mange. (Oveland, 2021)

Kommunene har ansvar med å ajourholde kartdata for kommunen angående bygg og veier. Disse kartdataene inngår i Felleskartdatabase (FKB). Noen aktuelle prosjekter som går på stedfestingsnøyaktigheten for FKB er:

- Kartverket hadde et prosjekt i 2017 med blant annet et formål å undersøke stedfestingsnøyaktigheten i FKB. (Kartverket, 2017)
- Geovekstforum hadde hatt et FoU-prosjekt med Nordic Unmanned AS i Sandnes som ble ferdig våren 2020. Målet var å undersøke effektiviteten til laserdrone som fløy utenfor siktområdet til piloten i henhold til standardkravene til FKB laser v 3.0 og for å kunne evaluere regelverket til dronebruk. (Topometrics by Nordic Unmanned AS, 2020)
- Et forskningsprosjekt i Agder skal bruke maskinlæring til å identifisere bygninger ved hjelp av laserdata, flyfoto og crowdsourcing i perioden 2021-2023. (KartAI-prosjektet, 2021)

Studenten bak denne oppgaven jobber som landmåler hos Nidaros Oppmåling AS og ser i sitt arbeide med plassering av boliger i tett bebygde strøk at FKB brukes mye i prosjekteringen, med tanke på bygningers plassering i grunnriss og i høyde. Imidlertid oppstår det ofte utfordringer i prosjektene, ettersom kartgrunnlaget brukt i prosjekteringen oppgir annen høyde enn hva den er. Høydene fra FKB i form av terrenghøyder, hustak og vei brukes til å beregne nye tiltaks høyder, sol/skyggeforhold, drenering av vann, avløp fra hus og lage søknadsunderlag for ramme- og byggetillatelse.

Vedlegg I og II viser eksempler på prosjekter hvor det er gitt byggetillatelse, og allerede startet gravearbeid, når det kommer fram at FKB sine høyder ikke stemmer og høydeplassering bør endres for å unngå at byggene kommer enten for lavt eller for høyt i terrenget og forhold nærliggende bygg.

I oppgaven er det valgt å etterprøve kvaliteten på høyder i punktsky beregnet med fotogrammetri av dronefoto ved å måle på mønelinjer på hustak. «Mønelinje» er et objekt i FKB-bygning, et av mange produktspesifikasjoner i FKB.

1.3 Mål

Målet for oppgaven er å belyse og drøfte om høyder funnet ved fotogrammetri av dronefoto oppfyller kravene til FKB for kartlegging.

Kvalitetsmålet skal måles mot mønehøyder. FKB-standard gir et nøyaktighetskrav på 15 cm for mønelinje i byområder (Kartverket, 2013). For å vite hva de egentlige mønehøydene er, vil det brukes tradisjonell landmåling med GNSS og totalstasjon.

I tillegg vil det bli sett på forskjellen på de to forskjellige droneinnsamlingsmetodene av bilder. På denne måten vil man gi innspill til nye metoder og standarder for å kunne bruke droner til kartlegging for FKB.

Er gjeldende høyder for mønelinjer i FKB innenfor kravet?

Vil det å åpne for bruk av droner til kartlegging øke nøyaktigheten for høyder i FKB og gjøre FKB til et enda bedre verktøy for brukerne?

1.4 Målgruppe

En målgruppe er aktører innen byggebransjen. Høyder på bygninger, terreng og veier fra FKB brukes i planleggingsfasen av bygg og anlegg:

- Arkitekter bruker FKB for å få inn informasjon om plassering og høyder på eksisterende veier, terreng og hus i prosjekteringsfasen.
- Ansvarlig søker for byggeprosjektet baserer seg på høyder i kartgrunnlaget for å bestemme husets plassering i høyde med tanke på fall for hvor vann ledes fra omliggende veier og terreng.
- Maskinentreprenører bruker høydelinjer fra FKB for å beregne arbeid av flytting av masser.

Geovekst-samarbeidet ønsker som nevnt en mer ny måte å utføre kartlegging på, uten at det skal gå ut over nøyaktigheten. Denne oppgaven vil gi innspill til metodevalg. Geovekst og Kartverket vil med dette få mulighet til å oppdatere kartene sine oftere, og til langt lavere kostnad. Ett av de viktigste argumentene for bruk av droner, er at dekan begrense seg til å fly kun over aktuelle områder som trenger oppdatering.

Kommunene vil få en metode der kvaliteten av FKB kan kontrolleres lettere. Det er et paradoks at i enkelte tilfeller heller ikke FKB's egne gjeldende høyder er innenfor kvalitetskravene. Men ved hjelp av drone vil kvaliteten kunne kontrolleres.

2 Teori

2.1 Kartlegging i Norge og FKB

I Norge har vi siden 1773 hatt etaten Statens Kartverk. Kartverket samler inn, systematiserer, forvalter og videreformidler offentlig geografisk informasjon. Kartverket har også en rolle som nasjonal geodatakoordinator. (Kartverket, 2021a)

2.1.1 Geovekst

Geovekst er et samarbeid med mange aktører og Kartverket koordinerer arbeidet. Kommuner, fylkeskommune og forskjellige etater har som en del av sitt samfunnsoppdrag å forvalte, drifte, vedlikeholde og oppdatere kartdata og ortofoto.

Partene består av nesten alle landets kommuner, fylkeskommunene, NVE, Telenor, Statens vegvesen, Bane Nor, Landbruksdepartementet, NIBIO, EnergiNorge og Kartverket. De samarbeider om finansiering av datafangst og etablering av datasett og får også rettigheter til dataene som kommer fram.

De datasettene Geovekst-samarbeidet innhenter og forvalter er definerte i ulike produktspesifikasjoner. De mest sentrale dataene er: FKB-data, ortofoto og vertikalbilder og laserdata.

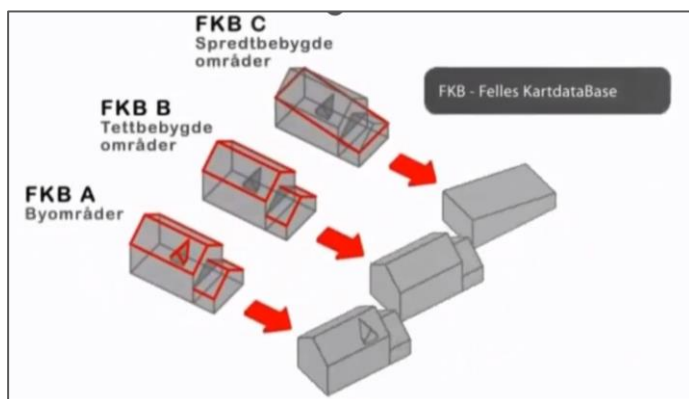
(Kartverket, 2021b)

2.1.2 FKB-data

Felles kartdataBase (FKB) er en felles nasjonal standard for å lage kart. Kartdata konstrueres ved hjelp av flyfoto. Flyfotografering skjer i intervaller på mellom 3 og 10 år. Gjennom bygningsloven, matrikelloven og FDV-avtalene er det kommunenes oppgave å ajourholde datasettene FKB-tiltak og FKB-bygning. (Kartverket, 2021c)

2.1.3 FKB-bygning, detaljeringsnivå og nøyaktighet

Beskrivelse av metode for FKB-bygning finnes i Fotogrammetrisk registreringsinstruks for FKB-Bygning. Detaljeringsnivået i de ulike FKB-standardene er delt inn i nivå A, B, C og D (Geovekst, 2020). Figur 1 under viser nivå A, B og C.

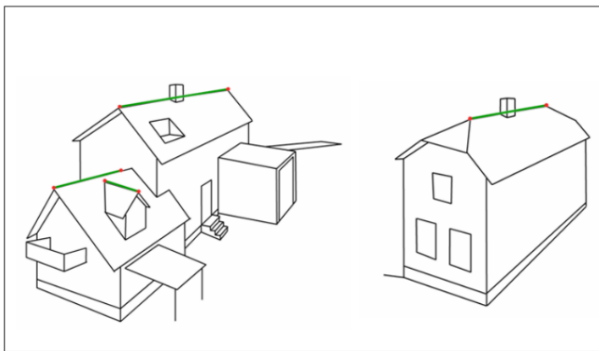


Figur 1 Detaljeringsnivå i FKB. Bilde er utklipp fra kartverkets presentasjon: «Geovekst-samarbeidet, hva og hvorfor?» (GeoNorge, 2021).

Framstilling av tre-dimensjonale modeller av bygninger angis i 6 nivåer. Hvor nivå 0 er bygningsriss på bakkenivå i 2D mens nivå 5 er en komplett BIM-modell

En av objekttypene er takkant som defineres som bygningens ytre takflateavgrensing. Den registreres som enkeltpunkter i en kurve. Grunnrissreferansen er ytterste tak, takrenne eller vindskie. Høyden som registreres er fra takplanet. I bakgrunn av at kompleksiteten øker med å ha takkant målt først en gang med hensyn på plassering i grunnriss og en andregangs måling med en annen grunnrissplassering for høydemåling i takplanet vil ikke FKB-takkant bli vurdert i denne oppgaven.

Objekttypen «mønelinje» registreres som enkeltpunkt i sekvens og geometritype kurve. Topp møne med skrå takflater benyttes i registrering av grunnrissreferanse og høydereferanse.



Figur 2 Registrering av mønelinje (Geovekst, 2020)

Mønelinje har krav til stedfestingsnøyaktighet i grunnriss og høyde i klasse 2. For nivå A er absolutt høydenøyaktighet 15 cm og nivå B 20 cm.

Tabell 1 Kvalitetskrav. Utklipp fra Fotogrammetrisk registreringsinstruks FKB-Bygning 4.6 4.1 Kvalitetskrav (Geovekst, 2020)

Kvalitetskategori	Kvalitetsэлеment	Kvalitetsmål	Klasse	FKB-standard			
				A	B	C	D
				Krav	Krav	Krav	Krav
Fullstendighet	manglende data	andel manglende enheter	1	0.5 %	0.5 %	0.5 %	0.5 %
Fullstendighet	manglende data	andel manglende enheter	2	2 %	2 %	2 %	2 %
Fullstendighet	overskytende data	andel overskytende enheter	1	0.5 %	0.5 %	0.5 %	0.5 %
Fullstendighet	overskytende data	andel overskytende enheter	2	2 %	2 %	2 %	2 %
Stedfestingsnøyaktighet	absolutt stedfestingsnøyaktighet	stedfesting - Prosentandel grove feil		1 %	1 %	1 %	1 %
Stedfestingsnøyaktighet	absolutt grunnrissnøyaktighet	stedfesting - Standardawik	1	0.10 m	0.15 m	0.48 m	0.48 m
Stedfestingsnøyaktighet	absolutt grunnrissnøyaktighet	stedfesting - Standardawik	2	0.15 m	0.20 m	0.55 m	0.55 m
Stedfestingsnøyaktighet	absolutt grunnrissnøyaktighet	stedfesting - Standardawik	3	0.35 m	0.35 m	0.70 m	0.70 m
Stedfestingsnøyaktighet	absolutt grunnrissnøyaktighet	stedfesting - Standardawik	4	0.55 m	0.55 m	1.00 m	1.00 m
Stedfestingsnøyaktighet	absolutt høydenøyaktighet	stedfesting - Standardawik	1	0.10 m	0.15 m	0.48 m	0.48 m
Stedfestingsnøyaktighet	absolutt høydenøyaktighet	stedfesting - Standardawik	2	0.15 m	0.20 m	0.70 m	0.70 m
Stedfestingsnøyaktighet	absolutt høydenøyaktighet	stedfesting - Standardawik	3	0.25 m	0.35 m	0.90 m	0.90 m
Stedfestingsnøyaktighet	absolutt høydenøyaktighet	stedfesting - Standardawik	4	0.40 m	0.50 m	1.50 m	1.50 m

2.1.4 FKB-kartdata i Sosi-format

FKB-kartdataen for FKB-bygning gis ut i SOSI-format. SOSI-formatet er en filformat-standard for utveksling av geodata. Dette er det nasjonale formatet for utveksling av geografisk informasjon i Norge som vil utfases og gå over til den internasjonale standarden GML. (GeoNorge, 2021)

2.1.5 Fastmerkenett i Norge

Fastmerker er bolter som er festet i fjell eller i store steiner. Geodetisk stamnett ble etablert av Kartverket i forbindelse med overgang til EUREF89 og består av 1000 fastmerker på fastlandet i Norge. Geodetisk landsnett er en fortetting av stamnettet med ca. 5 km punktavstand i bebygde områder og består av ca. 11 000 punkter. Kartverket har ansvar for stamnettet og landsnettet. Grunnlagsnettet består av fastmerker som kommunene har ansvar for.

(Mæhlum, Fastmerke, 2015)

2.2 Programvare

2.2.1 Pix4Dmapper - Educational Version 4.5.6

Pix4D mapper er en programvare som utvikles av Pix4D S.A, som har hovedkontor i Sveits. Pix4D mapper er et fotogrammetriverktøy som kan gjøre om bilder til digitale kart og 3D-modeller. Pix4D mapper er et av de mest brukte programvarene for å prosessere data fra dronekartlegging. (Pix4D, 2021)

2.2.2 Gemini Terrain 15 x64 build 12/3-2020

Gemini terreng er en norskutviklet programvare som eies av Volue. Programvaren er et 3D-modell-verktøy som brukes i prosjekter for vei, tunnel, byggegrop, VA, bygg og annen infrastruktur i standard kartprojeksjoner og referansesystem. Innmålt data, kartdata, prosjektering og dokumentasjon av utførelse kan prosesseres og visualiseres i programvaren. (Volue, 2021)

2.2.3 Gemini Oppmåling 5.4 Revisjon 3204

Gemini Oppmåling er en programvare som eies av Volue, der data fra landmåling kan beregnes, analyseres og dokumenteres. (Gemini Oppmåling, 2018)

2.2.4 Exiftool Version 12.25

Exiftool er en programvare som forenkler arbeidet med å lese, skrive og endre metadata spesialisert på bildeformater og digitale kameraer. «Exif» står for Exchangeable Image Format. (Harvey, 2021)

2.2.5 Microsoft 365 - Excel

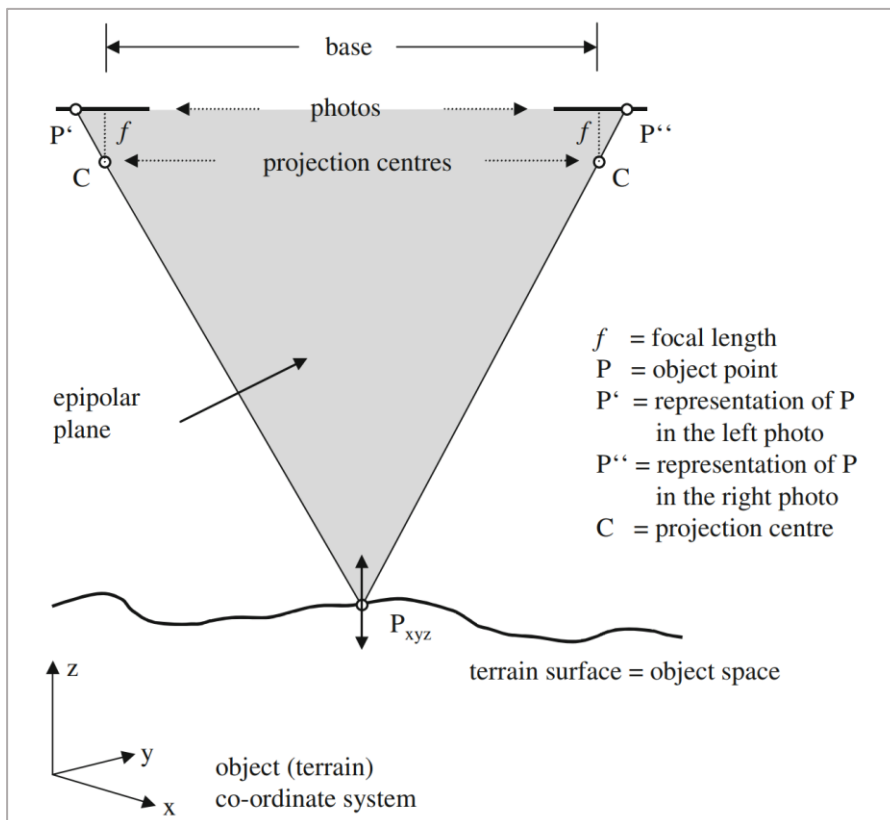
Excel er en programvare for regneark hvor talldata kan behandles og visualiseres.

2.3 Fotogrammetri

Fotogrammetri er en måte å kunne gjøre det mulig å måle lengder i bilder og finne den 3-dimensjonale posisjonen til et punkt som på minst 2 bilder. Har man bilder av et objekt i 2D fra forskjellige vinkler er det mulig å skape en romlig posisjon av objektet. For å kunne få til dette trenger man å vite kameraets plassering, brennvidde og bildets orientering i kameraet. (Linder, 2016)

2.3.1 Fra bilde til et romlig plassering

Figur 3 viser vinklene/retningen fra 2 bilder gjennom projeksjonssentret C til et punkt P på bakken. Ved å beregne hvor de to retningene krysser hverandre, skjæringspunktet, finner man posisjonen for punktet P.



Figur 3 Triangulering. Utklipp fra (Linder, 2016)

2.3.2 Strålebuntutjevning

Med flere bilder kan man gjøre flere beregninger av skjæringspunkt (vist i 2.3.1) og man får flere posisjoner til punkt P med små differanser. Den ytre og indre orienteringen av kameraet kan da kalibreres. Grunnen til dette kan være små feil i kamera, linser og i bildeinformasjonen om kameraets posisjon. Ved å justere på de parameterne blir det på nytt gjort flere beregninger av skjæringspunkt. Denne prosessen blir gjentatt flere ganger og blir da en iterasjon som optimaliserer kalibreringen etter hvert som flere punkter blir brukt og samtidig gjenkjent i flere bilder. Med mange bilder og punkter blir det en veldig stor beregning som trenger mye datakraft. (Linder, 2016)

Bruken av en slik stereoparing av punkter kalles aerial triangulering eller strålebuntutjevning, og brukes i programvarer for fotogrammetri. De gjenkjente punktene nevnt over kalles TP'er

(Tiepoints). Bildene bør også inneholde GCP'er (Ground control points); punkter med kjente koordinater i et valgt referansesystem, og CP'er (Control points); kontrollpunkter for å måle nøyaktigheten i resultatet av denne prosessen. (Gomasasca, 2009)

TP'er og GCP'er brukes i strålebuntutjevningen ved hjelp av minste kvadraters metode for å ha noen kjente ligninger i prosessen og som gjør at en kan løse ut ukjente punkter med større nøyaktighet. En ulempe med denne metoden er at den er sårbar for grove feil. (Gomasasca, 2009)

I PIX4Dmapper er det valgt ut et antall TP'er (eksempelvis 60 000 per bilde). Deretter kjøres det paring av TP'er med de andre bildene (eksempelvis 6000 par). Det kjøres med initielle verdier av posisjon, rotasjon og kamerainnstillinger. Neste prosess er en iterering for å oppnå optimal reell kameraposisjon og kameraets indre parametere ved å sammenligne en bildeparingene som er blitt funnet. Dette gjøres for hver kameraposisjon, og når innstillingene optimaliseres vil det være mulig å finne enda flere TP'er og like paringer. Noe som igjen gjør at kameraets indre og ytre parametere går gjennom flere itereringer mot en best mulig innstilling. (Pix4D, 2021)

2.3.3 Punktskyer

Når den initielle prosessen med å optimalisere kamerainnstillinger, posisjon og orientering av hvert bilde er ferdig kan prosessen med å lage en tett punktsky av det fotograferte objektene starte. Dette er en prosess som krever mye datamaskinkraft og kan ta lang tid.

Pix4D lager en kvalitetsrapport etter optimaliseringen av indre og ytre kameraparametere. Rapporten inneholder beregninger på restfeil i plasseringen i forhold til GCP'ene og CP'ene. Denne restfeilen bør være innenfor 2 GSD i grunnriss og innenfor 3 GSD i høyde (Pix4D, 2021).

Punktskyen inneholder punkter med en farge gjengitt fra bildene og koordinater i det gitte koordinatsystemet.

2.4 Fotografering med drone

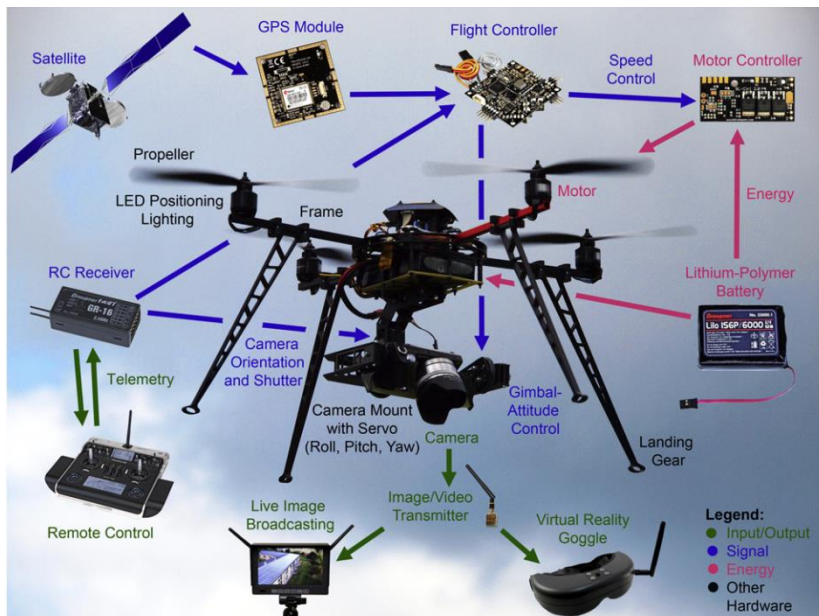
En drone er et godt egnet verktøy for å få kameraet til å ta bilder fra lufta. Drone er fjernstyrte og ubemannede fartøy som militært blir brukt til overvåking og bombing. Mens i det sivile er et godt verktøy for å kunne fly relativt lavt sammenlignet med fly og helikopter for å samle inn data med film, RGB-kamera, multispekter-kamera og laserutstyr. (Yao, Qin, & Chen, 2019)

2.4.1 Drone og multikopter

Den mest brukte dronen er et multikopter, et fartøy med flere propeller. Å ha flere propeller gjør at den kan endre posisjon og helning raskt. Det å ha flere propeller tilgjengelig gjør også man har redundans hvis det oppstår en feil i en av dem. Ulempen er at dette krever mye energi og at batterikapasitet kontra vekt og flyhastighet vil være et tema. (Xuan-Mung & Hong, 2019)

En drone er også veldig ustabil sammenlignet med et helikopter og har derfor mye sensorer og elektronikk for å holde den stabil. Figur 4 viser de forskjellige komponentene en drone

kan ha. Hver motor med propell har en hastighetskontroller. Sensorer på dronen gir signaler til en datamaskin om justeringer av hastigheten. Disse signalene til hastighetsendring sendes mange ganger per sekund inn til en liten datamaskin. Bevegelsessensorer ved hjelp av akselerometer og gyroskop gir signal om akselerasjoner og helninger i de 6 frihetsgradene. Sensorer med bruk av IR, Ultralyd, laser, «time of Flight», stereobilder har i oppgave å oppdage hindringer for å unngå kollisjoner. (Corrigan, 2020)



Figur 4 Komponenter på et typisk multikopter. Utklipp fra (Siebert & Teizer, 2014)

GNSS-sensorer gir mulighet for å kjøre planlagte ruter «way-points», returnere til startpunkt «return to home» og holde posisjon «position hold». Alle disse sensorene sender signaler inn til en datamaskin som er programmert med algoritmer for å holde dronen stabil og på rett posisjon. Mer om GNSS og RTK under delkapittel 2.6.4. Vanlig på de kommersielle dronene er kodemåling som gir en nøyaktighet på omtrent 10 meter. Ved hjelp av RTK kan det beregnes korreksjonsverdier som øker nøyaktigheten på beregnet posisjon betraktelig til 1-3 cm. (Wanninger, 2004)

2.4.2 Tillatelse til å fly drone

Luftfartstilsynet har i oppgave å kommunisere, godkjenne og ha tilsyn for sivil luftfart i Norge. På deres hjemmesider finnes informasjon om gjeldende regler for ubemannede luftfartøy. Disse er nå i en overgangsfase med nye forskrifter fra i år og fram til 2023. (Luftfartstilsynet, 2021)

Fra 1. januar 2020 ble en ny forskrift gjeldende droner satt i kraft (Norsk Lovtidend, 2021).

Alle typer droner med kamera eller med vekt over 250 gram må være registrert på flydrone.no. Veier dronen mer enn 250 gram må man ta nettkurs og eksamen for å bli dronepilot for åpen klasse. For å fly åpen klasse som har kategori A1, A2 og A3, er det ikke tillatt å fly over ikke-involverte folk. Ved kartlegging av bygninger i bebygde områder bør man alltid ta høyde for at det er folk i nærheten. Områdene i denne oppgave krever derfor sertifikat/tillatelse og man er erstatningspliktig hvis det skulle skje noe. (Luftfartstilsynet, 2021)

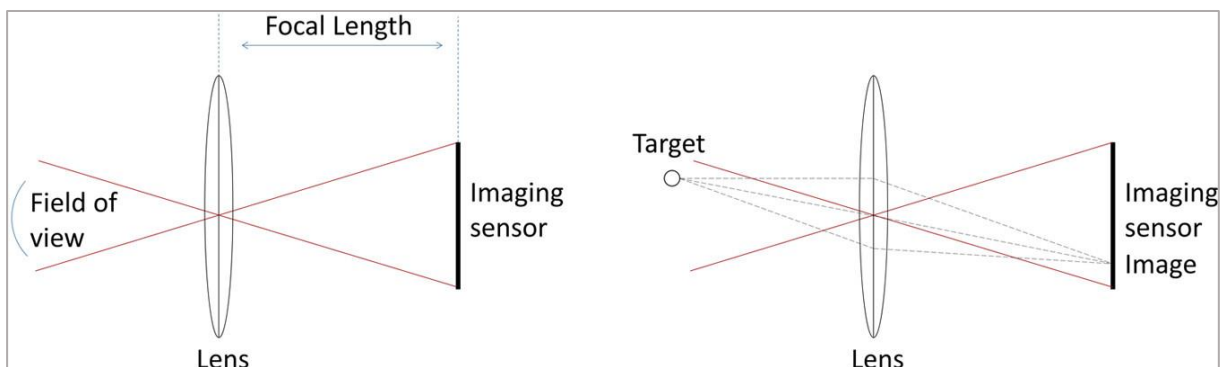
2.5 Bildetaking

2.5.1 Kamerafunksjoner

Et bildekamera tar inn lys gjennom ei linse og inn på en sensor. Hvor stor åpningen (blenderåpning) er for lyset å slippe inn, avstand fra linse til sensor (fokallengde) og hvor lang tid lyset slipper inn (lukketid) påvirker hvordan avtegningen fra lyset blir.

Avtegningen i form av et bilde er reflektert lys som blir tatt opp av mange sensorer på en bildebrikke. Bildebrikken består av mange piksler som har sensorer for hvert sitt spekter; rød, grønn og blå (RGB). Disse små RGB-sensorene sender videre signal om lysstyrke fra de forskjellige fargespektrene inntil en lagringsenhet.

Linsens synsfelt avgjør hvor bredt bilde strekker seg ut over det som blir tatt bilde av. Linsens synsfelt deles inn i 3 forskjellige hovedgrupper; vidvinkel, normal og zoom. Jo kortere fokallengden er jo bredere blir synsvinkelen, se Figur 5. Ulempen med kort fokallengde er at en får geometrisk fortegning av virkeligheten. En zoom-linse med lang fokallengde har lite av geometrisk fortegning.



Figur 5 Fokallengde, bildebrikke og synsfelt (O'Connor, Smith, & James, 2017)

Blenderåpningen, er hvor stort hullet med lysgjennomslipp er. Dette påvirker dybdeskarpheten og hvor mye lys som kommer inn på bildet. Dybdeskarpheten skal være stor ved kartlegging. For å få god dybdeskarpheten skal blenderåpningen være liten.

Lukketiden sier noe om hvor lang tid lyset slipper inn. Dette kalles eksponering. Er lukketiden for lang blir bildet overeksponert for lys og ømfintlig for bevegelse.

En annen funksjon som kan reguleres på kameraene er ISO-verdien. Denne verdien sier noe om hvor følsom sensoren skal være for lys. Desto høyere verdi jo mindre lys trengs. Ulempen med høy ISO er at sensorene vil gi mer støy. Lav ISO-verdier er ISO50, ISO100 og ISO200. Høye verdier er ISO 3200 og ISO 6400.

(O'Connor, Smith, & James, 2017)

2.5.2 Nadir- og Oblique-bildetaking

Hvordan en drone med kamera skal fly bestemmes om en ønsker å ta bilder nadir eller oblique.

Nadir er bilder som blir tatt rett ned fra luften mot bakken. Disse bildene er som regel i nærheten av et parallelt plan med det valgte koordinatsystemet. Fordelen er at man får lik geometri av bildene som tas. Denne metoden brukes ved kartlegging.

Oblique er bilder som er rettet skrått mot bakken. Detaljer av objekter som stikker opp fra bakkenivå blir da bedre representert i videre formidling. I og med at vinklene til objekter blir ulike fra bilde til bilde, og skaleringen dermed forskjellig, blir det mere utfordrende å kjøre fotogrammetriske prosesser av bildene som er tatt. Det er svært viktig med god overlapp ved bruk av oblique bildetaking.

2.5.3 Hastighet ved bildetaking

Kamera festet i en drone som er i luften er i bevegelse hele tiden. Det kan gjøre at objekter på bildet blir dratt utover flere piksler og dermed få feil form og uklare avgrensninger. Dette kalles «motion blur», se eksempelbilde under i Figur 6. Bildet er av et bakkepunkt med egentlig helt lik tykkelse på de to linjene i krysset. Kameraet har beveget seg ned fra og opp i bilderetningen. Linja i krysset som ligger på tvers er da blitt mange ganger tykkere enn den opprinnelig er. Mens linja i retning med flylinja er blitt litt lengre enn den egentlig er.



Figur 6 Eksempel på «motion blur». Bildet er fra bildedatasettet fra droneflygingen i Hov.

Det anbefales å holde unngå sløret fra bevegelse godt under enn en halv piksel, da denne effekten har stor innflytelse på fotogrammetriprosessen (Sieberth, Wackrow, & Chandler, 2014).

For å kompensere for denne bevegelsen er det viktig å ha kortest mulig tid hvor lyset får komme inn på sensoren i kameraet. Det vil si kortest mulig lukketid. Men kommer det for lite lys inn blir bildet for undereksponert og det blir veldig vanskelig å detektere noe.

Åpningen som slipper inn lyset kan også reguleres og kalles blenderåpning. Dilemmaet blir at jo mindre åpningen er jo bedre blir dybdeskarpheten mens lyseksponeringen blir mindre. Så dette er en balansegang å vurdere hva som skal nedprioriteres.

En ønsker et bra eksponert bilde med liten blenderåpning og kort lukketid. Så det å ha lav nok hastighet på dronen er viktig.

Formel 1 Hastighet

$$V \times T = A$$

$V = \text{hastighet drone}, T = \text{lukketid kamera},$

$A = \text{Avstand fløyet i løpet av lukketiden}$

2.5.4 Bakkeoppløsning

GSD står for Ground Sampling Distance og kalles på norsk bakkeoppløsning. GSD er et mål på hvor stor del av objektet eller området som fotograferes dekkes av en piksel i bildet.

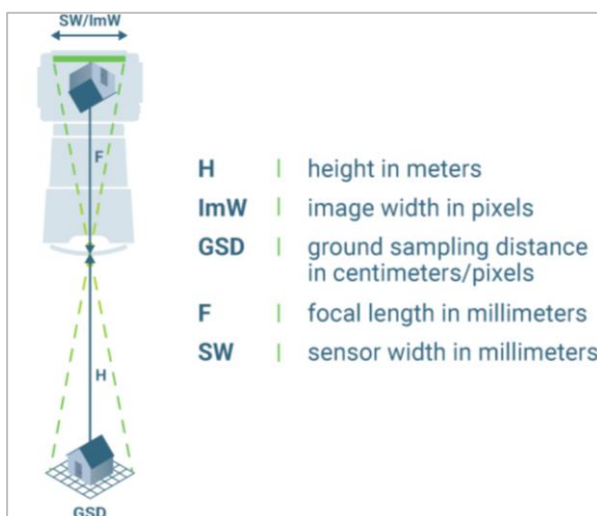
Gjenkjenning og mulighet for å prosessere en bedre punktsky øker jo mindre denne verdien er. GSD er avhengig av flyhøyde, kameraets brennvidde, kameraets sensorstørrelse og antall piksler i bildet, se Figur 7. Med GSD kan en bestemme flyhøyde hvor stor overflate på bakken et bilde dekker.

Formel 2 viser utregning av GSD bredde (Cali & Ambu, 2018). Tilsvarende vil formelen fungere for GSD lengde med å oppgi lengdemålene i stedet for breddemålene.

Formel 2 Bakkeoppløsning

$$GSD_w = \frac{S_w \times H}{F_r \times Im_w}$$

$S_w = \text{Sensorbredde}, H = \text{flyhøyde}, F_r = \text{Fokaldistanse}$
 og $Im_w = \text{Sensoroppløsning i bredde}$



Figur 7 GSD, utklipp (Pix4D, 2018)

2.5.5 Dekningsgrad og overlapp

Det er vanlig å planlegge flygerute for hvor bildene skal tas. Dette for å sikre at området som skal kartlegges dekkes godt nok. Med overlapp menes hvor godt alle bildene dekker bakken.

Dekning framover; såkalt frontoverlapp, i retningen kameraet beveger seg, er avhengig av både hastighet og av hvor ofte bildene tas.

Dekningen sideveis er avhengig av hvor tett flylinja til kameraet passerer den forrige flylinjen over området. Kameraets vidvinkel og flyhøyde er med i beregningen for sideoverlapp.

Høyden kameraet skal holde seg på vil påvirke bakkeoppløsningen og dekningsgraden av det som skal fotograferes.

Det vanlige oppsettet av overlapp er 80 % frontoverlapp og 30 %s ideoverlapp for flyfotografering (Linder, 2016). For dronefotografering blir 30 % sideoverlapp for lite. Grunnen til dette er at kameraene på droner ikke er kalibrerte og beregningsprogrammene trenger større overlapp for å beregne de indre parameterne. Det anbefales å bruke omtrent 60% overlapp. (Urke, 2020)

Formel 3 og Formel 4 viser utregning av dekningsgrad og overlapp vist (Cali & Ambu, 2018). Tilsvarende vil formelen fungere for dekningsgrad og overlapp i lengde med å oppgi lengdemålene i stedet for breddemålene.

Formel 3 Dekningsgrad

$$D_w = Im_w \times GSD_w$$

$D_w =$ Dekningsgrad i bredde, $GSD_w =$ bakkeoppløsning i bredde, og $Im_w =$ Sensoroppløsning i bredde

Formel 4 Overlapp

$$D_{tverrs} = D_w \times (1 - \text{Overlapp}_{\text{sideveis}})$$

$D_{tverrs} =$ Flylinje avstand, $D_w =$ Dekningsgrad i bredde og $\text{Overlapp}_{\text{sideveis}} =$ Overlapp i prosent

2.6 Stedfesting av informasjon

Dette delkapittelet omhandler kort om hvordan vi stedfester objekter ved hjelp av referansesystem og noen av de målemetodene som brukes.

2.6.1 Referansesystem/Datum

Vanligvis med landmåling refereres et punkts posisjon med plassering i et plan til en jordellipsoide; horisontalt datum, og med en høyde til en geoide; vertikalt datum.

Geodetisk datum er en matematisk modell for jordas form og danner grunnlaget for koordinatsystemer og høydeangivelser.

WGS84 er et geodetisk referansesystem som brukes mye og som har jordas massesentrum som fundamentalpunkt. (Dick, Rød, & Mæhlum, 2021)

Det offisielle horisontale datumet i Norge er EUREF89 som er regionalt datum for kontinentalplata Europa.

2.6.2 Kartprojeksjonene UTM og NTM

Kartprojeksjon er hvordan jorda, som er kuleformet, transformeres til et plan. Langt nord på jorda gir en liggende sylinder projeksjon en god avbildning av plassering. De to vanligste kartprojeksjonene som brukes i Norge er UTM og NTM.

UTM står for Universal Transverse Mercator. NTM står for Norsk Transverse Mercator. At projeksjonen er transvers beskriver at det er en liggende sylinder overføring mens mercator beskriver at vinklene er parallelle med nord-sør-retningen.

UTM dekker 6 lengdegrader og har 60 soner rundt jorda. Sør i Norge brukes sone 32. Mens sone 33 brukes for Nordland og Troms. Finnmark ligger lengre øst og bruker sone 35. UTM projeksjonen får en målestokkfaktor på omtrent 0,9996 som tilsvarer 4 cm på 100 meter.

NTM er korrigert for denne målestokksfaktoren som UTM har slik at den er på maksimalt 1,1 mm per 100 meter. Denne brukes i bygg- og anleggsbransjen for å unngå feil med denne korreksjonsfaktoren på 400 ppm. NTM dekker Norge med 26 soner fra sone 5 til sone 30. (Skogseth & Norberg, 2014)

2.6.3 NN2000, vertikalt datum

NN2000 er det offisielle høydesystemet i Norge. Nullnivået tilsvarer en geoid som harmonerer med middelvannstand fra år 2000. Utgangshøyden er fundamentalpunktet i «Normaal Amsterdams Peil». (Mæhlum, NN2000, 2020)

For måling med GNSS-utstyr brukes en modell for geoiden, HREF 2000. Gjeldende modell er: HREF2018B_NN2000_EUREF89.bin (Kartverket, 2021)

2.6.4 GNSS

«Global Navigation Satellite System» (GNSS) er et system ved hjelp av satellitter som kan brukes til å bestemme posisjoner. Systemet er basert på de satellittene i bane rundt jorda som kommuniserer med bakkestasjoner spredt på jordoverflaten.

Satellittene sender ut bæreølger på to frekvenser, kalt L1 og L2. Satellitter skutt opp etter 2008 har en tilleggsfrekvens, kalt L5.

I disse bæreølgene sendes det koder som blant annet inneholder satellitt-identifikasjon, signaltidspunkt og satellittbanedata. Banedataen heter efemerider og kan brukes til å beregne satellittens posisjon nøyaktig for det signalet som er sendt ut. Satellittene beveger seg i stor hastighet slik at tidspunktet for når signalet sendes ut må være veldig nøyaktig. Klokkene er veldig presise og bruker en egen tidsstandard GPS-tid. (Skogseth & Norberg, 2014).

For å kunne benytte seg av det godet det er å ha et nett av satellitter med kjente posisjoner i baner rundt jorda, trenger man en mottaker/antenne av satellittsignalene. Antennen som er med i GNSS utstyret kalles «rover», og er den delen som er i bevegelse og som vi ønsker posisjonen til. De etablerte stasjonene med kjente posisjoner kalles basestasjoner.

For å kunne måle med satellittsignalene, er det to typer målinger som kan brukes; kodemålinger og fasemålinger. Posisjonen bestemmes med å vite avstand og posisjon til flere satellitter og deretter finne skjæringspunktet for disse. Fasemålinger har en mye høyere nøyaktighet på avstandsmåling enn kodemålingen, ettersom man her kan måle iht. fasen de forskjellige bølgefrekvensene som sendes fra satellittene har, og ikke på tidsforskjell i kodene.

Gjennom fasemåling i en mottakerantenne, og med metoden differensiell posisjonsbestemmelse blir nøyaktigheten på en GNSS-posisjon økt betraktelig. Differensielle målinger trenger minst to fasemottakere.

Fasemåling og med hjelp av differensielle målinger er det man bruker i landmåling ved målemetodene sanntidsmåling (RTK), vektormåling, statisk måling og kinematisk måling.

(Skogseth & Norberg, 2014)

2.6.5 Sanntidsmåling

Real Time Kinematic (RTK); sanntidsmålinger, er en metode for å få gode posisjonsmålinger mens man er ute i felt. Dette er en differensiell måling. Ved hjelp av basestasjoner i nærheten med kjent posisjon som måler samme signal som roveren til samme tidspunkt kan korreksjonsverdier beregnes. Disse korreksjonsverdiene er de verdiene basestasjonen justerer målingene med for å få målingene til å bli lik sin kjente posisjon. For roveren som er i nærheten kan man bruke samme korreksjonsverdier og få en god posisjonsmåling for der roveren er. Behovet for korreksjonsverdier er der på grunn av feilkilder som tidsmålinger i utstyret, atmosfæriske forhold og satellittgeometri. (Skogseth & Norberg, 2014)

HxGN Smartnet er Leica Geosystems AG sitt RTK-nettverk. Smartnet har siden 2019 en samarbeidsavtale med CPOS. CPOS er Kartverkets RTK-løsning. Ifølge Kartverket kan standardavviket på grunnriss være så lavt som 8 mm og for høyde i NN2000 på 20 mm. (Kartverket, 2021)

2.6.6 Totalstasjon

En totalstasjon kan måle distanse og vinkler både horisontalt og vertikalt som den registrerer digitalt. Den kan måle vinkler med standardavvik: 0,5-1,5 mgon og avstander med standardavvik: 2mm + 2ppm.

En totalstasjon settes opp på et instrumentstativ og vattres opp på den. Den har innebygd kompensatorer som sørger for å kompensere mot små bevegelser og svinging som kan oppstå underveis i målingene.

Retningsvinkelen totalstasjonen måler kalles horisontalvinkel og er vinkel i horisontalplanet fra en referanseretning 0. Vertikalvinkelen kalles senitvinkel og er vinkel fra senit, vinkelen rett opp fra bakken.

Totalstasjonen kan vende om på kikkerten slik at den måler med omvendt system. Dette kalles kikkertstilling 2, og vil da måle med samme eventuelle instrumentfeil som angår vinkler ved kikkertstilling 1, men med motsatt effekt. Målinger med begge kikkertstillingene midles og brukes ved frioppstilling og til målinger som krever god nøyaktighet.

Avstandsmåling gjøres med en laser med lys med bølgelengder i området 800-900 nm, nesten infrarødt. Laseren reflekterer tilbake fra objektet den treffer. På denne refleksjonen av lys måles faseforskyvning og antall bølgelengder. Faseforskyvning måles på en bærebølge og antall bølgelengder måles på målingsbølger med forskjellige bølgelengder. Lys påvirkes av lufttrykk og temperatur og påvirke nøyaktigheten på målinger over lengre avstander. Totalstasjonen gir mulighet for å legge inn verdier for lufttrykk og temperatur slik at den kan korrigere for lufttettheten ved avstandsmålingene.

I en frioppstilling bestemmes totalstasjonens posisjon ved hjelp av målinger til kjente punkt. Videre innmåling og utsetting er da ut ifra denne nye beregnede posisjonen.

(Skogseth & Norberg, 2014)

2.7 Nøyaktighet og presisjon

2.7.1 Feil i målinger

Grove feil i landmåling er ofte feil på grunn av uvitenhet eller uaktsomhet av den som utfører målingen, og/eller feil med instrumenter. Grove feil er feil som er større enn det man kan forvente ved valgt målemetode. (Reed, 1982) Grove feil kan forekomme, derfor er gode arbeidsrutiner med kontroller, kalibreringer og ekstra uavhengige målinger viktig.

Systematiske feil skyldes ofte feil med instrumentene. Måten man kan redusere dette på, er å utføre målinger slik at virkningen av en eventuell feil i instrumentet vil gi mindre utslag. (Reed, 1982)

Ensidige virkende feil er feil som alltid påvirker måleresultatet i samme retning, slik at en alltid måler for stort eller alltid for lite. (Reed, 1982)

Tilfeldige feil er feil som er vanskelig å forhindre, om ikke umulig. Det kan skyldes feil med observatørens syn, små feil i instrumenter og faktorer som temperatur og lysforhold. Verdien tilfeldige feil utgjør er vanskelig å fastsette. Derfor bruker man utjevning for å jevne ut de tilfeldige feilene som er gjort. Denne typen feil er gjenstand for nøyaktighetsberegninger. (Reed, 1982)

2.7.2 Gjennomsnitt og standardavvik

Får å vite noe om noe er målt feil, må det måles flere ganger. Det vil alltid være noe variasjon i det man måler. For å kunne si noe om den variasjonen i de tilfeldige avvikene, ser

man på forholdet til den antatte sanne verdien. Som regel er ikke den sanne verdien kjent og en middelvei bestemmes ut fra alle godkjente målinger med antatt tilfeldige avvik. (Reed, 1982)

Formel 5 Aritmetisk middelvei

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_i h_i$$

$\mu =$ aritmetisk middelvei, $n =$ antall målinger, $h =$ målt høyde

Formel 6 Avvik til Aritmetisk middelvei:

$$v_i = (\mu - h_i)$$

$v =$ avvik, $\mu =$ aritmetisk middelvei, $h =$ målt høyde

Summen av tilfeldige avvik skal være lik 0 og er en kontroll på at beregningene av middelvei er gjort riktig. (Reed, 1982)

Variansen er satt til kvadrat, da den kan ha negativt og positivt fortegn for å ikke fjerne avviket.

Formel 7 Varians

$$v_i^2$$

$v =$ avvik

Standardavviket er roten av gjennomsnittlig varians av middelveien, og sier noe om usikkerheten som ligger i måleverdien.

For å kunne fastsette standardavviket på en enkeltmåling, der alle målingene er like nøyaktige, skal antall overbestemmelser være minst én mindre enn antall målinger som er gjort (Skogseth & Norberg, 2014)

Formel 8 Standardavvik

$$s = \sqrt{\frac{\sum_i v_i^2}{n - 1}}$$

$s =$ standardavvik, $n =$ antall målinger, $v =$ avvik fra aritmetisk middelvei

Avvik større enn 3s betraktes som grovfeil og utelates.

2.7.3 Utjevning

Utjevning er en metode for feilfordeling i et nettverk av målepunkter. Målingene kan vektas på korrelerte observasjoner eller uavhengige størrelser. Ofte brukes minste kvadraters metode. (Mæhlum, Utjevning, geodesi, 2020). Det beregnes nye koordinater etter utjevningen av feil er beregnet og det gis standardavvik på målingene.

2.7.4 Ytre pålitelighet

Ytre pålitelighet er en analyse som sier noe om mulighetene for at det fortsatt kan være feil på målingene, og hvordan deformasjonen på nettet er. Gir virkningen av målingenes største mulige avvik innenfor grensa for grovfeil på de ukjente koordinatene. (Skogseth & Norberg, 2014)

3 Metodebeskrivelse

3.1 Begrensinger

En begrensning for oppgaven er å ikke ha mulighet og tillatelse til å fly drone selv. Å fly drone over de aktuelle områdene som oftest trenger kartlegging krever sertifisering som dronepilot og en forsikring.

Løsning for dette ble å undersøke om noen andre kunne fly en drone eventuelt finne et billedatasett tatt av drone for et aktuelt område. Disse to mulighetene for billedatasett ble funnet aktuelt for oppgaven:

- 1 Nordic Unmanned AS er et firma spesialisert på dronedyking for inspeksjon og kartlegging. De har gitt tilgang til et prosjekt på Gjøvik fra august 2019, der det ble fløyet drone med lasermåler og kamera.
- 2 Søndre Land kommune ble kontaktet høsten 2020 og takket ja til å teste sin nyinnkjøpte drone sammen med en studentgruppe fra NTNU Gjøvik. Flygingen ble planlagt å gjøres før det kom snø til vinteren og mens det enda var noe dagslys. Denne flygingen ble gjort 25. november i 2020 og over en del av Hov sentrum.

De to datasettene har forskjellige utgangspunkt, der det ene settet er gjort av gode spesialister med svært avansert drone og utstyr, mens den andre bildeinnsamlingen ble utført av en kommuneansatt som ønsket å bli kjent med hvilke muligheter en drone med RGB-kamera og termisk-kamera kan ha for hans arbeidsoppgaver som næringsrådgiver i kommunen.

Faktorer som påvirker kvaliteten på kartleggingen er blant annet bruk av kontrollpunkter på bakken, riktig bruk av GNSS utstyr, flyhastighet, kameraparametere, lysforhold, programvare og brukerens erfaring. Dette blir mange faktorer som inngår i vurdering om drone kan brukes til kartlegging. Denne oppgaven velger å se på kvaliteten etter fotogrammetri-prosessen ved å undersøke om stedfesting av høyde er innenfor gjeldende nøyaktighetskrav.

Hustak er godt synlige fra luften og brukes til å identifisere bygninger til FKB. I tillegg kan de måles relativt godt fra bakkenivå. Takoverflater finnes også som objekter i FKB som mønelinje og takkant i form av vektorlinjer og er et resultat fra tidligere kartleggingsarbeid hvor det er brukt flyfoto og kan trekkes inn i vurderingen av resultatet dronebildene gir.

3.2 Mønelinje

Ute i felt får man innsnevret fokuset gjennom kikkerten til totalstasjonen. Der blir det tydelig at mønelinjer ikke er en rett linje med samme høyde hele veien. Oppbyggingen av mønene er forskjellig. Mange har en vindski og en blekk-kant helt i kanten som er noe høyere enn resten av taket. Noen tak har mønestein som ligger stablet på hverandre slik at mønet ikke har den samme høyden hele veien. Høyden varierer med 3-6 cm.

Vist i bildeeksemplene under så har to av takene har vindskier i kantene, det midterste har kantavslutning lik taket. To av takene har steiner som er stablet på hverandre, mens det nederste taket har sammenføring av blekkdeler til mønet under en liten kul.

Det å treffe vindskia eller blekkanten riktig i punktškya vil bli vanskelig. Derfor vil mønehøyden måles uten oppbyggingen helt på kanten.

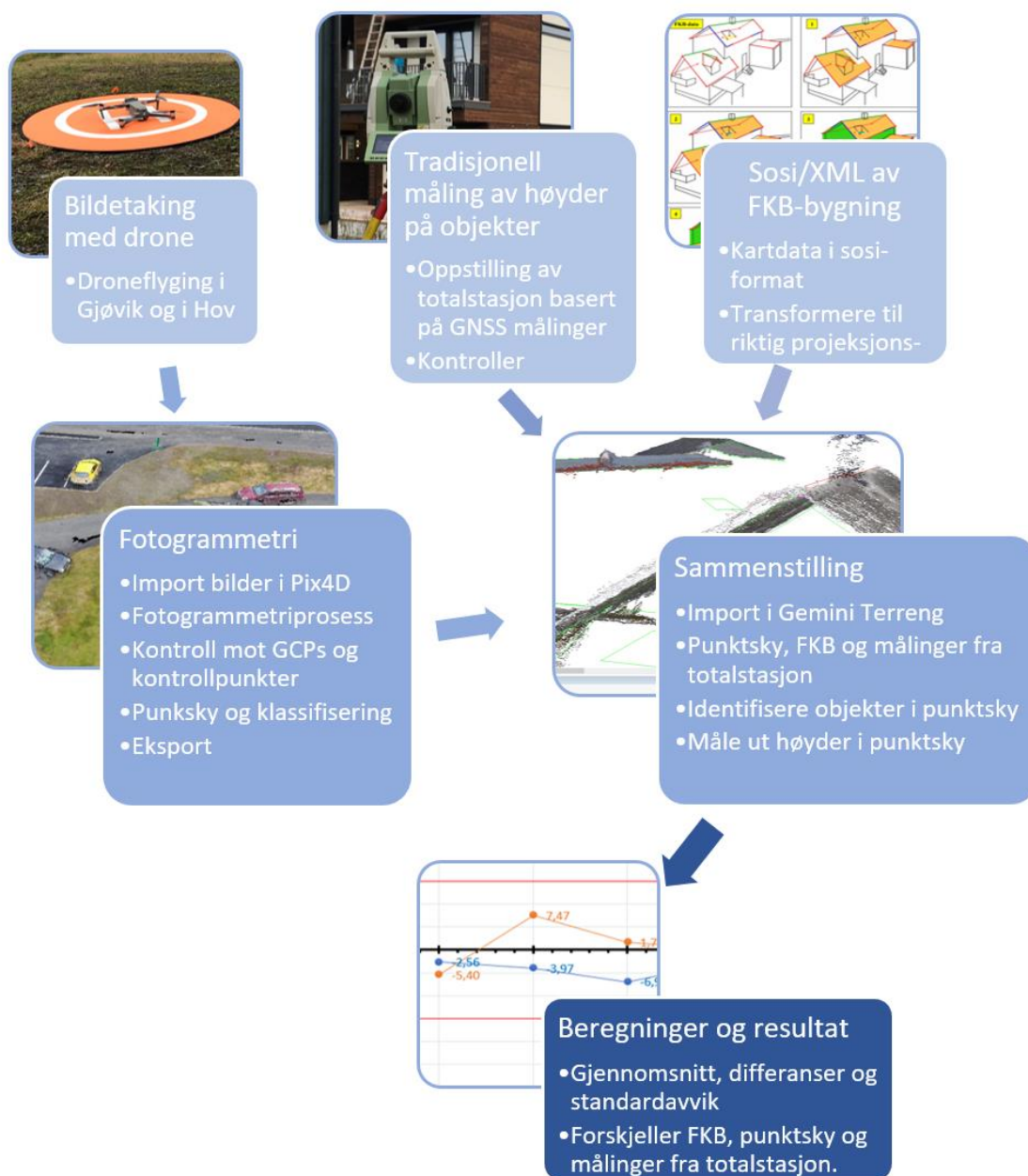


Figur 8 Eksempelbilder av tak og møner. Foto Kjersti Høyvik 2021

3.3 Oversikt metodevalg

Det er planlagt følgende metode for å løse problemstillingen, vist i figur under. Målet til slutt er å få sammenstilt høyder fra 3 forskjellige målemetoder; i fra mønelinjer i FKB, innmålinger fra totalstasjon og målinger i punktsky laget fra bilder tatt med dronekamera.

Fra bildesettene fra droneflygingene vil det bli laget en punktsky som er georeferert til ønsket projeksjonssystem og høydesystem. Hvordan det er blitt gjort er vist i delkapittel 3.4 og 0. Hvordan bildeinnsamlinger er blitt gjort med drone blir beskrevet i de to neste kapitlene 4 og 5, da de er gjort av to forskjellige aktører med ulike oppsett. Innmåling av GNSS-punkter og oppstilling av totalstasjonen er lagt inn som eget kapittel, kapittel 6. Metodevalg rundt selve målingen av mønelinje er beskrevet i delkapittel 3.6.

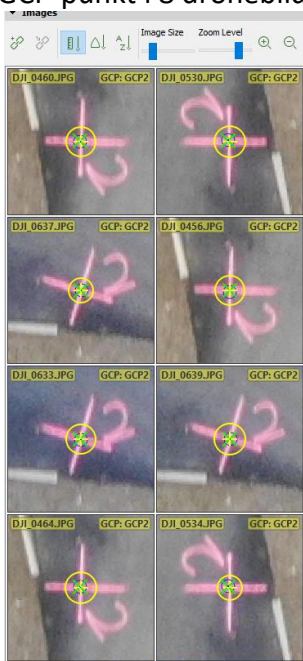


Figur 9 Oversikt metodevalg

3.4 Fotogrammetriprosessering til punktsky

Når bildedatasettet er samlet inn og GCP'ene er ferdig midlet, kan det brukes videre til å få laget en 3D-modell av området. Programvaren som brukes er Pix4Dmapper. Stegene som er brukt i denne oppgaven er som følger:

- 1 Bildene lagres lokalt på datamaskinen i tillegg til prosjektets arbeidsplass på en server med back-up løsninger. Dette for å redusere noe av tiden med å lese fra bildene i fotogrammetriprosessen.
- 2 Bildene lastes inn i programvaren Pix4D, der kameraposisjon og kameraparametere gjenkjennes ut ifra metadataen som ligger i bilde-filene.
- 3 Koordinatsystem og geoid bestemmes for bildesettet og for sluttproduktet. Sett fra Gjøvik er innmålt i NTM sone 10 og bildesettet fra Hov i UTM sone 32. Disse referansesystemene brukes videre i programvaren. I tillegg velges en av de tilgjengelige geoidmodellene for WGS 84 (EGM 96 Geoid).
- 4 En innledende prosessering kjøres først med innstillingen «rapid».
- 5 GCP'ene legges inn med ønsket referansesystem. Programmet lar en finne GCP'ene i bildene og justere plasseringen av GCP'en for å gi programmet hjelp med å peke til flere bilder hvor punktet ligger i bildet. Eksempel vist i Figur 10 viser manuell plassering av et GCP-punkt i 8 dronebilder.



Figur 10 Markering av GCP-punkt i bilder. Utklipp fra skjermbilde i Pix4D.

- 6 Den innledende prosesseringen kjøres på nytt etter at GCP'ene er lagt inn. Den gir da ut en kvalitetsrapport for bildematerialet med innstillinger og GCP'ene. Kvaliteten av GCP'ene blir vist med utregnet restfeil for koordinatene, høyden og projeksjon. Er disse verdiene dårlige bør en sjekke for feil i GCP'ene. For grunnriss bør det være under 2xGSD

og for høyde under 3xGSD. En metode er å slippe opp en GCP med mulig feil enten i grunnriss og/eller høyde og la den heller være et kontrollpunkt i stedet.

- 7 Dersom kvalitetssjekken i Pix4D tilfredsstillende, og verdiene for GCP'ene i kvalitetsrapporten gode, settes prosess 2 i gang, med å finne mange flere 3D-punkter i bildematerialet. For denne metoden er det viktigere at punktet er korrekt, enn at det er altfor mange punkter. Parameteren for minimum antall treff i bilder settes til: 6 bilder. Denne prosessen tar lang tid og krever mye kapasitet fra datamaskinen.

Kvalitetsrapportene fra de to bildesettene er lagt ved som vedlegg V og VI

3.4.1 Bruk av kontrollpunkt

Den første gjennomføringen av fotogrammetri i Pix4D for settet på Hov inneholder 8 GCP'er og har en punktsky som ligger høyere enn forventet. Det ble derfor testet å gjøre om noen av GCP'ene til CP'er (kontrollpunkt).

I kvalitetsrapporten som Pix4D gir ut etter prosesseringen av bildematerialet kommer det et gult varsel på at kameraets innstillinger er blitt beregnet om med 10 % endring. Tabellen med informasjon om feil til GCP'ene, viser at 3 av GCP'ene restfeil på 4-5 cm i høyde. Pix4D mener denne feilen bør ligge under 3 ganger GSD størrelsen. GSD-størrelsen for Hov er 1,8 cm. Slik at GCP'ene sine restfeil er innenfor anbefalingen fra Pix4D.

Høyden på mønelinjene kontrolleres mot noen av målingene fra totalstasjonen og ligger også mye høyere enn forventet, 20-30 cm.

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X[m]	Error Y[m]	Error Z[m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
GCP1 (3D)	0.020/0.020	0.005	-0.013	0.039	0.824	17 / 17
GCP2 (3D)	0.020/0.020	0.007	-0.008	-0.050	1.127	34 / 34
GCP3 (3D)	0.020/0.020	-0.023	0.023	0.044	1.033	15 / 15
GCP4 (3D)	0.020/0.020	-0.018	0.013	0.005	0.607	12 / 12
GCP5 (3D)	0.020/0.020	0.025	-0.014	-0.018	0.803	7 / 7
GCP6 (3D)	0.020/0.020	0.003	0.029	0.008	1.357	17 / 17
GCP7 (3D)	0.020/0.020	-0.007	0.003	-0.021	1.439	11 / 11
GCP8 (3D)	0.020/0.020	0.007	-0.031	-0.003	1.195	21 / 21
Mean [m]		-0.000038	0.000288	0.000472		
Sigma [m]		0.014469	0.019220	0.029152		
RMS Error [m]		0.014469	0.019223	0.029156		

Figur 11 Restfeil i GCP'ene ved første analyse i PIX4d. Utklipp fra Pix4Ds kvalitetsrapport.

GCP1 og GCP3 lå i et område hvor det kunne være noe høydeforskjell i nærheten av fastmerket, fortauskant og asfaltkant til grusvei. GCP5 lå i noe ulendt terreng. Så disse 3 ble gjort om til kontrollpunkt og ny initiell prosess ble kjørt. Kontrollpunktene sine feil i høyde ble da vist til å være 24 cm, 9 cm og 14 cm, se utklipp fra rapporten under.

Ground Control Points						
GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
GCP2 (3D)	0.020/ 0.020	0.013	0.002	-0.010	1.103	34 / 34
GCP4 (3D)	0.020/ 0.020	-0.019	0.010	0.015	0.614	12 / 12
GCP6 (3D)	0.020/ 0.020	0.011	-0.001	-0.005	1.316	17 / 17
GCP7 (3D)	0.020/ 0.020	-0.009	0.012	-0.017	1.419	11 / 11
GCP8 (3D)	0.020/ 0.020	0.002	-0.020	0.014	1.141	21 / 21
Mean [m]		-0.000361	0.000482	-0.000635		
Sigma [m]		0.012096	0.011464	0.012898		
RMS Error [m]		0.012102	0.011474	0.012914		
0 out of 3 check points have been labeled as inaccurate.						
Check Point Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
GCP1		0.0188	-0.0082	0.2408	0.8119	17 / 17
GCP3		-0.0324	0.0283	0.0915	0.9973	15 / 15
GCP5		0.1150	-0.0621	-0.1420	0.7774	7 / 7
Mean [m]		0.033772	-0.014008	0.063441		
Sigma [m]		0.061103	0.037128	0.157510		
RMS Error [m]		0.069815	0.039682	0.169806		

Figur 12 Restfeil i GCP'ene og kontrollpunkt ved siste analyse i PIX4d. Utklipp fra Pix4Ds kvalitetsrapport.

Punktskyen med GCP-områdene ble eksportert til Gemini Terreng og sammenlignet med opprinnelig GCP-posisjoner, se tabell under. Målingene blir gjort i nærmeste punkt-sky-punkt. CP1 og CP3 som i denne analysen er satt til kontrollpunkter, viser at de begge ligger 7 cm under GNSS-innmålt punkt.

CP1 ligger, ifølge Pix4D-rapporten vist i figur over, 24 cm under. Differansen er da på hele 17 cm.

Tabell 2 Posisjon til nærmeste punkt til GCP-punktet målt i Gemini terreng. GCP1, 3 og 5 er satt kun som kontrollpunkt.

Id	Nærmeste punkt i punktsky			GCP-punkt (innmålt med GNSS)			Differanse (Punktsky – GCP) [cm]		
	Øst	Nord	Høyde	Øst	Nord	Høyde	Øst	Nord	Høyde
CP1	573612,02	6730523,66	192,81	573612,02	6730523,65	192,88	-0,2	0,4	-7,0
GCP2	573671,38	6730461,63	195,01	573671,38	6730461,64	194,98	0,3	-1,7	2,8
CP3	573738,05	6730413,06	196,02	573738,05	6730413,06	196,09	0,3	-0,6	-7,3
GCP4	573742,40	6730507,92	201,23	573742,40	6730507,91	201,24	0,5	1,5	-1,5
CP5	573727,86	6730644,12	211,11	573727,88	6730644,13	211,12	-2,2	-0,8	-1,3
GCP6	573752,98	6730575,12	206,19	573752,95	6730575,11	206,21	2,2	0,5	-2,2
GCP7	573690,75	6730342,73	190,16	573690,74	6730342,73	190,17	1,3	0,1	-1,2
GCP8	573653,12	6730376,74	187,06	573653,10	6730376,75	187,05	2,0	-1,6	1,3

3.5 Identifisering av objekter i punkttsky

3.5.1 Utvalg av aktuelle områder i punkttsky

Punkttskyen som blir laget har stor utbredelse, og derfor tung å orientere seg under videre arbeid. Derfor reduseres den betraktelig med klipping.

Punkttskyen dekker et mye større område enn testområdet og kan derfor klippes ned til aktuelt område. De små arealene rundt alle GCP'ene beholdes for hele punkttskyen. Punktene rundt GCP'ene klassifiseres i en egen kategori. Takoverflaten på bygninger i testområdet markeres og kategoriseres også i Pix4D, eksempel vist i Figur 13.



Figur 13. Manuell klassifisering i punkttsky. Punktene av et hustak er markert og klassifiseres under kategorien «building». Utklipp fra skjermbilde i Pix4D

3.5.2 Eksport av punkttsky fra Pix4D

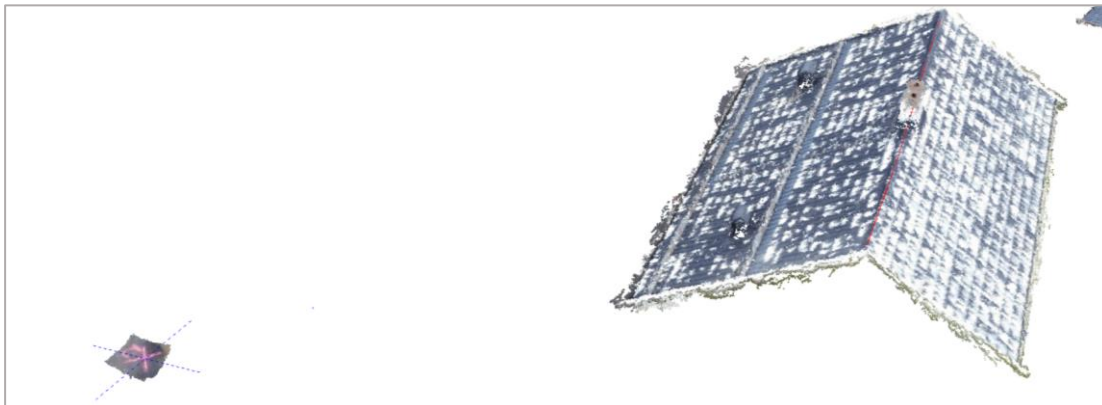
Ved eksport av punkttskyen fra Pix4D kan en velge hvilke grupper som skal eksporteres, om de skal settes sammen til en punkttsky, og om en skal beholde bildefargen i punktene. Kategoriene som inneholder GCP'er og hustakene eksporteres i en punkttsky. Det er valgt å eksportere to sett, ett sett med bildefarge og ett sett med nøytralfarge.

3.5.3 Import av punktskyer i Gemini terreng

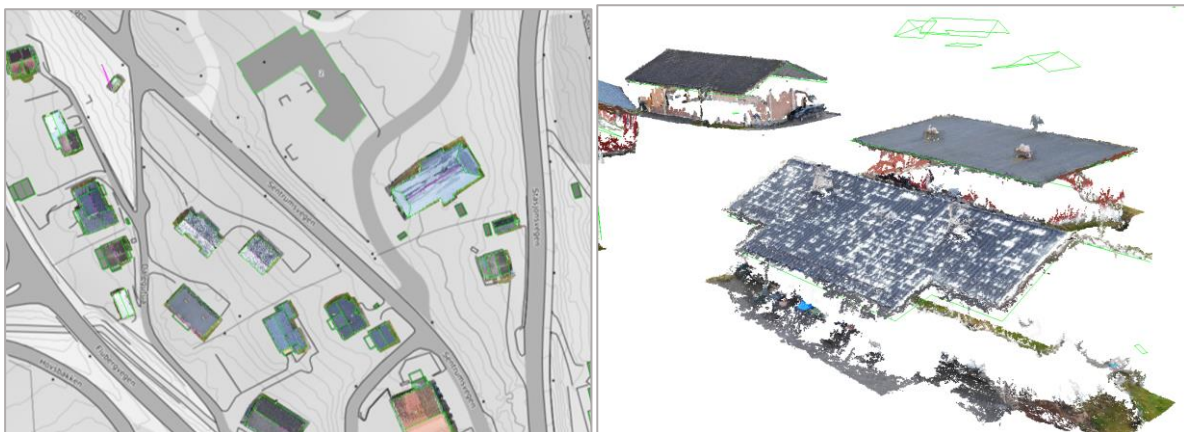
Det opprettes et prosjekt i Gemini Terreng hvor det velges riktig koordinatsystem og høydesystem. Gemini terreng gir mulighet for å lage flere lag som en kan aktivisere, og velge å visualisere eller ikke. Det opprettes et lag for punkttskyen, hvor laz-filen med punkttsky fra Pix4D importeres i menyen for egenskaper.

For å kontrollere at punkttskyen er blitt laget i riktig koordinatsystem, legges punktene for GCP'ene inn i et annet lag og det opprettes et lag som laster ned WMS-kartet «topografisk norgeskart 4 gråtone». En får da raskt en visuell kontroll i 2D at husene ligger på samme plass som i WMS-kartet, se bilde under. I 3D modus kan en se at GCP'ene er plassert i riktig

område i punktsky, se Figur 14 under. Eventuelt kan man også legge inn FKB-data av bygninger.



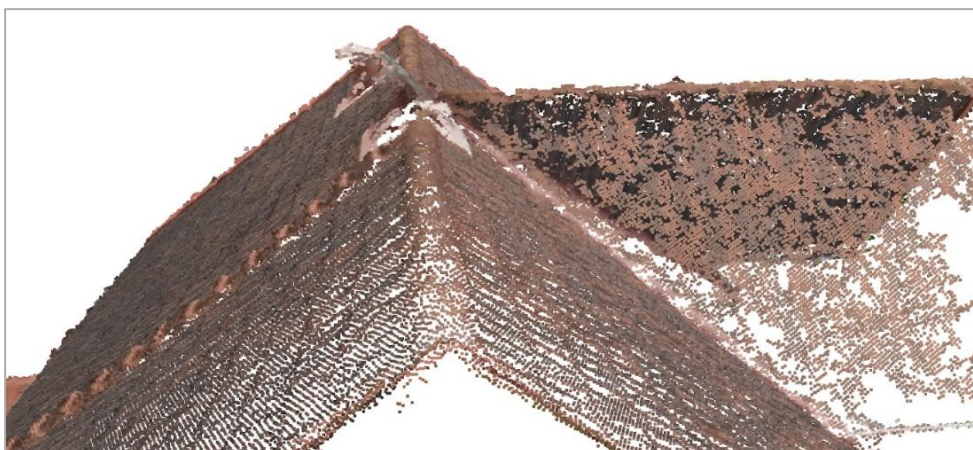
Figur 14 Egenkontroll i Gemini Terreng 3D-visning om punktsky fra fotogrammetriprosessen er riktig plassert. Her vises markering av GNSS-målinger av GCP'en i form av et kryss med blå stiplet linje og krysset til GCP'en med rosa linje.



Figur 15 Egenkontroll i Gemini Terreng 2D-visning og 3D visning om punktsky fra fotogrammetriprosessen er riktig plassert ved hjelp av WMS-kart Topo 4 med gråtone og FKB-mønelinjer og -takkant.

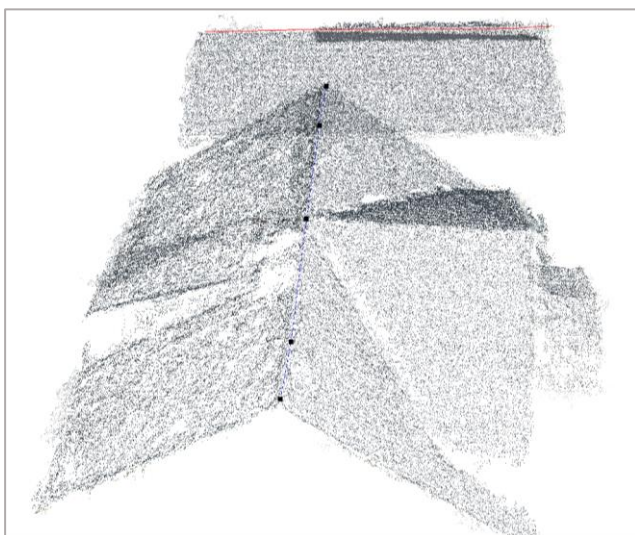
3.5.4 Identifisere mønelinjer

Sett på litt avstand i 3D-visningen i Gemini terreng er mønet lett gjenkjennbart, se Figur 16. Helt inntil er det derimot ikke helt gjenkjennbart. Metoden som ble brukt var å starte med å isolere det aktuelle taket for seg selv med funksjonen «klipp objekter utenfor området i 3D». En annen innstilling som ble brukt, var muligheten for å justere størrelsen på punktene og antall punkter som skulle vises.



Figur 16 Konturene av mønet i punktskyen i Gemini Terreng.

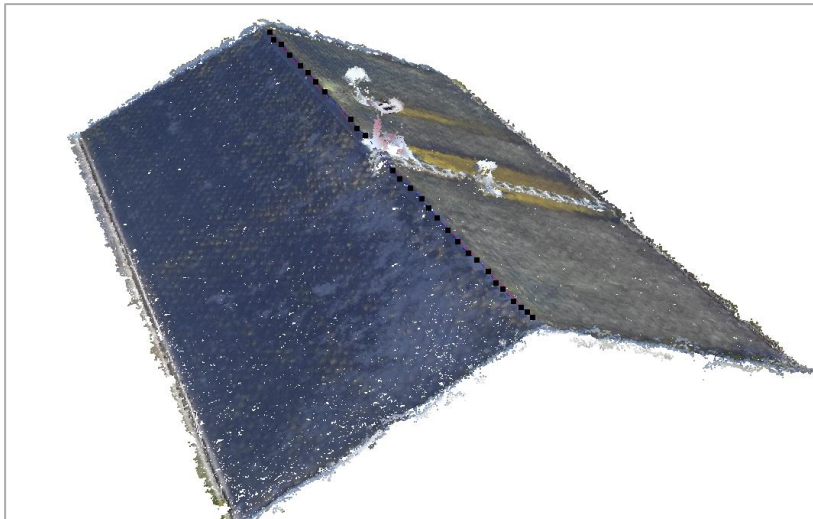
Det ble forsøkt å lage ei linje med 4 punkter fra den ene siden til den andre, eksempel vist i Figur 17. Mønet ble rotet i 3D og undersøkt om linja var rett og på rett plass både sideveis og i høyde. Ved de mønene hvor bildefargen i punktene avbildet mønet litt på siden ble det foretrukket å bruke punktskyen uten bildefarge, hvor da kun den romlige faktoren kom inn. I dette eksempelet er det brukt den fargenøytrale punktskya.



Figur 17 Plassering av mønelinje i punktsky. Ei ferdig linje i rød farge vises i bakgrunnen. Mønelinja i forgrunn er markert og viser da 5 punkter langs linja.

3.5.5 Måle høyden på ei mønelinje

Ut fra den rette linja laget oppå det som ser ut som øverste del av mønet, skal det nå gjøres målinger. Gemini terreng er satt i 2D-visning og lagene som vises er den for de konstruerte mønelinjene og punktskya. Her kan framgangsmåten enten være å lage punkt langs linja eller lage linje med mange punkt. Det er valgt å lage linje med mange punkt, vist på Figur 18 Valgte punkter langs mønet. under, hvor gjennomsnittet av alle disse punktene vil gi høyden på mønelinja målt i punktskya.



Figur 18 Valgte punkter langs mønet.

For hver mønelinje trekkes det ut slike punkter. Disse punktene behandles i et regneark i Excel hvor det regnes ut gjennomsnitt, avvik og standardavvik. Eksempelet vist i Tabell 3, har 27 punktmålinger hvor gjennomsnittet for mønehøyden i NN2000 er 197,99 meter med standardavvik 3,3 cm. Noen punktmålinger som lå i starten og slutten av mønelinja som var større enn 3 standardavvik ble tatt bort.

Tabell 3 Beregning av gjennomsnittshøyde og standardavvik for ei mønelinje på et hustak

Mønelinje	Koordinater				
Id	Øst	Nord	Høyde [m]	avvik fra gjennomsnitt [m]	varians [m ²]
punkt1	573648,48	6730444,04	198,02	0,02	0,00055
punkt2	573644,97	6730447,24	197,99	-0,01	0,00004
punkt3	573640,72	6730451,09	197,99	0,00	0,00001
punkt4	573649,06	6730443,48	198,05	0,06	0,00341
punkt5	573648,74	6730443,78	198,01	0,01	0,00021
punkt6	573648,39	6730444,09	198,02	0,02	0,00046
punkt7	573647,83	6730444,61	198,01	0,01	0,00015
punkt8	573647,20	6730445,20	198,02	0,03	0,00075
punkt9	573646,80	6730445,56	198,01	0,02	0,00034
punkt10	573646,44	6730445,86	198,01	0,01	0,00015
punkt11	573645,86	6730446,39	198,02	0,03	0,00070
punkt12	573645,36	6730446,86	197,96	-0,04	0,00134
punkt13	573644,70	6730447,45	198,02	0,02	0,00055
punkt14	573644,00	6730448,08	197,98	-0,01	0,00019
punkt15	573643,53	6730448,54	198,04	0,04	0,00188
punkt16	573642,93	6730449,08	198,02	0,03	0,00086
punkt17	573642,29	6730449,62	197,98	-0,02	0,00031
punkt18	573641,50	6730450,34	197,97	-0,02	0,00039
punkt19	573640,88	6730450,85	197,96	-0,04	0,00134
punkt20	573639,87	6730451,85	197,99	0,00	0,00000
punkt21	573639,19	6730452,46	197,97	-0,02	0,00051
punkt22	573638,80	6730452,75	197,98	-0,01	0,00009
punkt23	573638,33	6730453,19	197,96	-0,04	0,00134
punkt24	573637,72	6730453,80	197,93	-0,06	0,00368
punkt25	573637,27	6730454,12	197,92	-0,07	0,00485
punkt26	573636,83	6730454,55	197,96	-0,03	0,00113
punkt27	573636,69	6730454,68	198,05	0,06	0,00318
Gjennomsnitt			197,99		
			Sum avvik	0	
				Standardavvik	0,033
	Antall målinger		27		

3.6 Innmåling av mønehøyder med totalstasjon

Det mest nøyaktige høydemålingene ville vært å gå nivellement fra en kjent høyde og kommet seg på taket med målingene. Som ville vært tidkrevende, komplisert og med behov.

Mønelinjene er ikke alltid horisontale og i vater. Målinger med totalstasjon i lodd måler forskjellige høyder fra en ende til den andre på 4 cm hvor det måles på høyeste punkt på mønedelene. Slik at metoden med frioppstilling basert på GNSS innmålte punkter vil være godt nok.

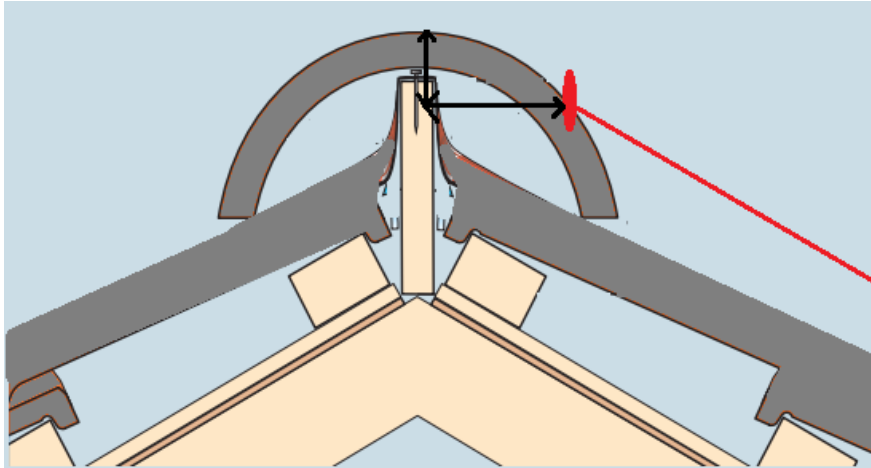
Mønene måles 2-3 ganger på det høyeste punktet av mønesteinene, se bilde under, over takets lengde, og om mulig også fra andre frioppstillinger.

Målingene på totalstasjon fra bakkenivå er gjort på det høyeste mulige punktet for totalstasjonen å måle som i noen tilfeller er 1-2 cm under høyeste punkt. Totalstasjonen vil i de fleste tilfeller være på undersiden av mønelinjene som skal måles, vist i Figur 19.



Figur 19 Totalstasjonens perspektiv til et tak. Wergelandsgate 12, Gjøvik. Foto Kjersti Høyvik 2021

Totalstasjonen måler fra nedsiden og opp slik at målingene blir noe på siden av mønesteinen og derfor ikke sentrert midt på taket og noe lavere enn øverste punkt, se Figur 20 under. Laserstrålen fra avstandsmåleren i totalstasjonen er avhengig av å måle litt under toppen av møne for å ha noe å reflektere på. En må da måle noe lavere enn øverste punkt. Det gjør at målingen av mønets topp-punkt kan være opp noen centimeter feil i grunnriss og noe lavere i høyden enn det egentlig er.



Figur 20 Illustrasjon av måling på mønestein fra totalstasjon stående på bakken. Målingen kommer på siden av senter tak og litt lavere enn topp møne.

3.7 Datasett fra FKB i sosi-format

FKB-bygning importeres inn i Gemini terreng i et eget lag. Inne i terrengmodellen gjøres en visuell kontroll mot av FKB-dataen mot WMS-bakgrunn og innmålinger gjort med totalstasjon. For å holde informasjonen i modellen ryddig, slettes alle linjer og polygoner som ikke er i det aktuelle området og som ikke er takkant eller mønelinje.

Terrengmodellen for Prost Bloms gate er satt opp i NTM Sone 10. Ved import av sosi-formatet så leses det ut hvilket projeksjonssystem FKB-bygning har. Sosi-filen er i UTM sone 32, det oppdages automatisk ved importen i Gemini Terreng. Programmet spør om det skal transformere i henhold til en dll-fil utgitt fra Statens Kartverk for UTM til NTM transformasjoner.

4 Dronefoto fra Prost Bloms gate i Gjøvik

Nordic Unmanned har gitt tilgang til datasett med laserdata, bilder og GCP'er fra et prosjekt de hadde for Statens Vegvesen sommeren 2019. Det var bestilt datafangst og DTM konstruksjon langs fylkesvei 132, Prost Bloms gate i Gjøvik.

Formålet med dette prosjektet var Lidarskanning fra bil og drone med GNSS og totalstasjon. Laserdataen ble brukt til å lage DTM (terrengmodell). Dronen hadde også påmontert kamera som har tatt bilder fra flygingen for å bruke til fargelegging av punktsky og generering av ortofoto. Det er dette bildesettet som blir brukt i denne oppgaven.

4.1 Utstyr

4.1.1 Dronetype

Nordic Unmanned benyttet seg av en drone av typen CAMFLIGHT FX8HL. Størrelse på den er 1,4 meter bred, 0,50 meter høy og den veier opptil 25 kg med utstyr. (Topometrics, 2021)



Figur 21 Bilde av CAMFLIGHT FX8HL (Topometrics, 2021)

4.1.2 Kamera

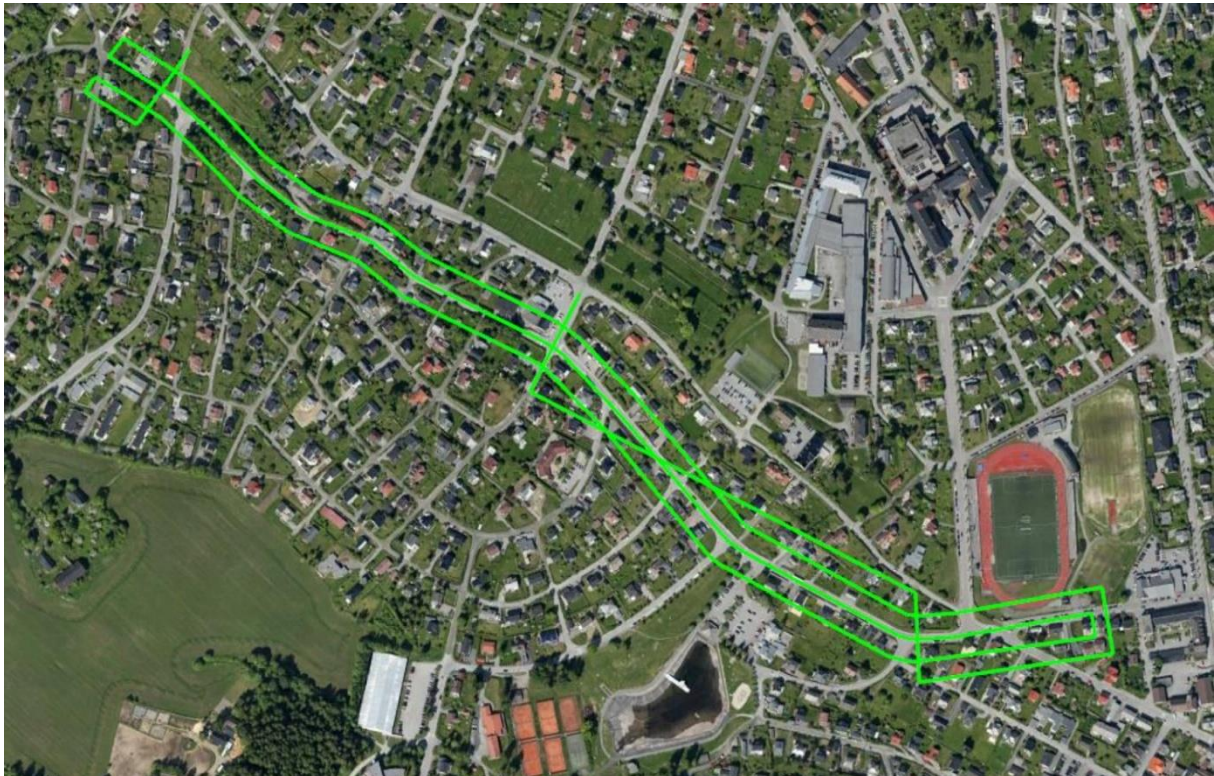
Sony DSLR kamera med 42MP oppløsning. Kamerainformasjon er funnet ved hjelp av programvaren ExifTools.

- Kameramodel: SONY ILCE-7RM2 internal serial number: 7400a3240010
- Kameraobjektiv: Voigtlander SUPER WIDE-HELIAR 15mm F4.5 III
- Focal length: 15mm
- Oppløsning: 7952x5305 piksler
- Exmor R[®] CMOS sensor: 35 mm fullformat 35,9x24,0 mm (Sony, 2021)
- Synsfelt: 100,4 grader

- Innstillinger:
- ISO500
- Lukketid: 1/800 sekund
- Blenderåpning: 4,5

4.2 Bildedatsett fra Prost Bloms gate

Prosjektet bildene er tatt fra, hadde i oppgave å kartlegge en vei i et tettbygd område rett utenfor sentrum av Gjøvik. Bildet under viser flylinjene for dronen.



Figur 22 Planlagt flyging. (Nordic Unmanned, 2019)

Bildet over er hentet fra Nordic Unmanned sin rapport og viser planlagt flyging for dronen av Prost Bloms gate i Gjøvik. (Nordic Unmanned, 2019)

Ved hjelp av programvaren Exiftools er det funnet at bildesettet inneholder 496 bilder med bildestørrelse 7952x5304. Lukketiden var på 1/800 med blenderåpning 5.6 og fokallengden var på 15 mm. Dato for bildeinnsamlingen var 12. august 2019.

Bildene er tatt hvert 2,19 sekund (Nordic Unmanned, 2019)

4.2.1 Dronehastighet og flyhøyde

I programvaren PIX4dmapper finner jeg den kalibrerte posisjonen til et bilde i NTM 10-koordinater. 4 bilder velges ut som ligger i hver sin ende av 2 flylinjer. Bildene er tatt med et mellomrom på 2,19 sekund (Nordic Unmanned, 2019), som gir en hastighet på 4,6 m/s.

Tabell 4 Utregning flyhastighet

	bildenavn	NTM10		Distanse [m]	Antall bilder	Tid mellom bildene [s]	hastighet [m/s]
		øst	nord				
start linje1	_DSC0064.jpg	109805,503	1311721,504				
slutt linje1	_DSC0081.jpg	109973,759	1311746,662	170,126	17	37,23	4,6
start linje2	_DSC0298.jpg	109598,885	1311864,200				
slutt linje2	_DSC0318.jpg	109774,422	1311768,137	200,103	20	43,8	4,6

Ifølge prosjektrapporten hadde dronen en hastighet på 5 m/s (Nordic Unmanned, 2019).

Flyhøyden er satt til 50 meter over terrenget.

4.2.2 Bakkeoppløsning for bildesettet

Formel for GSD er hentet fra delkapittel 2.5.4. Den sier noe om hvor stor en kamerapiksel blir på bakken ved en gitt flyhøyde og kameraets bildeoppløsning. For dette bildedatasettet er oppløsningen på ca. 1,5 cm per piksel i bredderetningen og 1,6 cm for lengderetningen av bildet.

$$GSD_{bredde} = \frac{35 \text{ mm} \times 50 \text{ m}}{15 \text{ mm} \times 7952 \text{ piksler}} = 14,67 \text{ mm/piksel} \rightarrow 1,47 \text{ cm per piksel}$$

$$GSD_{høyde} \text{ med } 5305 \text{ piksler og sensorhøyde } 23,34 \text{ mm gir } 1,47 \text{ cm}$$

Med en lukketid på 1/800 sekund og en flyhastighet på 5 m/s vil avstand som er flydd mens kameraet tar bilde være 0,63 cm. Som er 42% av en hel piksel. Dette er en god verdi for å unngå slør i bildene, se delkapittel 2.5.4.

4.2.3 Overlapp

Prosjektrapporten (Nordic Unmanned, 2019) viser til kun overlapp i fly-retning med en dekning på 80% og sier ikke noe om sideoverlapp.

Ved hjelp av Formel 3 nevnt i delkapittel 2.5.5 kan dekningsgraden av et bilde regnes ut.

$$D_w = 7952 \text{ piksler} \times 0,015 \text{ m/piksel} = 119,7 \text{ m}$$

$$D_w = \text{Dekningsgrad i bredde, } GSD_w = \text{bakkeoppløsning i bredde,} \\ \text{og } Im_w = \text{Sensoroppløsning i bredde}$$

Breddeavstand mellom flylinjene måles ut i Pix4D ved å regne ut avstand mellom bildeplasseringene som da blir omtrent 23 meter, se Tabell 5. Dette er et overslag da bildene ikke ligger helt på rett linje på tvers av flylinjene.

Tabell 5 Utregning flylinjebredde

	bildenavn	NTM10		Bredde mellom flylinje	Bredde	Bredde mellom flylinje
		øst	nord			
flylinje 1	_DSC0099.jpg	109880,689	1311801,335	flylinje1-2	25,5	25,5
flylinje 2	_DSC0329.jpg	109883,299	1311775,986	flylinje1-3	46,9	23,4
flylinje 3	_DSC0349.jpg	109889,090	1311755,241	flylinje3-4	20,8	20,8
flylinje 4	_DSC0073.jpg	109894,396	1311735,115	flylinje2-4	42,4	21,2
				Gjennomsnittlig bredde:		22,7

Sideoverlapp blir da forholdet på dekningsgraden bildet har av bakken og flylinjebredden, som blir omtrent 81 %.

Langs flylinjene er det omtrent 10 meter mellom bildene, vist i Tabell 6. Dekningsgraden av et bilde langs flylinja er på 80 meter, utregnet med formel lik for sidelapp over, med GSD for lengde og antall piksler i lengde på bildebrikken i stedet. Her ble overlappen 87 %.

Tabell 6 Utregning frontoverlapp

	bildenavn	NTM10		Distanse [m]	Antall bilder	Distanse mellom bildene
		øst	nord			
start linje1	_DSC0064.jpg	109805,503	1311721,504			
slutt linje1	_DSC0081.jpg	109973,759	1311746,662	170,126	17	10,0
start linje2	_DSC0298.jpg	109598,885	1311864,200			
slutt linje2	_DSC0318.jpg	109774,422	1311768,137	200,103	20	10,0

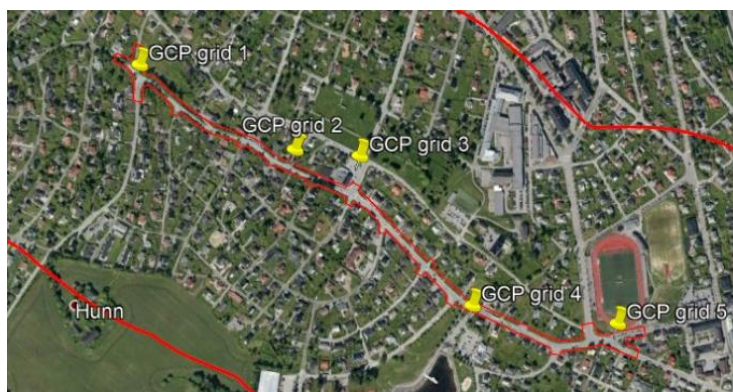
4.3 GCPs ved Prost Bloms gate

Det er satt ut 5 områder med kontrollpunkter målt med GNSS for prosjektet. Bildet under viser et GCP område i form av oransje kryss. GCP'en er det midterste av de ni oransje kryssene. Nordic Unmanned AS og viser kontrollpunkt 5 nederst Prost Bloms gate nede ved stadion. Det er slått ned 6 asfaltspikere med omtrent 1 meter avstand. Disse er igjen markert med et tynne oransje kryss.



Figur 23 GCP punkt på Gjøvik.

Figur 24 fra Nordic Unmanned sin rapport og viser kontrollpunktene GCP'ene langs Prost Bloms gate i Gjøvik.



Figur 24 Plassering av GCP'er på Gjøvik. Utklipp (Nordic Unmanned, 2019)

Tabell 7 Koordinater og høyder for GCP'ene for prosjektet ved Prost Bloms veg. (Nordic Unmanned, 2019)

GCP	Øst	Nord	Høyde
LOK5	109889.388	1311783.565	162.186
LOK4	109620.304	1311833.505	170.556
LOK3	109424.330	1312120.746	192.914
LOK2	109295.546	1312135.441	202.859
LOK1	109015.373	1312313.020	226.235

5 Droneflyging ved Hov i Søndre Land

Søndre Land kommune ville, etter forespørsel fra bachelorstudenter i geomatikk ved Gjøvik, svært gjerne stille opp med sin drone og sertifiserte pilot. Området de ønsket å fly på har fått ny vei og en stor barnehage, og kommunen ønsker å få oppdatert kartene sine over dette området. Dronepiloten er Roger Fløttum, ansatt som næringsrådgiver i Søndre-Land kommune. Kommunen har ikke hatt dronen lenge, og har ikke mye erfaring med å ta bilder med tanke på å lage punktsky og 3D-modeller. Dronen er tiltenkt å bli brukt til å skaffe seg oversikt over områder, ta bilder, eventuelt bruke det termiske kameraet for å søke med. (Fløttum, 2021)

5.1 Utstyr

5.1.1 Drone DJI Mavic 2 Enterprise Dual

Dronen som ble brukt er av typen DJI Mavic 2 Enterprise Dual. Den har totalvekt med utstyr på 899 gram. Den er også utstyrt med en GNSS antenne. (dji, 2021)



Figur 25 Dronen, DJI Mavic 2 Enterprise Dual, på landingsplata tatt under droneflygingen på Hov 25.11.2020. Foto Kjersti Høyvik 2020

5.1.2 Kamera og innstillinger

Kameraet er det originale kameraet fra dji, M2ED Visual Camera FC2403 med 12Mp (Fløttum, 2021). Kamerainformasjon er funnet ved hjelp av programvaren ExifTools og spesifikasjonen av dronen (dji, 2021).

- Kameramodell: FC2403
- Kameraobjektiv: 35mm (24mm-48mm) F2.8-3.8
- Focal length: 4,5 mm (skaleringsfaktor 5,3)
- Oppløsning: 4056x3040 piksler
- Sensorstørrelse: 6,554 mm x 4,913 mm (Photocounter, 2021)
- Synsfelt: 73,7 grader

Innstillinger:

- ISO160
- Lukketid: 1/30 sekund
- Blenderåpning: 2.8

5.1.3 Dronehastighet og flyhøyde

Flyhøyden er satt til 50 meter over terrenget.

I programvaren PIX4dmapper ligger den kalibrerte posisjonen til et bilde i UTM sone 32 - koordinater og med ExifTools kan tidspunktet for bildet lagres. 4 bilder er valgt ut som ligger i hver sin ende av 2 flylinjer. I tabellen under vises input-parameterne for å regne ut hastigheten. Hastigheten er på 2,9 meter per sekund.

Lengden regnes ut med følgende formel:

$$l_{flylinje} = \sqrt{(\text{\textcircled{ost}}_1 - \text{\textcircled{ost}}_2)^2 + (\text{\textcircled{nord}}_1 - \text{\textcircled{nord}}_2)^2}$$

Hastigheten regnes ut med denne formelen:

$$v_{drone} = \frac{l_{flylinje}}{t_2 - t_1}$$

Tabell 8 Underlag til utregning flyhastighet

	bildenavn	UTM sone 32		Distanse [m]	Tid mellom bildene [s]	hastighet [m/s]
		øst	nord			
start linje1	DJI_0517	573637,959	6730579,187			
slutt linje1	DJI_0577	573715,794	6730376,679	216,951	75	2,89
start linje2	DJI_0722	573629,691	6730389,869			
slutt linje2	DJI_0700	573708,257	6730392,372	78,606	27	2,91

5.1.4 Bakkeoppløsning for bildesettet

Formel for GSD er hentet fra delkapittel 2.5.4, og forteller hvor stor en kamerapiksel blir på bakken ved en gitt flyhøyde og kameraets egenskaper. For dette bildedatasettet er oppløsningen på ca. 1,8 cm per piksel i både bredderetningen og lengderetningen av bildet.

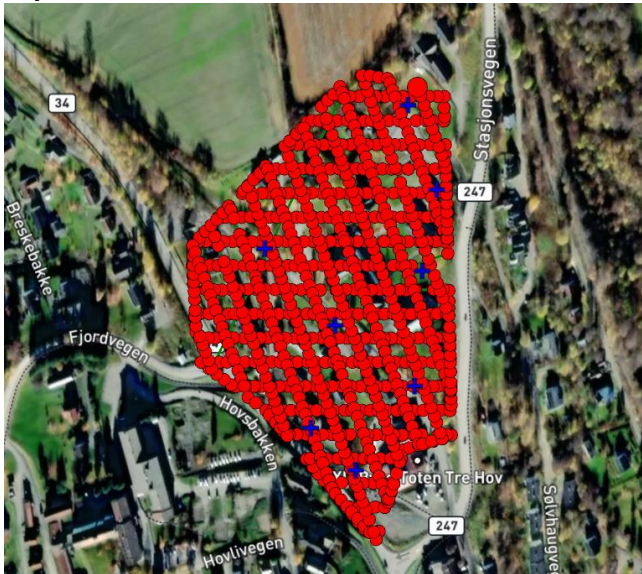
$$GSD_{bredde} = \frac{6,554 \text{ mm} \times 50 \text{ m}}{4,5 \text{ mm} \times 4056 \text{ piksler}} = 17,95 \text{ mm/piksel} \rightarrow 1,8 \text{ cm per piksel}$$

GSD_{høyde} med 3040 piksler og sensorhøyde 4,913 mm gir 1,8 cm

Med en lukketid på 1/30 sekund og en flyhastighet på 2,9 m/s blir flydd avstand mens kameraet tar bilde nesten 10 cm. Dette gir altfor stor utstrekning for bildet og vil gi tydelig slør med hele 5,5 ganger pikselstørrelsen.

5.1.5 Overlapp

På Hov ble det satt opp at dronen skulle fly et nett av flylinjer. Den fløy først linjer som gikk fram og tilbake i øst-vest-retning og så i linjer på nesten på tvers med 70 grader fra disse linjene.



Figur 26

Ved hjelp av Formel 3 nevnt i delkapittel 2.5.5 kan dekningsgraden av et bilde regnes ut. Den er 68,6 meter for dekningsgrad i bredde og 50,6 meter i dekningsgrad i lengde.

$$D_w = 4056 \text{ piksler} \times 0,018\text{m/piksel} = 72,8\text{m}$$

$D_w = \text{Dekningsgrad i bredde}$, $GSD_w = \text{bakkeoppløsning i bredde}$,
og $Im_w = \text{Sensoroppløsning i bredde}$

Breddeavstand mellom flylinjene måles ut i Pix4D ved å regne ut avstand mellom bildeplasseringene som da blir omtrent 21 meter, se Tabell 9. Dette er et overslag da bildene ikke ligger helt på linje på tvers av flylinjene ovenfor hverandre.

Tabell 9 Utregning flylinjebredde

	bildenavn	UTM sone 32		Bredde mellom flylinje	Bredde	Bredde mellom flylinje
		øst	nord			
flylinje 1	DJI_0815	573629,951	6730433,605	flylinje1-2	20,0	20,0
flylinje 2	DJI_0723	573649,622	6730437,085	flylinje1-3	41,0	20,5
flylinje 3	DJI_0631	573670,707	6730438,429	flylinje3-4	22,4	22,4
flylinje 4	DJI_0559	573693,067	6730438,775	flylinje2-4	43,5	21,7
				Gjennomsnittlig bredde:		21,1

Sideoverlapp blir da forholdet på dekningsgraden bildet har av bakken og flylinjebredden, som da blir omtrent 71 %.

Langs flylinjene er det omtrent 7,2 meter mellom bildene, vist i tabell under. Dekningsgraden av et bilde langs flylinja er på 54,6 meter, utregnet med formel lik for

sidelapp over, men med GSD for lengde og antall piksler i lengde på bildebrikken i stedet. Det gir en overlapp langs flylinja på 87 %.

Tabell 10 Utregning frontoverlapp

	bildenavn	UTM sone 32		Distanse [m]	Antall bilder
		øst	nord		
start linje1	DJI_0517	573637,959	6730579,187		
slutt linje1	DJI_0577	573715,794	6730376,679	216,951	30
start linje2	DJI_0722	573629,691	6730389,869		
slutt linje2	DJI_0700	573708,257	6730392,372	78,606	11

5.2 Bakkekontrollpunkter ved Hov

På Hov ble det satt ut 8 bakkepunkter i form av asfaltspiker og spraymarkert med 1 meter lange linjer i kryss. Det ble også sprayet et ID-nummer ved siden av for å kunne identifisere GCP'en fra lufta. Fargen rosa gir veldig god kontrast på asfalten og gjør GCP'ene lett gjenkjennerbar videre i bildeprosesseringen.



Figur 27 Bakkekontrollpunkt i form av asfaltspiker merket med et kryss med tydelig kontrast. Foto Kjersti Høyvik 2020

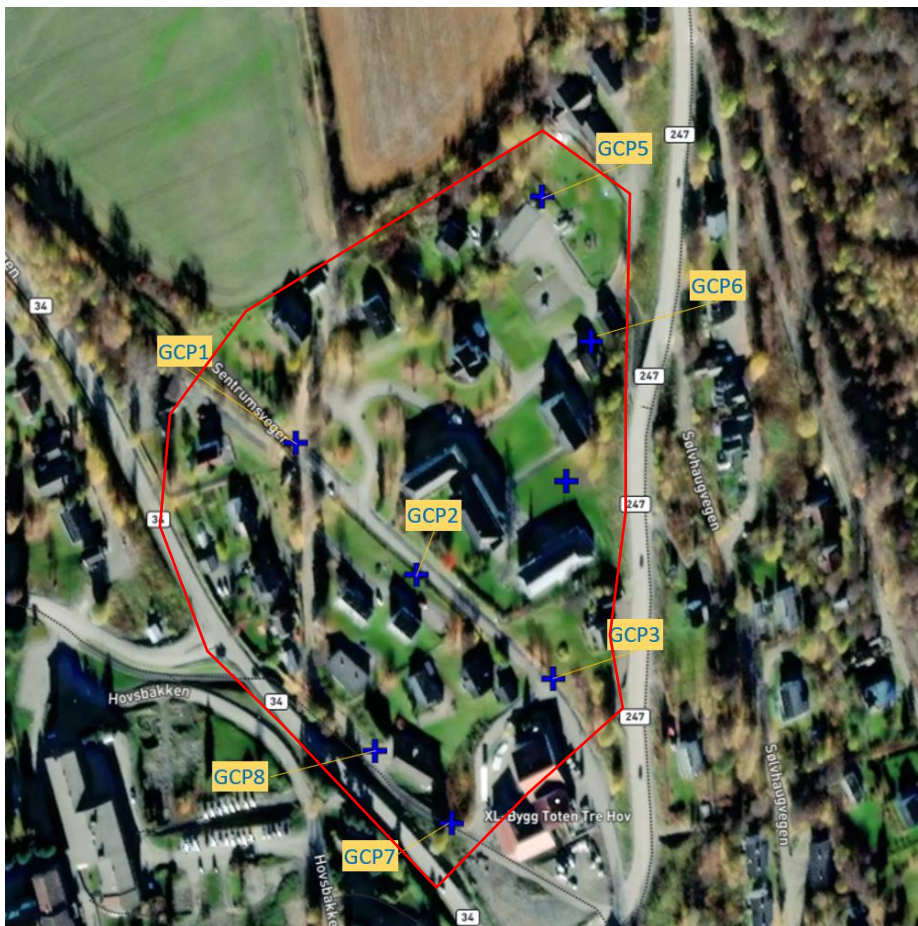
Bilde av bakkekontrollpunkt nummer 6. GCP kryss med 1 meters lengde. Asfaltspiker i midten for GNSS-målinger. Nummeret GCP'en ble sprayet ved siden av.

GCP'ene ble målt inn 3 ganger samme dag med omtrent 3 timers differanse mellom første og siste måling. Punktene er midlet etter aritmetisk middelværdimetoden vist i 2.7.2 og er vist i tabellen under. Tabellen viser GCP'ene sine koordinater og høyder. Verdiene er gjennomsnitt av 3 målinger.

Tabell 11 Posisjon GCP'er ved Hov

ID	Nord	Øst	Høyde
GCP1	6730523,652	573612,018	192,881
GCP2	6730461,642	573671,381	194,977
GCP3	6730413,063	573738,048	196,094
GCP4	6730507,907	573742,396	201,245
GCP5	6730644,126	573727,881	211,118
GCP6	6730575,113	573752,953	206,209
GCP7	6730342,733	573690,741	190,174
GCP8	6730376,751	573653,100	187,048

Punktene er plassert i randsonen av området som skal fotograferes med et punkt sentralt. Figur 28 viser posisjonen av GCP'ene med satellittbilde som bakgrunn. Den røde streken er området som er kartlagt. De blå kryssene er GCP'enes posisjon.



Figur 28 Plassering av GCP'er. Utklipp fra Pix4D hvor tekst og områdepolygon er lagt inn i PowerPoint.

6 Innmåling med totalstasjon

Nivellement hadde gitt den mest nøyaktige høyden, men tilgjengeligheten for å komme opp på tak, hvordan, samtidig som at tak kan ha variasjoner på flere centimeter gjør at den nøyaktigheten nivellementet gir vil forsvinne i hvor variert linjene i et tak varierer i høyde.

6.1 Målerapport Prost Bloms gate i Gjøvik

Det ble brukt 4 oppstillinger av totalstasjonen langs veien der dronen har fløyet. Oppstillingen baserte seg på GPS målinger på punkter på bakken. Punktene var i asfaltspiker og på egnede punkter på røret til kummer ved veien.

Lokasjon: Wergelands gate og Prost Bloms gate
Måles av: Kjersti Høyvik

Dato: 15. Mars 2021
Temperatur: 4-6 grader Celsius, Trykk: 1007-10 hPa, Luftfuktighet 50-60%

Dato: 16. Mars 2021
Temperatur: 0-3 grader Celsius, Trykk: 1019 hPa, Luftfuktighet 63-77%

6.1.1 Utstyr:

- Totalstasjon: Leica TCRP1203+R1000 nr:3986444
- Målebok til totalstasjon: CS15 Smartworx med Viva nr 3758139
- Trefots-stativ
- Prismestang med libelle og regulerbar høyde 1.3m til 2.15m
- Prisme type: Leica 400 gon
- GNSS RTK-rover: Leica GS08 antenne og CS10 målebok med Viva
- RTK-abonnement: HxGN SmartNet RTK innstilt på Msm i-MAX (GNSS) Ntrip er tilkoblingspunkt som benytter i-MAX RTCM 3.x data format (MSM4) (3.x) Dette er nettverks korreksjonsdata.
- Rover-stang: Leica med høydeinnstilling for 1,8 eller 2,0 meter.
- Asfaltspiker
- Spray

6.1.2 Innmåling oppstillingspunkter med GNSS

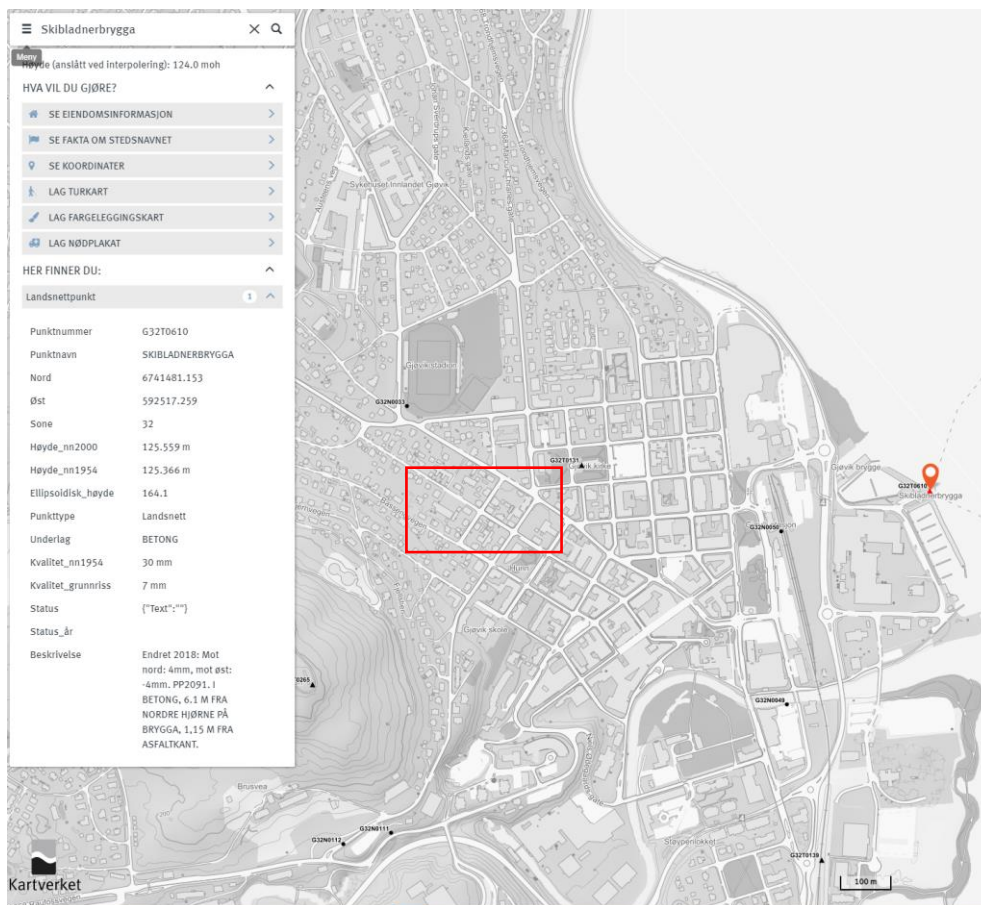
Det ble målt inn 4 punkter for oppstilling av totalstasjonen. Disse ble målt 3 ganger hver på forskjellig tidspunkt over et døgn og målt i referansesystemet NTM 10 og NN2000.

6.1.3 Kontrollmåling mot landsnettpunkt

Det ble også gjort en kontroll av GNSS-utstyret ved å måle til et landsnettpunkt på Skibladnerbrygga og til 2 av punktene brukt til TS-oppstilling og til 1 av punktene brukt som GCP for dronen. Disse punktene ble målt i UTM sone 32, da det var det som er oppgitt i informasjonen om punktet på Norgeskart, se tabell under.

Tabell 12 Kontroll av GNSS-utstyr mot landsnettpunkt

		Nord	Øst	OH
Landsnettpunkt	G32T0610	6741481,15	592517,259	125,559
Måling 1	G32T0610	6741481.139	592517.259	125.545
Måling 2	G32T06i2	6741481.136	592517.259	125.545
Måling GNSS 1	UTM32FM1	6741540.134	591589.677	159.395
Måling GNSS 2	UTM32FM2	6741527.841	591520.448	162.187
Måling GCP 5	UTM32GCP5	6741526.880	591520.572	162.199



Figur 29 Landsnettpunkt på Skibladnerbrygga. Prosjektområde er markert med rød firkant. Utklipp fra Norgeskart.

6.1.4 Utjevning fastmerker og ytre pålitelighet

Ved hjelp av Gemini oppmåling ble det gjort en utjevning på de 3 GNSS-punktene med 3 innmålinger. Oppsettet er satt opp for 3D-utjevning og det er satt opp med samme geoider fra kartverket som måleboka. Rapporten for utjevning ligger vedlagt.

En beregning av ytre pålitelighet gjøres også med deformasjon med at testnivå maksimalt skal være 0,05. All punktene blir godkjente innenfor valgt norm. Rapport vedlagt i vedlegg VII.

6.1.5 Oppstilling av totalstasjon

Det ble brukt 3 frioppstillinger av totalstasjonen i Wergelands gate og i Prost Bloms gate som målte til de 4 GNSS-punktene. Alle oppstillingene ble bare målt til 2 punkter da lengden mellom to og to av fastmerkene ble for lange med hensyn på god sikt. Sikten var stadig begrenset på grunn av trafikk og bilparkeringer. Det ble målt inn til prismet på prismestang med høyder imellom 1,3 meter og 2,15 meter til begge kikkertstillingene. Etter ferdig innmåling ble det målt tilbake til prismet over et eller to av GNSS-punktene, for egenkontroll ute i felten. Innmålingene til objekter ble gjort prismeløst.

6.1.6 Utjevning

Oppstillingene av totalstasjonen med observasjoner ble utjevnet i programmet Gemini Oppmåling etter at GNSS-punktene var blitt utjevnet, godkjent og satt som kjent. Rapport vedlagt i vedlegg VII.

6.2 Målerapport fra innmålinger i Hov

Det ble brukt 2 oppstillinger av totalstasjonen langs veien der dronen har fløyet. Oppstillingen baserte seg på GNSS målinger på punkter på bakken. Asfaltspiker og på egnede punkter på kummer ved veien.

Lokasjon: Dalegutua og Sentrumsvegen

Måles av: Kjersti Høyvik

Dato: 21. April 2021

Temperatur: 3-4 grader Celsius,

Trykk: 1005 hPa, Luftfuktighet 50-60% (Yr, 2021)

6.2.1 Utstyr:

- Totalstasjon: Leica TCRP1203+R1000
- Målebok til totalstasjon: CS15 Smartworx med Viva
- Trefots-stativ
- Prismestang med libelle og regulerbar høyde 1.3m til 2.15m
- Prisme type: Leica 400 gon
- GNSS RTK-rover: Leica GS08 antenne og CS10 målebok med Viva
- RTK-abonnement: HxGN SmartNet RTK innstilt på Msm i-MAX (GNSS) Ntrip er tilkoblingspunkt som benytter i-MAX RTCM 3.x data format (MSM4) (3.x) Dette er nettverks korreksjonsdata.
- Rover-stang: Leica med høydeinnstilling for 1,8 eller 2,0 meter.
- Asfaltspiker
- Spray

6.2.2 Innmåling oppstillingspunkter med GNSS

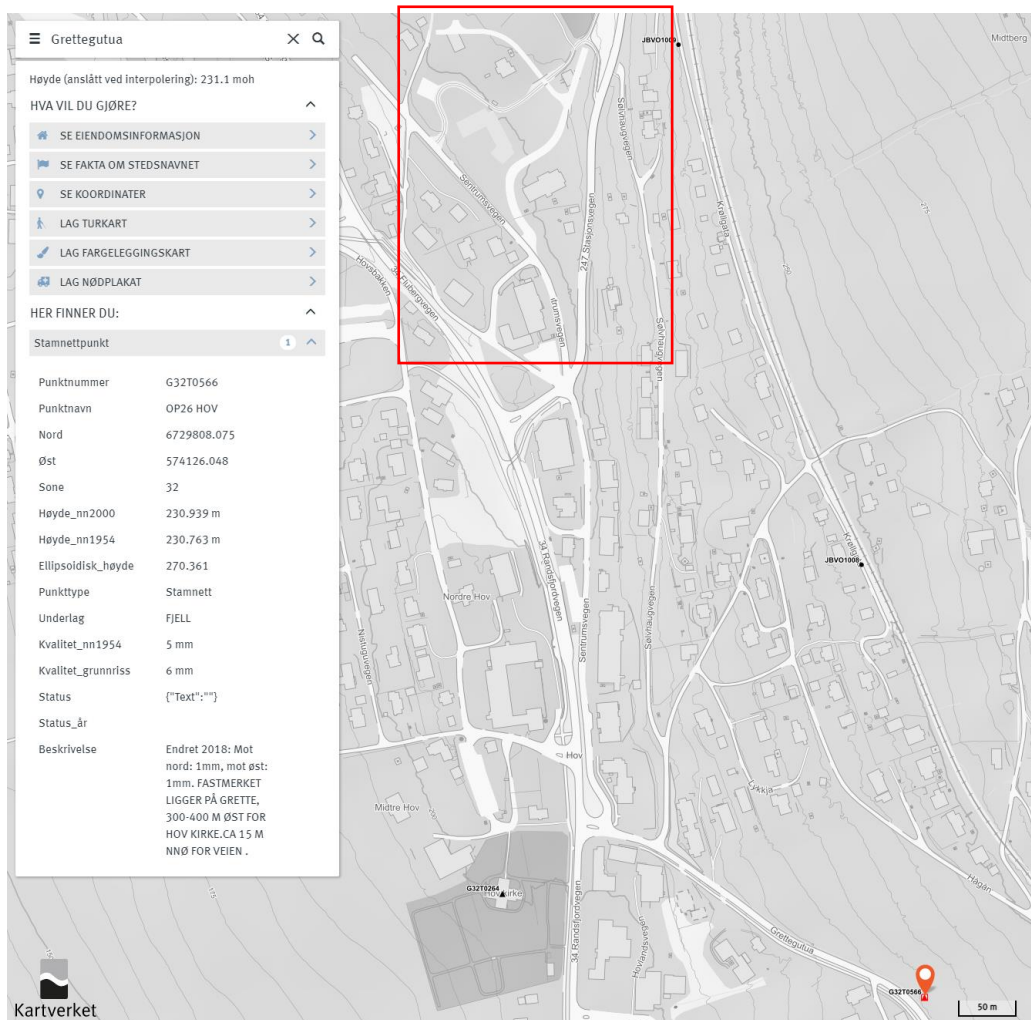
Det ble målt inn 3 punkter for oppstilling av totalstasjonen. Disse ble målt 3 ganger hver med over 45 minutters mellomrom. Disse ble målt i referansesystemet UTM 32 og NN2000.

6.2.3 Kontrollmåling mot stamnettpunkt

Det ble også gjort en kontroll av GNSS-utstyret ved å måle til et stamnettpunkt på ved Grette på Hov og rett etterpå måle til de 3 GNSS-punktene brukt til oppstilling av totalstasjonen. Disse punktene ble målt i UTM sone 32 og NN2000.

Tabell 13 Kontrollmålinger mot stamnettpunkt

Fastmerke:	Nord	Øst	OH
G32T0566	6729808,08	574126,048	230,939
3 GNSS-målinger rett etter hverandre:			
g32t566	6729808.078	574126.052	230.952
g32t5i2	6729808.077	574126.047	230.956
g32t5i3	6729808.073	574126.044	230.958



Figur 30 Stamnettpunkt på Grette. Prosjektområde er markert med rød firkant. Utklipp fra Norgeskart.

6.2.4 Utjevning GNSS-punkter og deres ytre pålitelighet

Ved hjelp av Gemini oppmåling gjøres det en utjevning på de 3 GNSS-punktene med 3 innmålinger. Oppsettet er satt opp for 3D-utjevning og det er satt opp med samme geoide fra kartverket som måleboka. Rapport vedlagt i vedlegg VIII.

En beregning av ytre pålitelighet gjøres også med deformasjon med at testnivå maksimalt skal være 0,05. All punktene blir godkjente innenfor valgt norm. Rapport vedlagt i vedlegg VIII.

6.2.5 Oppstilling av totalstasjon

Det ble brukt to frioppstillinger av totalstasjonen i Hov som målte til de 3 GNSS-punktene. Den ene oppstillingen ble bare målt til 2 punkter da en bil parkerte ugunstig for sikten. Det ble målt inn til prismet på prismestang med høyder imellom 1,3 meter og 2,0 meter til begge kikkertstillingene.

Innmålingene til objekter ble gjort prismeløst. Etter ferdig innmåling ble det målt tilbake til prismet over et eller to av GNSS-punktene, for egenkontroll ute i felten.

6.2.6 Utjevning

Oppstillingene av totalstasjonen med observasjoner ble utjevnet i programmet Gemini Oppmåling etter at GNSS-punktene var blitt utjevnet, godkjent og satt som kjent. Rapport ligger vedlagt.

7 Resultat

7.1 Høyder målt i punktsky i Gjøvik

Tabellen under viser gjennomsnittet av målingene på mønelinjene i punktskyen laget på dronebilder i prosjektet Prost Bloms gate i Gjøvik. Gjennomsnittlig standardavvik på målingene er 2,43 cm.

Tabell 14 Høydemålinger av mønelinjer i Gjøvik målt i punktsky.

HUS	Adresse	Øst	Nord	Høyde mønelinje OH meter	Antall punkt	Standardavvik i cm
1	Hunnsvegen 19	109910,937	1311766,964	168,472	24	1,33
2	Hunnsvegen 22	109873,725	1311758,086	172,184	43	3,56
3	Bakkegata 26	109770,523	1311728,95	173,496	22	3,67
4	Bakkegata 27	109822,895	1311745,604	170,940	39	1,14
5	Prost Bloms gate 3	109756,173	1311761,722	175,095	31	2,85
6	Prost Bloms gate 5	109726,118	1311777,68	174,919	32	2,20
7	Bakkegata 26	109983,725	1311789,938	164,527	26	2,89
8	Wergelands gate 12	109972,265	1311783,094	167,654	39	2,70
9	Wergelands gate 14D	109982,966	1311761,04	166,076	36	2,41
10	Wergelands gate 16	109937,801	1311758,937	167,660	29	1,53
				Gjennomsnitt:		2,4

7.2 Høyder målt med totalstasjon i Gjøvik

Tabellen under viser gjennomsnittet av målingene på mønelinjene med totalstasjon med et gjennomsnittlig standardavvik på 7 mm. 2 av mønelinjene hadde kun 1 måling på selve mønelinjen og har derfor ikke standardavvik.

Tabell 15 Høydemålinger av mønelinjer med totalstasjon i Gjøvik.

HUS	Adresse	Øst	Nord	Høyde mønelinje OH meter	Antall punkt	Standardavvik i cm
1	Hunnsvegen 19	109910,937	1311766,964	168,45	2	1,27
2	Hunnsvegen 22	109873,725	1311758,086	172,14	3	0,31
3	Bakkegata 26	109770,523	1311728,95	173,43	2	0,42
4	Bakkegata 27	109822,895	1311745,604	170,91	2	0,14
5	Prost Bloms gate 3	109756,173	1311761,722	175,05	3	0,96
6	Prost Bloms gate 5	109726,118	1311777,68	174,91	3	0,64
7	Bakkegata 26	109983,725	1311789,938	164,56	2	1,20
8	Wergelands gate 12	109972,265	1311783,094	167,70	3	0,87
9	Wergelands gate 14D	109982,966	1311761,04	166,12	1	-
10	Wergelands gate 16	109937,801	1311758,937	167,68	1	-
				Gjennomsnitt av 8:		0,7

7.3 Sammenligning målinger av mønehøyder i Gjøvik

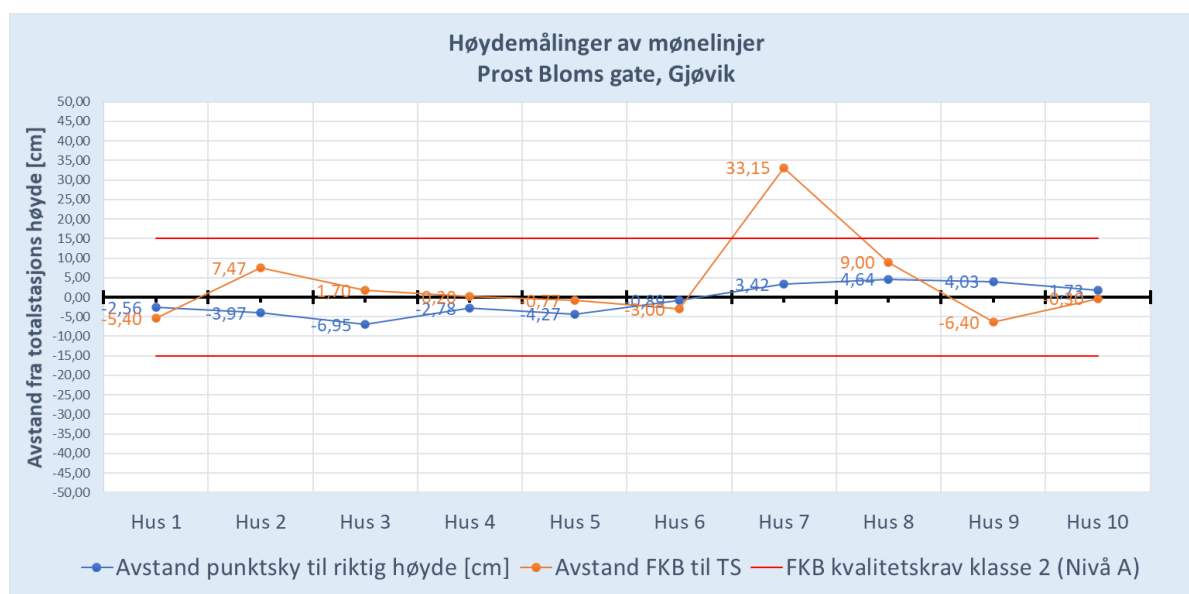
Resultatet av målingene av mønelinnehøyder i punktskyen er her målt mot målingene med totalstasjon. Høydene målt fra totalstasjon er satt som sanne verdier. Tabellen og figuren under viser denne sammenligningen sammen med høydene funnet for mønelinjer i FKB for samme bygninger.

Nøyaktighetskravet for FKB-mønelinjer i byområde er satt til 15 cm. Alle målingene i punktskyen består dette kravet. En høyde på en mønelinje i FKB består ikke det kravet og har ett avvik på 33,15 cm. Det gjennomsnittlige avviket for mønelinnehøyder i punktskyen er 3,52 cm. Mens det for mønelinnehøydene i FKB er 6,74 cm, inkludert høyden som ikke passerer kravet. Tar en bort den høyden blir gjennomsnittsavviket 3,80 cm.

Av de 10 målingene så er 60 % av punktskymålingene og 50 % av FKB-målingene under den sanne høyden.

Tabell 16 Differanse i høyder for mønelinjer i Gjøvik

HUS	Adresse	Sann høyde Totalstasjon [m]	Høyde Punktsky [m]	Høyde fra FKB [m]	Differanse punktsky til sann høyde [cm]	Absoluttverdi [cm]	Differanse FKB til sann høyde [cm]	Absoluttverdi [cm]
Hus 1	Hunnsvegen 19	168,45	168,47	168,5	-2,56	2,56	-5,40	5,40
Hus 2	Hunnsvegen 22	172,14	172,18	172,07	-3,97	3,97	7,47	7,47
Hus 3	Bakkegata 26	173,43	173,50	173,41	-6,95	6,95	1,70	1,70
Hus 4	Bakkegata 27	170,91	170,94	170,91	-2,78	2,78	0,20	0,20
Hus 5	Prost Bloms gate 3	175,05	175,10	175,06	-4,27	4,27	-0,77	0,77
Hus 6	Prost Bloms gate 5	174,91	174,92	174,94	-0,89	0,89	-3,00	3,00
Hus 7	Bakkegata 26	164,56	164,53	164,23	3,42	3,42	33,15	33,15
Hus 8	Wergelands gate 12	167,70	167,65	167,61	4,64	4,64	9,00	9,00
Hus 9	Wergelands gate 14 D	166,12	166,08	166,18	4,03	4,03	-6,40	6,40
Hus 10	Wergelands gate 16	167,68	167,66	167,68	1,73	1,73	-0,30	0,30
			Gjennomsnittlig avvik fra sann høyde			3,5		6,7
			Andel under sann høyde			60 %		50 %



Figur 31 Høydemålinger av mønelinjer i Gjøvik

7.4 Høyder målt i punktsky i Hov

Tabellen under viser gjennomsnittet av målingene på mønelinjene i punktskyen laget på dronebilder fra Hov. Gjennomsnittlig standardavvik på målingene er 3,66 cm.

Tabell 17 Høydemålinger av mønelinjer i punktsky fra Hov

HUS	Adresse	Øst	Nord	Høyde mønelinje OH meter	Antall punkt	Standardavvik i cm
1	Dalegutua 1	573671,74	6730373,66	194,56	17	4,01
2	Dalegutua 2	573609,67	6730438,83	194,57	26	3,57
3	Dalegutua 4	573599,26	6730462,66	194,64	22	4,52
4	Dalegutua 5	573635,13	6730414,71	193,50	23	2,93
5	Dalegutua 6	573589,27	6730487,60	193,20	18	3,99
6	Dalegutua 7	573665,39	6730440,48	201,49	25	3,76
7	Dalegutua 9	573646,44	6730445,86	197,99	27	3,30
8	Sentrumsvegen 19	573612,75	6730582,02	207,74	28	3,41
9	Sentrumsvegen 21	573653,00	6730584,14	208,79	28	3,29
10	Leiknyvegen 1	573740,91	6730472,10	209,01	55	3,81
				Gjennomsnitt:		3,7

7.5 Høyder målt med totalstasjon i Hov

Tabellen under viser gjennomsnittet av målingene på mønelinjene med totalstasjon med et gjennomsnittlig standardavvik på 1,0 cm. 2 av mønelinjene hadde kun 1 måling på selve mønelinjen og har derfor ikke noe standardavvik.

Tabell 18 Høydemålinger av mønelinjer med totalstasjon på Hov.

HUS	Adresse	Øst	Nord	Høyde mønelinje OH meter	Antall punkt	Standardavvik i cm
1	Dalegutua 1	573671,74	6730373,66	194,56	3	0,47
2	Dalegutua 2	573609,67	6730438,83	194,57	3	1,78
3	Dalegutua 4	573599,26	6730462,66	194,64	3	0,50
4	Dalegutua 5	573635,13	6730414,71	193,50	2	1,20
5	Dalegutua 6	573589,27	6730487,60	193,20	3	0,81
6	Dalegutua 7	573665,39	6730440,48	201,49	2	0,07
7	Dalegutua 9	573646,44	6730445,86	197,99	7	0,77
8	Sentrumsvegen 19	573612,75	6730582,02	207,74	2	1,51
9	Sentrumsvegen 21	573653,00	6730584,14	208,79	2	1,06
10	Leiknyvegen 1	573740,91	6730472,10	209,01	4	1,51
				Gjennomsnitt:		1,0

7.6 Høydesammenligning målinger i Hov

Resultatet av målingene av mønelinnehøyder i punktstyken er her målt mot målingene med totalstasjon. Høydene målt fra totalstasjon er satt som sanne verdier. Tabellen og figuren under viser denne sammenligningen sammen med høydene funnet for mønelinjer i FKB for samme bygninger.

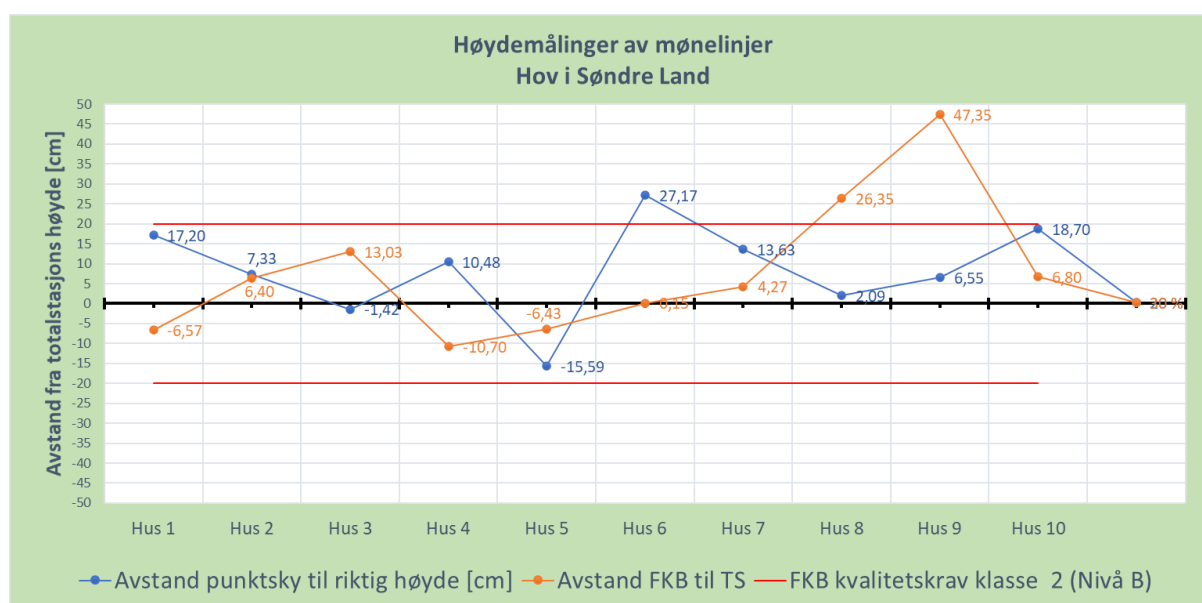
Grove feil

Nøyaktighetskravet for FKB-mønelinjer i tettbebygde områder er satt til 20 cm. 9 av 10 målte mønehøyder i punktstyken består dette kravet. Mens to høyder på en mønelinje i FKB består ikke det kravet. Det gjennomsnittlige avviket for mønelinnehøyder i punktstyken er 12,02 cm. Mens det for mønelinnehøydene i FKB er 12,81 cm.

Av de 10 målingene så er 20 % av punktstykmålingene og 30 % av FKB-målingene under den sanne høyden.

Tabell 19 Differanse i høyder for mønelinjer på Hov

HUS	Adresse	Sann høyde Totalstasjon [m]	Høyde Punktsky [m]	Høyde fra FKB [m]	Differanse punktsky til sann høyde [cm]	Absolutt-verdi [cm]	Differanse FKB til sann høyde [cm]	Absolutt-verdi [cm]
Hus 1	Dalegutua 1	194,39	194,56	194,32	17,20	17,20	-6,57	6,57
Hus 2	Dalegutua 2	194,50	194,57	194,56	7,33	7,33	6,40	6,40
Hus 3	Dalegutua 4	194,65	194,64	194,78	-1,42	1,42	13,03	13,03
Hus 4	Dalegutua 5	193,40	193,50	193,29	10,48	10,48	-10,70	10,70
Hus 5	Dalegutua 6	193,35	193,20	193,29	-15,59	15,59	-6,43	6,43
Hus 6	Dalegutua 7	201,22	201,49	201,22	27,17	27,17	0,15	0,15
Hus 7	Dalegutua 9	197,86	197,99	197,90	13,63	13,63	4,27	4,27
Hus 8	Sentrumsvegen 19	207,72	207,74	207,98	2,09	2,09	26,35	26,35
Hus 9	Sentrumsvegen 21	208,73	208,79	209,20	6,55	6,55	47,35	47,35
Hus 10	Leiknyvegen 1	208,83	209,01	208,90	18,70	18,70	6,80	6,80
			Gjennomsnittlig avvik fra sann høyde			12,0		12,8
			Andel under sann høyde			20 %		30 %



Figur 32 Høydemålinger av mønelinjer på Hov

8 Drøfting

8.1 Høyder fra dronefoto

Ett av målene i oppgaven var å undersøke om høyder funnet ved fotogrammetri fra dronefoto oppfyller kravene til FKB for kartlegging. Oppgaven har sett på 20 mønelinjer og sammenlignet høydene fra totalstasjon med høydene fra punktškya.

19 av 20 høyder er innenfor kravet om absolutt høydenøyaktighet for mønelinjer i Fotogrammetrisk registreringsinstruks FKB-Bygning 4.6.

8.2 Forskjeller i bildedatasettene

Gjennomsnittlig avvik på høydene fra punktškya fra Hov var på 12 cm og fra Gjøvik var den 3,5 cm. Dronebildene tatt med en enklere drone og uerfaren dronepilot var 4,3 ganger så langt unna den egentlige høyden som dronebildene fra Nordic Unmanned, som er en profesjonell aktør på dette.

80 % av målingene fra Hov ligger over den egentlige høyden og indikerer at avvikene kan være systematiske. Videre drøfting av dette er fordelt på de neste underkapitlene.

8.2.1 Overlapp for bildedatasettet fra Hov

Bildesettet fra Hov har 71 % sideoverlapp og 87% frontoverlapp. Dette ligger godt over anbefalte verdier. God overlapp er essensielt for likningsløsningene for å beregne de indre parameterne av kameraet.

8.2.2 GCP'er for bildedatasettet fra Hov

For det ene bildedatasettet kom det varslere på mye restfeil i høyde ved første gjennomkjøring av fotogrammetrien. Noen av bakkekontrollpunktene ble derfor testet som kontrollpunkt i stedet. Dette forbedret kvaliteten på høydemålingene med 15-20 cm. For å få riktig georeferert plassering og mulighet for kvalitetskontroll med kontrollpunkter bør det brukes mer enn 5 bakkekontrollpunkter, ettersom 5 GCP'er er minimum. Dette gir rom for å teste for feil med å gjøre noen av bakkekontrollpunktene om til kontrollpunkt.

8.2.3 Lukketid på kamera for bildedatasettet fra Hov

Noen av innstillingene på kameraene både for Gjøvik og Hov er listet opp under i Tabell 20. Hvor lukketiden er den som har størst variasjon på kamerainnstillingene.

Tabell 20 Sammenligning kamerainnstillinger

	Kamera på Gjøvik	Kamera på Hov
Fokallengde	15 mm	4,5 mm
Oppløsning	7952x5305 piksler	4056x3040 piksler
Synsfelt	100,4 grader	73,7 grader
ISO-tall	500	150
Lukketid	1/800 sekund	1/30 sekund
Blenderåpning	4,5	2,8

1/30 dels sekund er en lukketid som er vanlig når man har god støtte til kameraet ved statiske bilder og med dårlige lysforhold. Denne feilen ble oppdaget rett etter droneflygingen var ferdig. ISO-tallet som er brukt er lavt og kunne vært satt mye høyere for å kunne fått en mye kortere lukketid.

Det er anbefalt å ha en sammenstilling av lukketid og flyhastighet som gir en forflytning i bildet mindre enn 0,5 piksel. Dette er viktig for å få en god fotogrammetriberegning. For mye bevegelse i bildet vil gi store utslag i beregninger av posisjoner og de indre kameraparameterne. Det ble regnet ut at settet på Hov, med så lang lukketid, lå på 5,4 piksler. Dette er over 10 ganger mer enn anbefalt. Settet fra Gjøvik hadde 0,42 piksel i forflytning mens bildene ble tatt.

8.3 Høyder av mønelinje i FKB-bygning

Et av målene i oppgaven var å undersøke om høyder i FKB-bygning tilfredsstiller kravene til FKB for kartlegging. Oppgaven har sett på 20 mønelinjer og sammenlignet høydene fra totalstasjon og høydene i FKB. 3 av 20 høyder funnet er utenfor FKB-kravet. Disse avvikene er i snitt 80 % større enn det absolutte nøyaktighetskravet, hvor to av avvikene er hhv. 2,4 og 2,2 ganger unna kravet. Gjennomsnittlig avvik for FKB er 6,74 cm på Gjøvik og 12,81 cm på Hov.

Resterende 17 målinger er innenfor det kravet om absolutt høydenøyaktighet for mønelinjer i Fotogrammetrisk registreringsinstruks FKB-Bygning 4.6.

8.4 Kartlegging med drone for FKB

Begge bildedatasettene tatt av droner viser bedre nøyaktighet enn FKB-bygning sine eksisterende høyder på mønelinjer. Settet på Hov er kun litt bedre med 12 cm gjennomsnittsavvik mot FKB sine 12,8 cm i gjennomsnittsavvik. Mens bildedatasettet fra Gjøvik er nesten 2 ganger mere nøyaktig med 3,5 cm gjennomsnittsavvik mot FKB sine 6,8 cm i gjennomsnittsavvik.

Bildedatasettet fra Hov har preget fotogrammetriprosessen på grunn av slør i bildene, fra lang lukketid. Allikevel gir målingene herfra et bedre resultat enn eksisterende verdier hos FKB.

8.4.1 Identifisering av objekter

Objekttypene for mønelinje og takkant i Fotogrammetrisk registreringsinstruks for FKB-bygning har en noe uklar beskrivelse av hvordan de skal stedfestes. Et eksempel er objekttypen takkant, hvor grunnriss-plasseringen skal være ytterste del av alt inkludert takrenner mens takkantens høyde skal være fra nederste del av takplanet. Disse formuleringene bør presiseres ytterligere, slik at identifiseringen og plasseringen vil være mer konform når flere aktører går inn og skal tolke denne formuleringen for eksempelvis av objekttypen «takkant».

Som landmåler som etterkontrollerte høydene med totalstasjon i denne oppgaven ga disse formuleringene stor usikkerhet på hva som egentlig skulle måles inn. Det å skulle tolke dette i en punktsky ga en enda større usikkerhet.

Derfor ble det i denne oppgaven valgt å kun se på mønehøyder. Hvor det ble målt inn på mønet og ikke i ytterkant hvor det kunne være større forhøyning til vindski og blekkanter.

Metoden for å identifisere mønelinjer i punktsky manuelt ble utviklet underveis i oppgaven. Den presenterte metoden, å lage først ei linje i 3D og så velge punkt som lå helt inntil den linja i grunnriss i 2D var fullt gjennomførbart for de 20 mønelinjene som var valgt ut og gikk relativt effektivt. Metoden antok at posisjonene i grunnriss stemte. For større utvalg måleobjekter vil det vært hensiktsmessig å ha en søk-funksjon for punkter som ligger ved ei linje, i stedet for her å trykke manuelt på alle utvalgte punkter.

8.5 Høyder målt med totalstasjon

Mønelinjene er ikke alltid en rett linje, og ikke horisontale og i vater. Gjennomsnittlig standardavvik på målingene var under 1 cm. Differansen fra laveste til høyeste måling over ei mønelinje på høyeste punkt på et av hustakene var 4 cm. Metodevalget med GNSS-innmåling av punkter på bakken som totalstasjonen brukte til frioppstilling har derfor vært tilstrekkelig.

8.6 Målgruppe

For målgruppen av aktører i byggebransjen og byggesakskontor i kommunen er nok noen centimeter avvik i planleggingsunderlaget til å leve med. Det er fra 10 cm feil i høydeplassing at det kan bli etterspill i tettbebygde områder. Hvis store avvik, over 10cm, kan unngås vil dette gjøre FKB til et enda bedre verktøy for aktørene innen byggebransjen.

8.6.1 FNs bærekraftsmål



Figur 33 FNs bærekraftsmål

Geovekst har som hovedmål «Samarbeid om å sikre oppdaterte Geovekst-data for å bidra til å løse deler av partenes samfunnsoppdrag». Dette samarbeidet har en samfinansiering for innsamling av Geovekst-data. Hvis kartlegging med drone kan gjøres for spesifiserte områder med mindre kostnader og ressurser, så vil det bidra til et mere ansvarlig forbruk og

produksjon. Retning mot bærekraftmål 12.7) Fremme bærekraftige ordninger for offentlige anskaffelser, i samsvar med de enkelte landenes politikk og prioriteringer (FN, 2021).

Om arbeidet bidrar til at kvaliteten på FKB blir bedre vil det kanskje forhindre unødvendig arbeid med feil som har blitt gjort i prosjektering av hus. Da kunne det ha vært unngått og fjernet for mye masse fra tomt, tilføre masser på tomt og mindre fyllmasse i form av produserte steinmaterialer. Drivstoff-forbruk på lastebiltransport, gravemaskin og maskiner på grustak vil kunne gå ned. Husbygging vil ha startet med beste høydeplassering slik at kostnader med for mye masseforflytning og oppfølging av klagesaker hvis huset skal bli bygget ferdig på feil høyde. Retning mot bærekraftmål 12.2) Innen 2030 oppnå bærekraftig forvaltning og effektiv bruk av naturressurser (FN, 2021).

9 Konklusjoner

Resultatene funnet i denne oppgaven viser at kartlegging ved hjelp av droner er mere nøyaktig på høyder enn eksisterende FKB. 95 % av målingene var innenfor den absolutte høydenøyaktighet FKB krever. Trass i at den ene framgangsmåten hadde for lang lukketid på dronekameraet, ga også dette bedre gjennomsnittlig avvik enn FKB sitt eksisterende kartgrunnlag.

85 % av høydene fra FKB var innenfor absolutt høydenøyaktighet. De høydene med for stort avvik hadde gjennomsnittlig høydedifferanse 1,8 ganger fra kravet. Dette viser at kartlegging med droner kan øke nøyaktigheten for FKB og gjøre kartgrunnlaget til et enda bedre verktøy for brukerne.

Det ble testet med to forskjellige framgangsmåter for dronefotografering:

1. Den ene framgangsmåten foregikk med en spesiallaget drone for kartlegging med erfaren dronepilot, og ga et bildedatasett og bakkekontrollpunkt som ga høydemålinger med gjennomsnittsavvik på 3,5 cm. Ut fra den variasjonen mønelinjehøyder har i virkeligheten, er dette et svært godt resultat.
2. Den andre framgangsmåten brukte kommersiell drone med uerfaren pilot. Det ble målt inn 8 bakkekontrollpunkt med GNSS-utstyr, og disse ble kontrollert mot nærmeste landsnettpunkt. Kontroll av fotogrammetriprosessen mot disse bakkekontrollpunktene sørget for en betraktelig forbedring av resultatet på høydemålingene. I fotogrammetri-prosessen ble kameraparameterne justert med 10,5 %, men allikevel var det litt stor restfeil i høyder i punktskyen. Den mest opplagte svakheten ved innhenting av dette bildedatasettet var valget av lukketid på kameraet. Bildene hadde slør med hele 5,5 ganger pikselstørrelsen, noe som gjør muligheten for gjenkjenning av punkt dårligere, og dermed beregning av punktets posisjon mer unøyaktig.

Forskjellene i punktskyene fra de to forskjellige bildedatasettene er mange. Men den tydeligste forskjellen er lukketidverdien ved bildetaking.

Resultatene fra denne oppgaven viser at det ved hjelp av droner er mulig å få gode bildedatasett, som oppfyller kravene til nøyaktighet, for kartlegging til FKB. Men det vil være nødvendig å ha gode instruksjoner for valg av kamerautstyr, kamera-innstillinger og flyplan. For å kunne sikre god georeferering bør det brukes mere enn 5 bakkekontrollpunkt for å ha mulighet til å sjekke kvalitet i fotogrammetrianalyser, hvor noen av bakkekontrollpunktene kan testes som kontrollpunkter.

10 Videre arbeid

Videreføring av dette arbeidet bør være å få laget en både grundig og anvendelig instruks for utføringen av kartlegging med drone. Denne trenger å inneholde tydelige spesifiseringer av krav til kamera, kamerainnstillinger, krav til GSD, bakkekontrollpunkter, hastigheter og overlapp. Det vil være viktig å involvere brukerne av denne instruksen tidlig, og la den bli testet av dronepiloter relativt uerfarne i kartlegging med de gode kommersielle dronene. Denne testingen vil bidra til å forstå hvor misforståelser eventuelt kan oppstå, og dermed forbedre instruksen for dette området. Det bør også lages veiledning om GCP'er ved dronetryggingen og hvor man gjør kontroll av GNSS-utstyr mot kjente fastmerker for å avdekke grove feil.

Beskrivelsen av objekttyper som er i FKB-bygning bør vurderes nærmere spesifisert, da objektene innehar stor variasjon, og beskrivelsen av dem gir rom for usikkerhet for hvor punkt og linjer for objekttypen skal fastsettes. En slik beskrivelse av objekttyper vil kunne sikre at jobben med manuelt å lage vektorlinjer og punkter i punktskyen etter fotogrammetriprosessen blir korrekt. Dette vil også være til hjelp for videre arbeid med automatisering av vektorlinjer og punkter til oppdatering av FKB, hvor treningsdata for maskinlæring skal lages.

Geovekst og Kartverket vil med dette få mulighet til å oppdatere kartene sine oftere, og til langt lavere kostnad.

Litteraturliste

- Bærum kommune. (2018). Maskinlæring for automatisk kartlegging av kommunale FKB og temadata basert på laser- og hyperspektrale data. [http://www.geovekst-kommune.no/wp-content/uploads/2019/09/Sak-19_19-RFF-prosjektbeskrivelseoffentlig_081018.pdf].
- Cali, M., & Ambu, R. (2018). Advanced 3D Photogrammetric Surface Reconstruction of Extensive Objects by UAV Camera Image Acquisition. *Sensors*, ss. 2018-08-26 Vol.18 (9), p.2815.
- Corrigan, F. (2020). Obstacle Avoidance Sensors. *DroneZone*.
<https://www.dronezon.com/learn-about-drones-quadcopters/top-drones-with-obstacle-detection-collision-avoidance-sensors-explained/>.
- Dick, Ø., Rød, J., & Mæhlum, L. (2021). *Geodetisk Datum*. Store Norske Leksikon: [https://snl.no/geodetisk_datum] .
- dji. (2021). Mavic 2 Enterprise Series. [<https://www.dji.com/no/mavic-2-enterprise/specs>].
- Fløttum, R. (2021). Flyhastighet, dronesnavn, flyhøyde for droneflyging 25.november 2020. *Telefonsamtale med student 10.05.2021 14:05*.
- FN. (2021). FNs bærekraftsmål. <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal>, nettside.
- Gemini Oppmåling. (2018). Om Oppmåling. <https://voluteinfrastructure.com/support/vei-infrastruktur/gemini-oppmaaling>: Volue.
- GeoNorge. (2021). Formater. <https://www.geonorge.no/aktuelt/om-geonorge/brukerveiledning/#Formater>.
- GeoNorge. (2021). Geovekst-samarbeidet, hva og hvorfor? *Norge digitalt*.
<https://vimeo.com/526108342>.
- Geovekst. (2020). *Fotogrammetrisk registreringsinstruks for FKB-Bygning 1.2*. Veileder: Kartverket.
- Gomarasca, M. A. (2009). *Basics of Geomatics* (2. utg.). Bok: National Research Council of Italy, Institute for the Electromagnetic Sensing of the Environment.
- Harvey, P. (2021). ExifTool. <https://exiftool.org/>.
- KartAI-prosjektet. (2021). Millionstøtte til KartAI-prosjekt fra Regionale forskningsfond Agder. *Kartverket*. <https://www.kartverket.no/om-kartverket/nyheter/alle/2021/januar/millionstotte-til-kartai-prosjekt>.
- Kartverket. (2013). SOSI Del 3 Produktspesifikasjon for FKB – Bygning versjon 4.02.
- Kartverket. (2017). Rapport Testprosjekt konstruksjon FKB-A/B. Nedre Romerike: Geovekstforum.
- Kartverket. (2019). Veileder for kommunal ajourføring av bygningsinformasjon.
- Kartverket. (2021). Få veiledning om CPOS. <https://www.kartverket.no/til-lands/posisjon/hva-er-cpos>.
- Kartverket. (2021). Ta i bruk NN2000. <https://www.kartverket.no/til-lands/posisjon/ta-i-bruk-nn2000>: Kartverket.
- Kartverket. (2021a). Kva kartverket gjer. <https://www.kartverket.no/om-kartverket/kva-kartverket-gjer>.
- Kartverket. (2021b). Geovekst. <https://www.kartverket.no/geodataarbeid/geovekst>.
- Kartverket. (2021c). Forvaltning, drift og vedlikehold av kartdata.
<https://www.kartverket.no/geodataarbeid/forvaltning-drift-og-vedlikehold>.

- Linder, W. (2016). *Digital Photogrammetry - A Practical Course* (Fourth Edition. utg.). Geographisches Institut, Universität Düsseldorf, Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Luftfartstilsynet. (2021). Overgangsordningen. <https://luftfartstilsynet.no/droner/nytt-eu-regelverk/overgangsordningen/>.
- Mæhlum, L. (2015). Fastmerke. *Store Norske Leksikon*. [<https://snl.no/fastmerke>].
- Mæhlum, L. (2020). NN2000. *Store Norske Leksikon*. <https://snl.no/NN2000>.
- Mæhlum, L. (2020). Utjevning, geodesi. *Store norske leksikon*. https://snl.no/utjevning_-_geodesi.
- Nordic Unmanned. (2019). 19 137847 Fv. 132 Prost Bloms gate i Gjøvik kommune. Prosjektrapport for Statens Vegvesen, region øst.
- Norsk Lovtidend. (2021). Forskrift om luftfart med ubemannet luftfartøy i åpen- og i spesifikk kategori. <https://lovdata.no/static/lovtidend/ltavd1/2020/sf-20201125-2460.pdf>: Norsk Lovtidend.
- O'Connor, J., Smith, M., & James, M. R. (2017, 06). Cameras and settings for aerial surveys in the geosciences: Optimising image data. *Progress in physical geography*.
- Oveland, I. (2021). Samtale om bruk av drone for kartlegging. Videomøte: 19.01.2021 9:00.
- Photocounter. (2021). Sensor size list. <https://www.photocounter.com.au/wp-content/uploads/2013/01/sensor-size-table.pdf>.
- Pix4D. (2018). Ground sampling distance (GSD) in photogrammetry. <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202559809-Ground-sampling-distance-GSD-in-photogrammetry>.
- Pix4D. (2021). Initial Processing Calibration. <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/205327965-Menu-Process-Processing-Options-1-Initial-Processing-Calibration:PIX4D>.
- Pix4D. (2021). Pix4Dmapper. <https://www.pix4d.com/de/produkt/pix4dmapper-photogrammetrie-software>.
- Pix4D. (2021). What is the relative and absolute accuracy of drone mapping. [<https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202558889-What-is-the-relative-and-absolute-accuracy-of-drone-mapping>].
- Reed, K. (1982). *Tilleggsutdanning i landmåling*. Gjøvik, Bokutgivelse: Universitetsforlaget.
- Siebert, S., & Teizer, J. (2014). Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system. Kirchheim, Tyskland: Elsevier.
- Sieberth, T., Wackrow, R., & Chandler, J. H. (2014). Motion blur disturbs - the influence of motion-blurred images in photogrammetry. *Photogrammetric record*, ss. 2014-12, Vol.29 (148), p.434-453.
- Skogseth, T., & Norberg, D. (2014). *Grunnleggende landmåling* (3. utgave 2014 2. opplag. utg.). Trondheim/Gjøvik, Bok: Gyldenda Norsk Forlag AS 2014.
- Sony. (2021). Sony ILCE-7RM2. <https://www.sony.no/electronics/kameraer-med-utskiftbare-objektiver/ilce-7rm2/specifications>.
- SOSI. (2013). *FKB-Bygning 4.6*. Kartverket: Geovekst SOSI Produktspesifikasjon.
- Statens kartverk Geodesi. (2009). Grunnlagsnett. versjon 1.1: Statens kartverk Geodesi.
- Topometrics. (2021). CAMFLIGHT FX8HL. <https://www.topometrics.no/teknologi>.
- Topometrics by Nordic Unmanned AS. (2020). FoU-prosjekt, laserskanning med drone. Sandnes, Rapport: Geovekstforum.
- Urke, T. (2020). *Dronefotogrammetri I*. Kompendie, Gjøvik: NTNU, Institutt for vareproduksjon og byggteknikk.

- Volue. (2021). Gemini Terreng. <https://vloeinfrastructure.com/construction/gemini-terreng>.
- Wanninger, L. (2004). Introduction to Network RTK. Dresden: TU Dresden.
- Xuan-Mung, N., & Hong, S.-K. (2019, April 25). Improved Altitude Control Algorithm for Quadcopter. *applied science*, s. Artikkel i et tidsskrift.
- Yao, H., Qin, R., & Chen, X. (2019, 11 <https://www.mdpi.com/2072-4292/11/12/1443>},). Unmanned Aerial Vehicle for Remote Sensing Applications—A Review. *Remote Sensing*, s. Artikkel i tidsskrift.
- Yr. (2021). Detaljer Vær Hov i Søndre Land. Hov, <https://www.yr.no/nb/detaljer/tabell/1-2263482/Norge/Innlandet/S%C3%B8ndre%20Land/Hov>.

Vedlegg

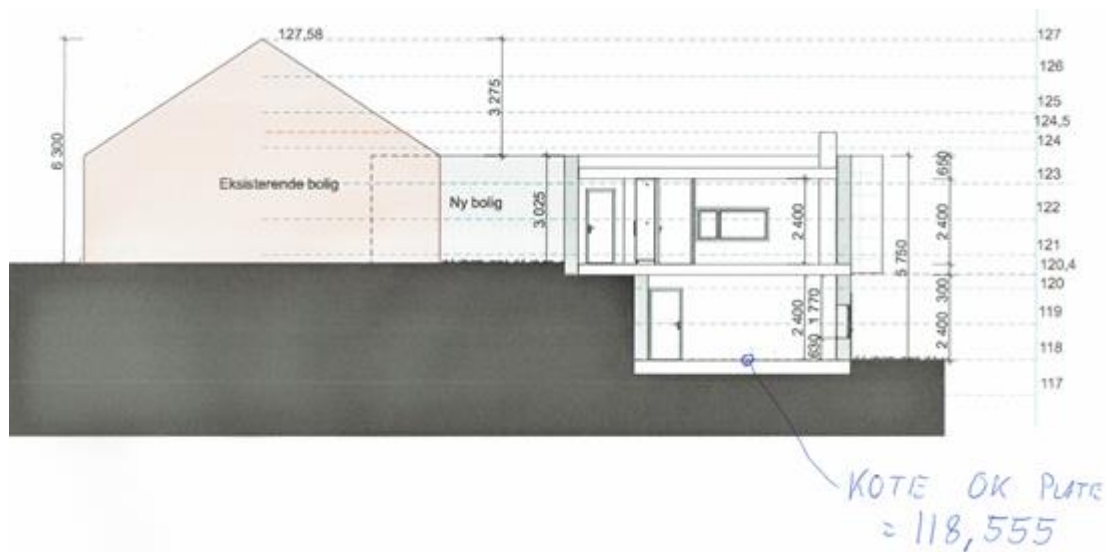
Vedlegg I	Eksempel på utfordringer med avvik på høyder i FKB
Vedlegg II	Eksempel på avvik på høyder i FK
Vedlegg III	Metadata fra dronebilde fra Gjøvik
Vedlegg IV	Metadata fra dronebilde fra Hov
Vedlegg V	Kvalitetsrapport fra Pix4D for fotogrammetrien for Gjøvik-settet
Vedlegg VI	Kvalitetsrapport fra Pix4D for fotogrammetrien for Hov-settet
Vedlegg VII	Rapporter fra Gemini Oppmåling: Utjevning og ytrepålitelighet GNSS-punkter og totalstasjon for Gjøvik
Vedlegg VIII	Rapporter fra Gemini Oppmåling: Utjevning og ytrepålitelighet GNSS-punkter og totalstasjon for Hov

Vedlegg I Eksempel på utfordringer med avvik på høyder i FKB

Eksempel fra et prosjekt i mars 2020 hos Nidaros Oppmåling AS. Utbygger har kjøpt et ferdig prosjektert hus i fra en adskilt eiendom i Trondheim. Huset skal inn i et skrånende terreng. Nidaros Oppmåling hadde ansvar for utførende utstikking på boligen. Det ble gravd ut mye masser for å komme ned til kota under golv.

Ved utstikking ble det observert at tiltaket ville komme ganske lavt i forhold til eksisterende terreng. Det ble derfor avtalt å ta mål av eksisterende boligs høyde ved møne og takkant. Møne ble målt til 127,80 m. Det er 22 cm høyere enn den høyden oppgitt i prosjekt- underlaget. Høyden 127.58 meter for møne og takkant er ifølge prosjekterende arkitekt tatt fra kartunderlag basert på FKB.

Utbygger ønsket deretter å heve koten for tiltaket. Det ble sendt en forespørsel til kommunen basert på målingene fra Nidaros Oppmåling om å heve koten for huset med 22 cm. Dette ble godkjent. Tiltakshaver fikk ekstra kostander for at det ble tatt ut for masse før koteendringen kom måtte fylles igjen med tilbragt masse.



Vedlegg II Eksempel på avvik på høyder i FKB



Trondheim kommune

Trondheim 29.05.2020

Høydeanvisning [redacted] svei 9

Deres ref: BYGG-20/[redacted]

Vi mottok byggetillatelse for oppføring av ny enebolig i [redacted] svei 9 den 08.05.2020.

Ved påvisning i marken ser man at det faktiske terrenget ikke harmonerer med kartet.

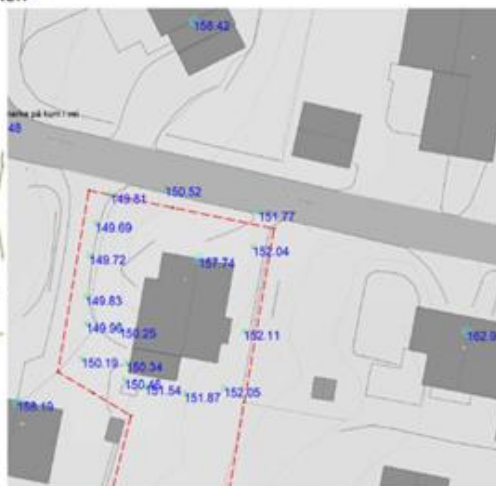
Påfølgende gjennomgang av kartgrunnlagene viser at kartet som ble benyttet ved byggesøknad, i sin helhet, ligger lavere enn faktisk terreng. Se sammenstilling nedenfor.

PKT	Beskrivelse	Byggesøknadens kart	Målt høyde	Differanse
1	Adkomstveg	149,44	149,69	-0,25
2	Adkomstveg	149,46	149,83	-0,37
3	Mønehøyde nabo i sørvest	157,88	158,19	-0,31
4	Mønehøyde nabo i øst	162,53	162,90	-0,37
5	Mønehøyde nabo i vest	158,10	158,42	-0,32

Tabell1: Sammenstilling kartgrunnlag og påvisning i marken



Utklipp 1: Kartgrunnlag byggesøknad



Utklipp 2: Påvisning i marken

Med bakgrunn i overstående sammenstilling, flyttes derfor kotehøyde for OK gulv i sokkel fra kote 149,8moh til kote 150,15moh uten at forholdet mellom nytt bygg og nabobebyggelse/terreng endrer seg, sammenlignet med tegningsgrunnlaget ved byggesøknad og nabovarsel.

Oppdatert terrengsnitt med riktig kotehøyder følger som vedlegg.

Mvh MesterKonsult AS

Stian Ervik

Vedlegg III Metadata fra dronebilde fra Gjøvik

File Name : _DSC0472.JPG
File Size : 10 MiB
File Modification Date/Time : 2019:08:12 09:18:42+02:00
File Type Extension : jpg
MIME Type : image/jpeg
Exif Byte Order : Little-endian (Intel, II)
Make : SONY
Camera Model Name : ILCE-7RM2
Orientation : Horizontal (normal)
X Resolution : 350
Y Resolution : 350
Resolution Unit : inches
Software : Image Data Converter
Modify Date : 2019:08:01 17:36:00
Y Cb Cr Positioning : Co-sited
Exposure Time : 1/800
F Number : 5.6
Exposure Program : Shutter speed priority AE
ISO : 500
Exif Version : 0230
Date/Time Original : 1980:01:05 23:59:42.000-00:00
Create Date : 2015:01:01 01:47:27
Components Configuration : Y, Cb, Cr, -
Compressed Bits Per Pixel : 8
Brightness Value : 7.5640625
Exposure Compensation : 0
Max Aperture Value : 4.5
Metering Mode : Multi-segment
Light Source : Unknown
Flash : Off, Did not fire
Focal Length : 15.0 mm
Min Focal Length : 0.0 mm
Max Focal Length : 10.1 mm
Sony ISO : 6553600
Distortion Corr Params : -12080 -12080 -12080 -12080 -12201 -3085 -12080 21712 -12080 -12080 -12336 -12336 -12080 -12080 -12336 -12080
Shutter : Silent / Electronic (0 0 0)
Flash Status : Unknown (1)
Shutter Count : 65537
File Format : ARW 2.3.1
Sony Model ID : ILCE-7RM2Exif Image Width : 7952
Exif Image Height : 5304
Interoperability Index : R98 - DCF basic file (sRGB)
Focal Length In 35mm Format : 15 mm
Gamma : 2.2
MP Image Length : 765595
MP Image Start : 10003581
Image Width : 7952
Image Height : 5304Bits Per Sample : 8
Color Components : 3Aperture : 5.6
Image Size : 7952x5304
Lens ID : Voigtlander SUPER WIDE-HELIAR 15mm F4.5 III
Megapixels : 42.2
Scale Factor To 35 mm Equivalent: 1.0
Shutter Speed : 1/800
Thumbnail Image : (Binary data 6629 bytes, use -b option to extract)
GPS Altitude : 324 m Above Sea Level
GPS Latitude : 60 deg 48' 11.66" N
GPS Longitude : 10 deg 39' 51.25" E
Preview Image : (Binary data 765595 bytes, use -b option to extract)
Circle Of Confusion : 0.030 mm
Field Of View : 100.4 deg
Focal Length : 15.0 mm (35 mm equivalent: 15.0 mm)
GPS Position : 60 deg 48' 11.66" N, 10 deg 39' 51.25" E
Hyperfocal Distance : 1.34 m
Light Value : 12.3

Vedlegg IV Metadata fra dronebilde fra Hov

ExifTool Version Number : 12.25
File Name : DJI_0583.JPG
File Size : 5.5 MiB
File Modification Date/Time : 2020:11:25 11:06:20+01:00
File Type Extension : jpg
MIME Type : image/jpeg
Exif Byte Order : Little-endian (Intel, II)
Make : DJI
Camera Model Name : FC2403
Orientation : Horizontal (normal)
Samples Per Pixel : 3
X Resolution : 72
Y Resolution : 72
Resolution Unit : inches
Software : 10.00.08.43
Modify Date : 2020:11:25 11:06:20
Y Cb Cr Positioning : Centered
Exposure Time : 1/30
F Number : 2.8
Exposure Program : Program AE
ISO : 160
Exif Version : 0230
Date/Time Original : 2020:11:25 11:06:20
Create Date : 2020:11:25 11:06:20
Components Configuration : Y, Cb, Cr, -
Exposure Compensation : +0.3
Max Aperture Value : 2.8
Metering Mode : Center-weighted average
Light Source : Daylight
Flash : No Flash
Focal Length : 4.5 mm
Warning : [minor] Bad MakerNotes directory
Flashpix Version : 0100
Color Space : sRGB
Exif Image Width : 4056
Exif Image Height : 3040
Interoperability Index : R98 - DCF basic file (sRGB)
Interoperability Version : 0100
File Source : Digital Camera
Scene Type : Directly photographed
Exposure Mode : Auto
White Balance : Auto
Digital Zoom Ratio : 1
Focal Length In 35mm Format : 24 mm
Scene Capture Type : Standard
Absolute Altitude : +246.92
Relative Altitude : +40.00
Gimbal Roll Degree : +0.00
Gimbal Yaw Degree : +158.50
Gimbal Pitch Degree : -89.90
Flight Roll Degree : +3.90
Flight Yaw Degree : +159.50
Flight Pitch Degree : -13.00
MP Image Length : 677508
MP Image Start : 5056912
Image Width : 4056
Image Height : 3040
Bits Per Sample : 8
Color Components : 3
Y Cb Cr Sub Sampling : YCbCr4:2:0 (2 2)
Aperture : 2.8
Image Size : 4056x3040
Megapixels : 12.3
Scale Factor To 35 mm Equivalent: 5.3
Shutter Speed : 1/30
Thumbnail Image : (Binary data 26721 bytes, use -b option to extract)
GPS Altitude : 246 m Above Sea Level
GPS Latitude : 60 deg 42' 7.29" N
GPS Longitude : 10 deg 21' 1.94" E
Preview Image : (Binary data 677508 bytes, use -b option to extract)
Circle Of Confusion : 0.006 mm
Field Of View : 73.7 deg
Focal Length : 4.5 mm (35 mm equivalent: 24.0 mm)
GPS Position : 60 deg 42' 7.29" N, 10 deg 21' 1.94" E
Hyperfocal Distance : 1.28 m
Light Value : 7.2

Vedlegg V Kvalitetsrapport fra Pix4D for fotogrammetrien for
Gjøvik-settet

Quality Report



Generated with Pix4Dmapper version 4.6.4



Important: Click on the different icons for:



Help to analyze the results in the Quality Report



Additional information about the sections



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

Summary



Project	prostblomoversikt3
Processed	2021-04-20 12:19:20
Camera Model Name(s)	ILCE-7RM2_15.0_7952x5304 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	1.52 cm / 0.60 in
Area Covered	0.348 km ² / 34.7686 ha / 0.13 sq. mi. / 85.9596 acres
Time for Initial Processing (without report)	23m:47s

Quality Check



Images	median of 30323 keypoints per image	
Dataset	496 out of 496 images calibrated (100%), all images enabled	
Camera Optimization	0.19% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
Matching	median of 11783.1 matches per calibrated image	
Georeferencing	yes, 5 GCPs (5 3D), mean RMS error = 0.001 m	

Preview

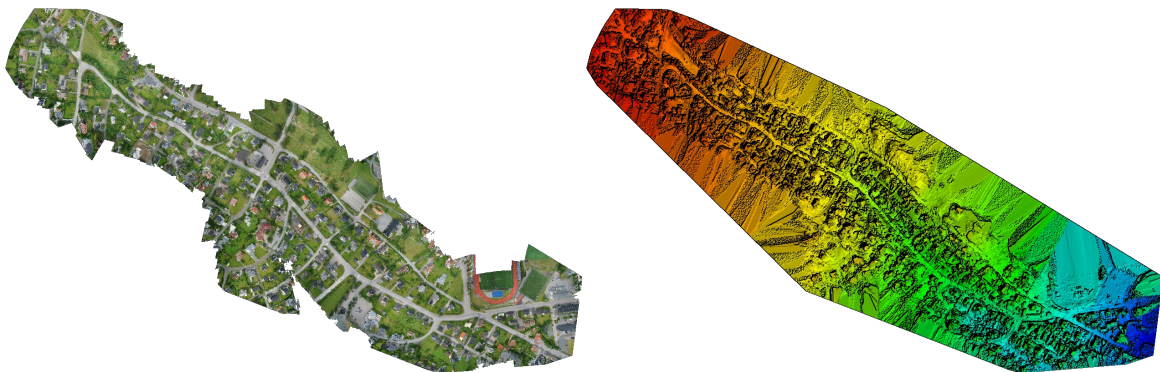


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details



Number of Calibrated Images	496 out of 496
Number of Geolocated Images	496 out of 496

Initial Image Positions



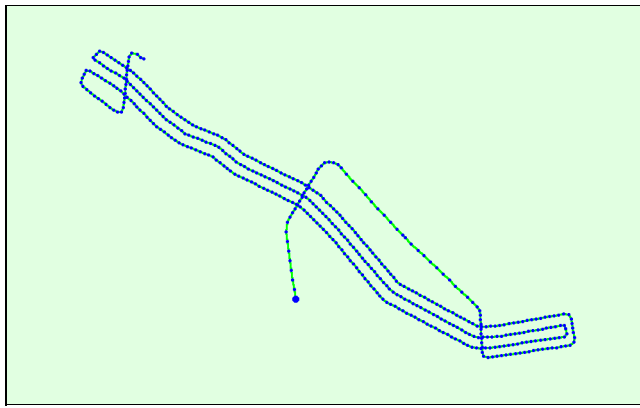
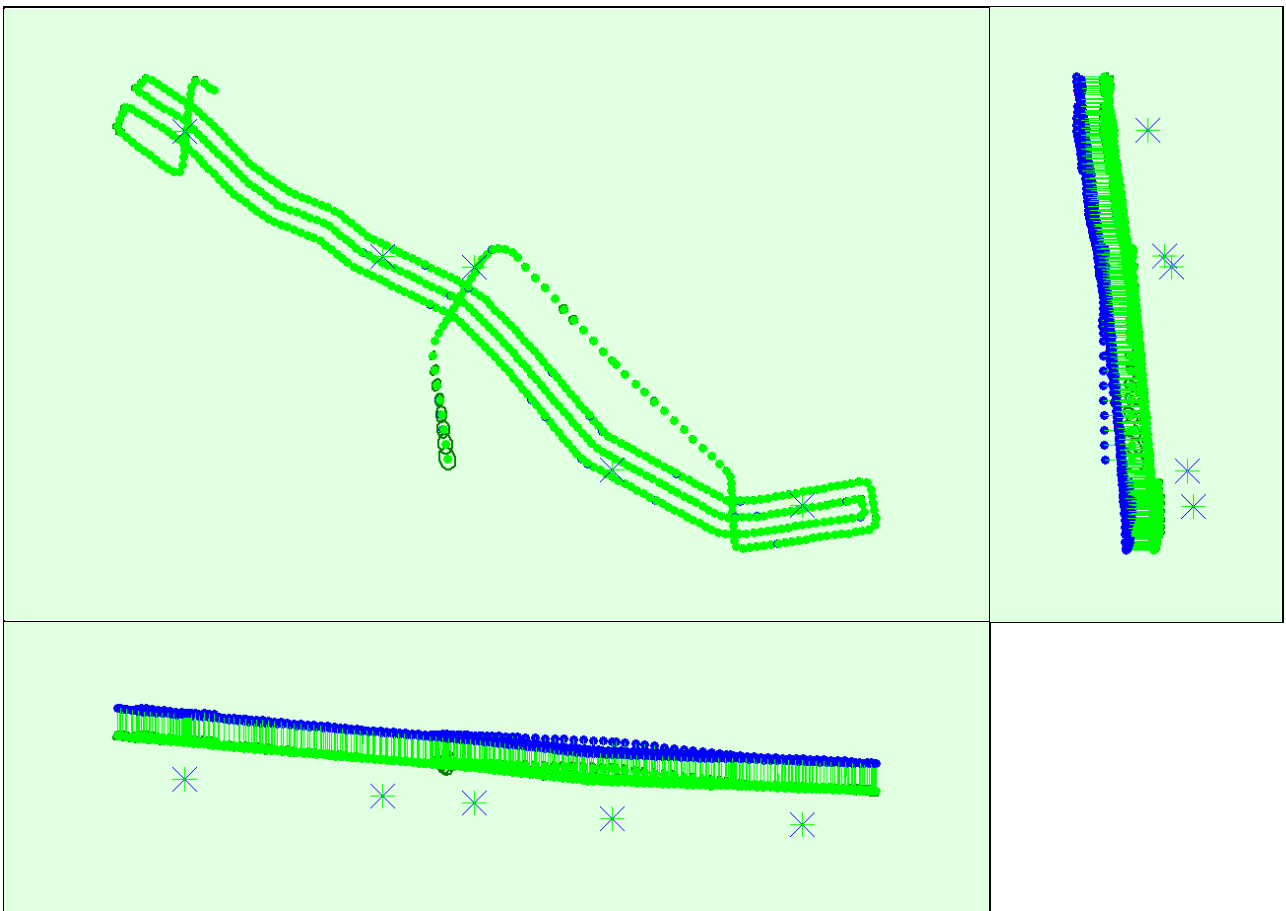


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions



Uncertainty ellipses 500x magnified

Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Absolute camera position and orientation uncertainties



	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.006	0.007	0.009	0.006	0.005	0.003
Sigma	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001

Overlap



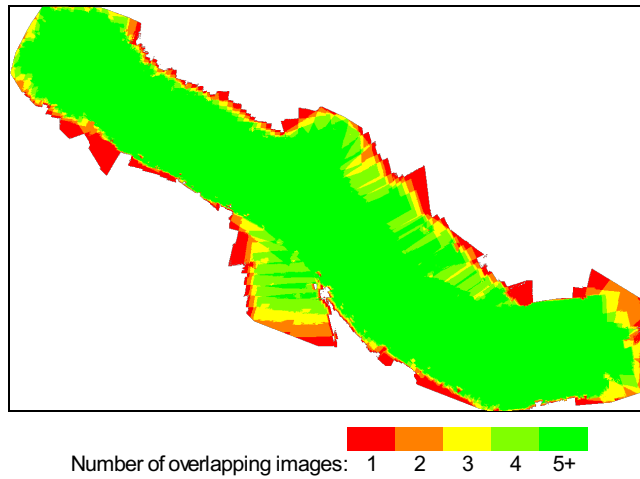


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint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

Bundle Block Adjustment Details

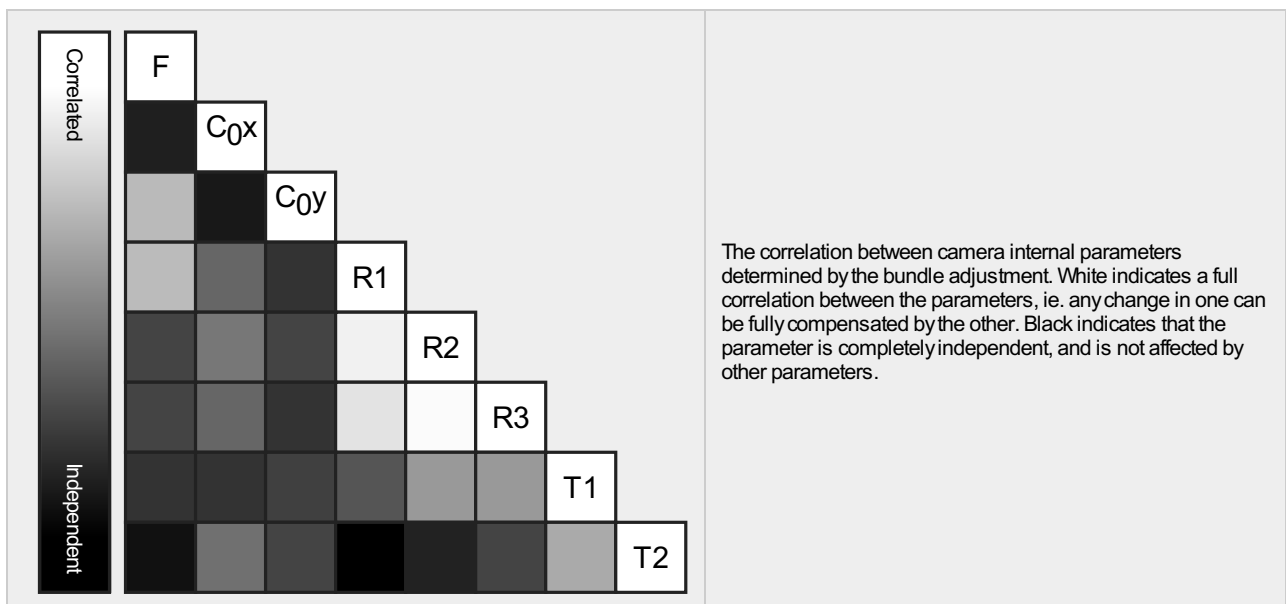
Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	5787442
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	1935876
Mean Reprojection Error [pixels]	0.137

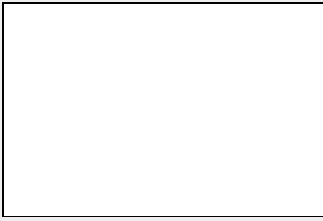
Internal Camera Parameters

ILCE-7RM2_15.0_7952x5304 (RGB). Sensor Dimensions: 35.000 [mm] x 23.345 [mm]

EXIF ID: ILCE-7RM2_15.0_7952x5304

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	3408.000 [pixel] 15.000 [mm]	3976.000 [pixel] 17.500 [mm]	2652.000 [pixel] 11.673 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Optimized Values	3414.625 [pixel] 15.029 [mm]	3976.338 [pixel] 17.501 [mm]	2631.241 [pixel] 11.581 [mm]	-0.000	-0.004	0.001	-0.000	0.000
Uncertainties (Sigma)	0.400 [pixel] 0.002 [mm]	0.066 [pixel] 0.000 [mm]	0.090 [pixel] 0.000 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000





The number of Automatic Tie Points (ATPs) per pixel, averaged over all images of the camera model, is color coded between black and white. White indicates that, on average, more than 16 ATPs have been extracted at the pixel location. Black indicates that, on average, 0 ATPs have been extracted at the pixel location. Click on the image to see the average direction and magnitude of the re-projection error for each pixel. Note that the vectors are scaled for better visualization. The scale bar indicates the magnitude of 1 pixel error.

? 2D Keypoints Table



	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	30323	11783
Mn	20024	4190
Max	46588	20881
Mean	30181	11668

? 3D Points from 2D Keypoint Matches



	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	1301511
In 3 Images	297343
In 4 Images	122169
In 5 Images	63387
In 6 Images	39074
In 7 Images	26435
In 8 Images	18307
In 9 Images	13058
In 10 Images	9803
In 11 Images	7653
In 12 Images	6174
In 13 Images	4971
In 14 Images	4430
In 15 Images	3593
In 16 Images	2962
In 17 Images	2456
In 18 Images	1983
In 19 Images	1687
In 20 Images	1587
In 21 Images	1411
In 22 Images	1255
In 23 Images	1064
In 24 Images	916
In 25 Images	643
In 26 Images	465
In 27 Images	338
In 28 Images	266
In 29 Images	235
In 30 Images	184
In 31 Images	133
In 32 Images	123
In 33 Images	86
In 34 Images	60
In 35 Images	40
In 36 Images	35
In 37 Images	20
In 38 Images	11
In 39 Images	4
In 40 Images	3

2D Keypoint Matches

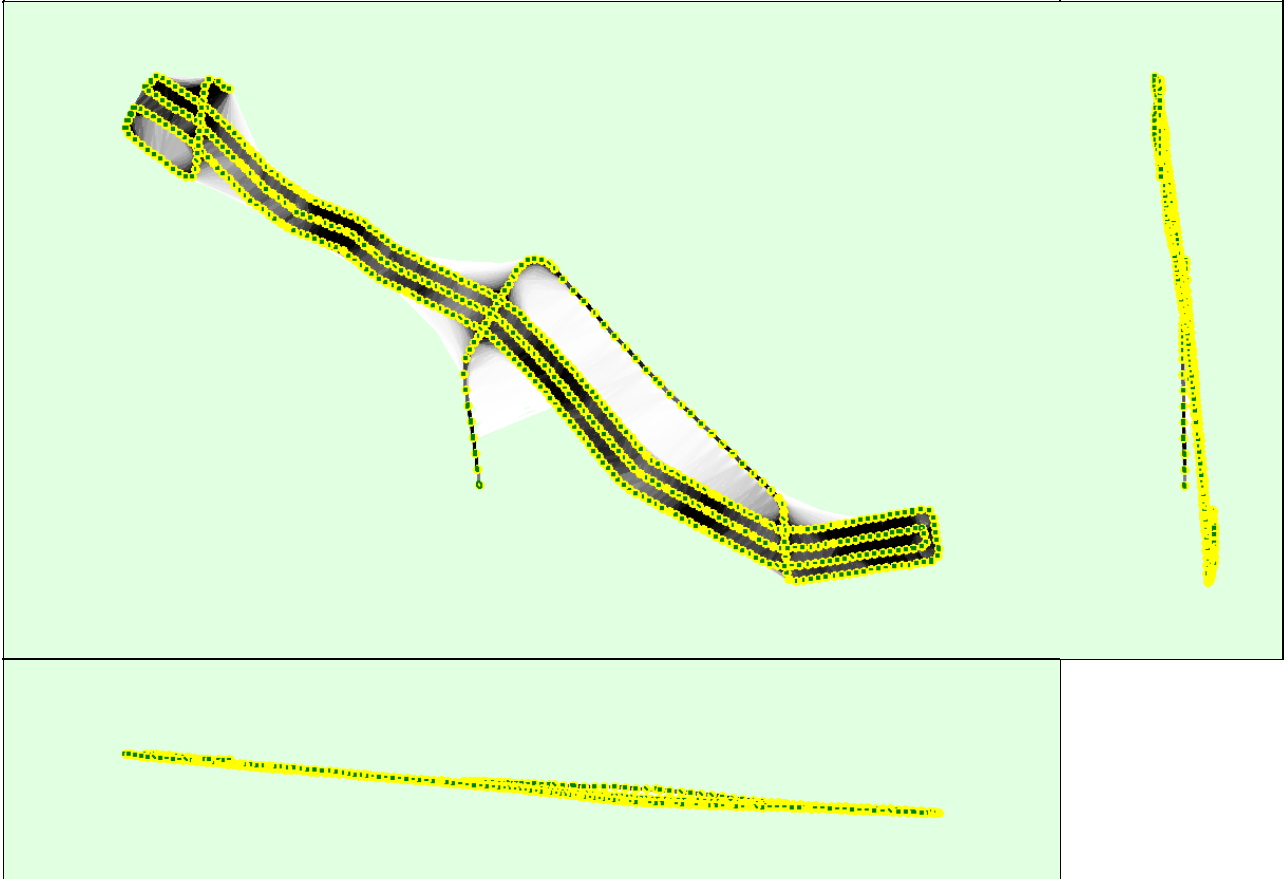


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Relative camera position and orientation uncertainties



	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.011	0.011	0.007	0.006	0.005	0.004
Sigma	0.003	0.004	0.003	0.002	0.001	0.001

Geolocation Details



Ground Control Points



GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
LOK5 (3D)	0.020/0.020	-0.001	-0.000	0.001	0.350	10 / 10
LOK4 (3D)	0.020/0.020	0.003	-0.000	-0.001	0.339	10 / 10
LOK3 (3D)	0.020/0.020	-0.004	0.001	-0.001	0.466	10 / 10
LOK2 (3D)	0.020/0.020	0.003	-0.001	0.002	0.362	10 / 10
LOK1 (3D)	0.020/0.020	0.000	0.001	-0.001	0.543	10 / 10
Mean [m]		-0.000009	0.000018	0.000013		

Sigma [m]		0.002691	0.000618	0.001208		
RMS Error [m]		0.002691	0.000618	0.001209		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

🔍 Absolute Geolocation Variance



Mn Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X[%]	Geolocation Error Y[%]	Geolocation Error Z[%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	0.00	0.00	0.00
-3.00	0.00	49.60	54.84	51.01
0.00	3.00	50.40	45.16	48.99
3.00	6.00	0.00	0.00	0.00
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		-0.022989	-0.019709	38.601482
Sigma [m]		0.038209	0.034742	0.038042
RMS Error [m]		0.044591	0.039943	38.601500

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

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	-0.022989	-0.019709	38.601482

Bias between image initial and computed geolocation given in output coordinate system.

🔍 Relative Geolocation Variance



Relative Geolocation Error	Images X[%]	Images Y[%]	Images Z[%]
[-1.00, 1.00]	100.00	100.00	100.00
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	5.000000	5.000000	10.000000
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000000	0.000000	0.000000

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Initial Processing Details



System Information



Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i7-8850H CPU @ 2.60GHz RAM: 16GB GPU: Intel(R) UHD Graphics 630 (Driver: 26.20.100.7926), NVDIA Quadro P600 (Driver: 26.21.14.4283)
Operating System	Windows 10 Pro, 64-bit

Coordinate Systems



Image Coordinate System	ETRS89 (EGM96 Geoid)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	ETRS89 / NTMzone 10 (EGM96 Geoid)
Output Coordinate System	ETRS89 / NTMzone 10 (EGM96 Geoid)

Processing Options



Detected Template	No Template Available
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 0.5
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, yes

Point Cloud Densification details



Processing Options



Image Scale	multiscale, 1 (Original image size, Slow)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	6
3D Textured Mesh Generation	no
LOD	Generated: no
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	05h:54m:54s
Time for Point Cloud Classification	NA
Time for 3D Textured Mesh Generation	NA

Results



Number of Processed Clusters	20
Number of Generated Tiles	5
Number of 3D Densified Points	174581959
Average Density (per m ³)	2248.04

DSM, Orthomosaic and Index Details



Processing Options



DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (1.52 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: no
Grid DSM	Generated: yes, Spacing [cm]: 2

Time for DSM Generation	02h:33m:24s
Time for Orthomosaic Generation	02h:56m:21s
Time for DTM Generation	00s
Time for Contour Lines Generation	00s
Time for Reflectance Map Generation	00s
Time for Index Map Generation	00s

Vedlegg VI

Kvalitetsrapport fra Pix4D for fotogrammetrien for
Hov-settet

Quality Report



Generated with Pix4Dmapper version 4.6.4



Important: Click on the different icons for:



Help to analyze the results in the Quality Report



Additional information about the sections



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

Summary



Project	Hov3
Processed	2021-04-29 12:27:20
Camera Model Name(s)	FC2403_4.5_4056x3040 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	1.53 cm / 0.60 in

Quality Check



Images	median of 47998 keypoints per image	
Dataset	871 out of 871 images calibrated (100%), all images enabled	
Camera Optimization	10.04% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
Matching	median of 11975.3 matches per calibrated image	
Georeferencing	yes, 5 GCPs (5 3D), mean RMS error = 0.012 m	

Calibration Details



Number of Calibrated Images	871 out of 871
Number of Geolocated Images	871 out of 871



Initial Image Positions



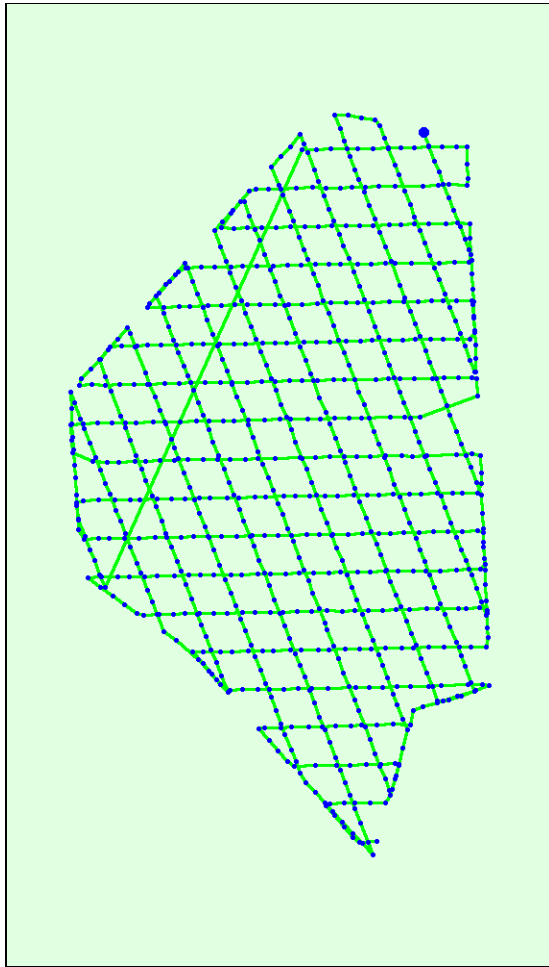
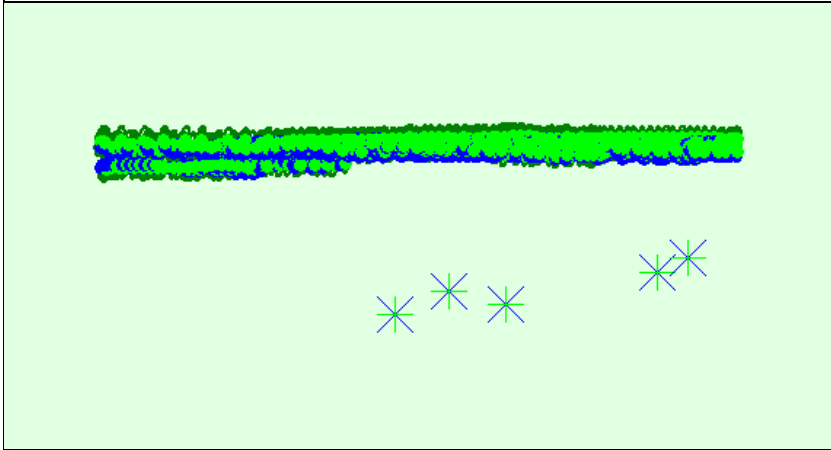
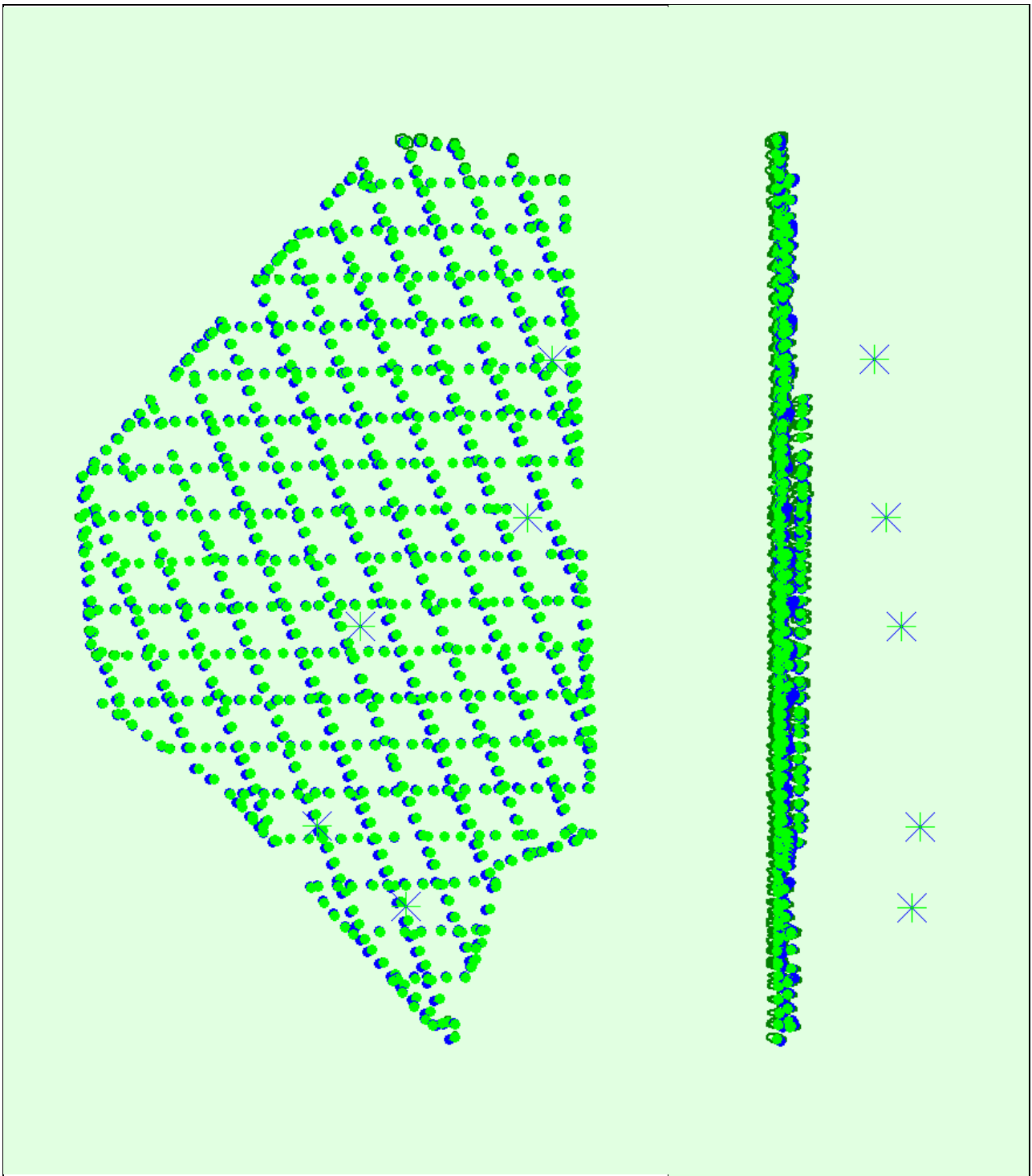


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

🔍 Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions





Uncertainty ellipses 100x magnified

Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Absolute camera position and orientation uncertainties



	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.013	0.012	0.036	0.014	0.014	0.004
Sigma	0.002	0.003	0.004	0.005	0.004	0.002

Bundle Block Adjustment Details



Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	10312412
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	3383714
Mean Reprojection Error [pixels]	0.178

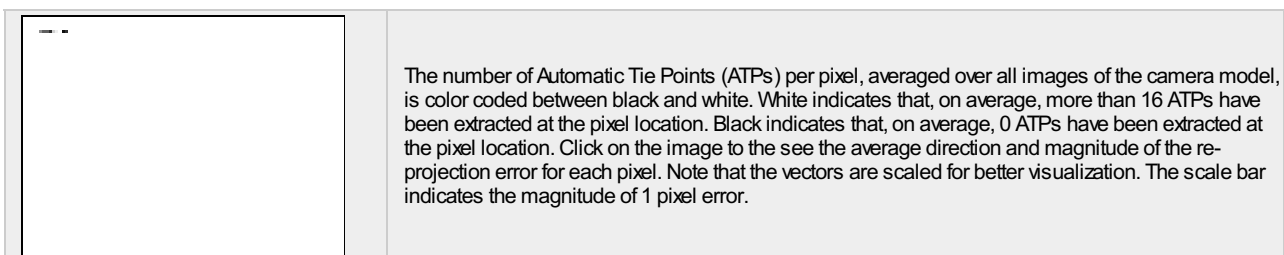
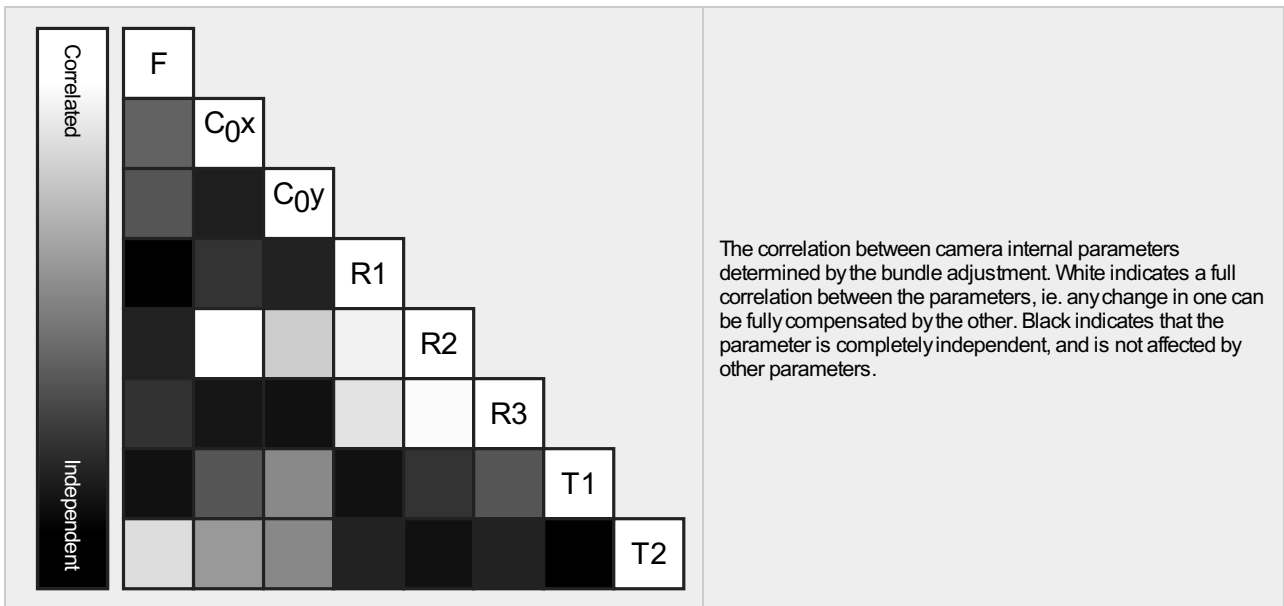
Internal Camera Parameters

FC2403_4.5_4056x3040 (RGB). Sensor Dimensions: 6.554 [mm] x 4.913 [mm]



EXIF ID: FC2403_4.5_4056x3040

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	2829.444 [pixel] 4.572 [mm]	2011.017 [pixel] 3.250 [mm]	1529.792 [pixel] 2.472 [mm]	-0.021	-0.001	0.015	0.000	-0.001
Optimized Values	3113.748 [pixel] 5.032 [mm]	2033.755 [pixel] 3.287 [mm]	1539.008 [pixel] 2.487 [mm]	0.002	-0.026	0.027	0.000	-0.001
Uncertainties (Sigma)	2.209 [pixel] 0.004 [mm]	0.095 [pixel] 0.000 [mm]	0.082 [pixel] 0.000 [mm]	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000



2D Keypoints Table



Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
----------------------------------	--

Median	47998	11975
Min	20337	475
Max	76376	22113
Mean	47118	11840

🔍 3D Points from 2D Keypoint Matches

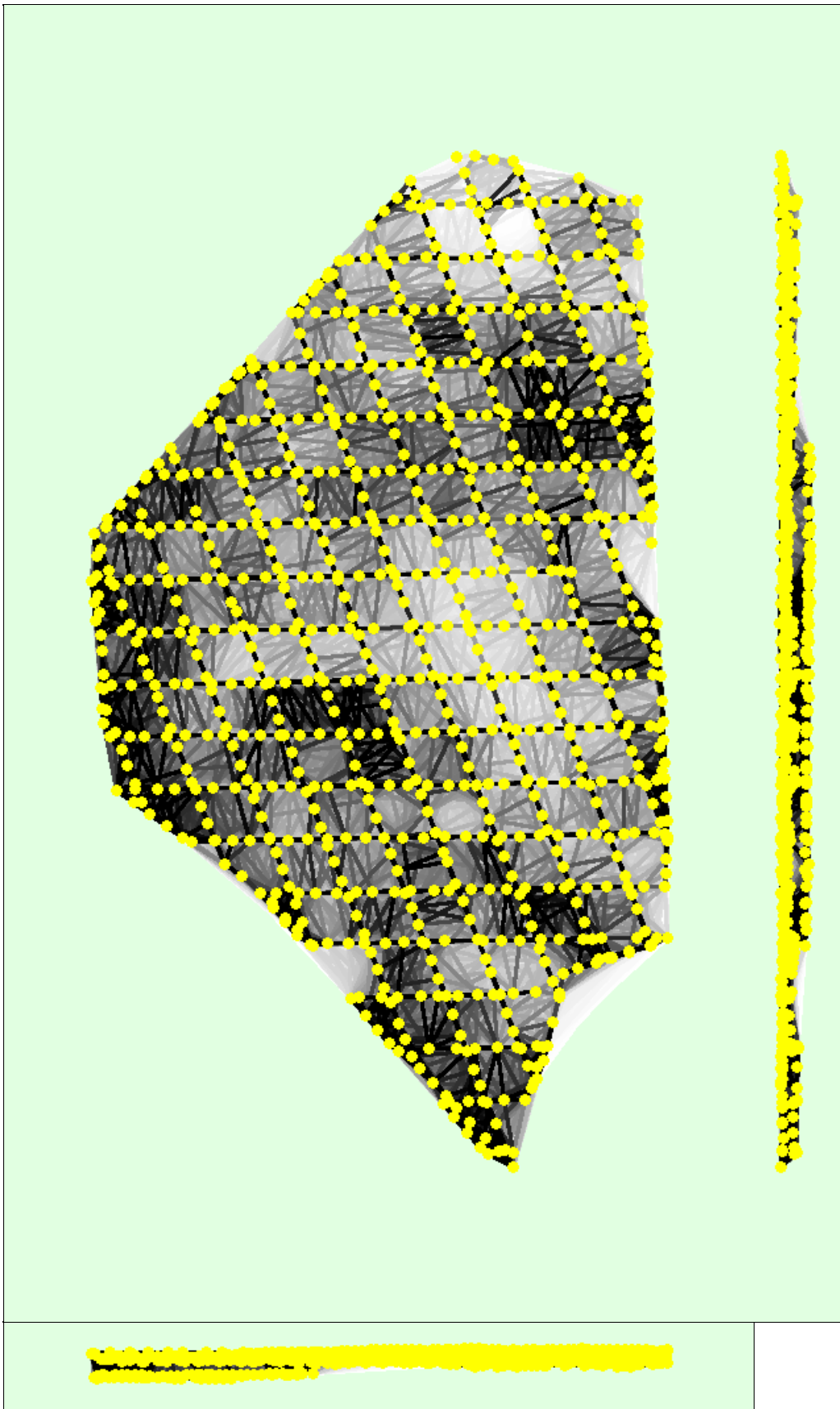


	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	2050012
In 3 Images	640644
In 4 Images	283084
In 5 Images	149044
In 6 Images	83574
In 7 Images	49201
In 8 Images	32011
In 9 Images	21830
In 10 Images	15659
In 11 Images	11448
In 12 Images	8610
In 13 Images	6655
In 14 Images	5107
In 15 Images	4138
In 16 Images	3349
In 17 Images	2724
In 18 Images	2311
In 19 Images	1969
In 20 Images	1617
In 21 Images	1368
In 22 Images	1198
In 23 Images	1040
In 24 Images	980
In 25 Images	774
In 26 Images	673
In 27 Images	587
In 28 Images	528
In 29 Images	486
In 30 Images	385
In 31 Images	337
In 32 Images	320
In 33 Images	273
In 34 Images	227
In 35 Images	180
In 36 Images	183
In 37 Images	147
In 38 Images	145
In 39 Images	94
In 40 Images	108
In 41 Images	79
In 42 Images	83
In 43 Images	64
In 44 Images	60
In 45 Images	45
In 46 Images	49
In 47 Images	51
In 48 Images	50
In 49 Images	36
In 50 Images	33
In 51 Images	33

In 52 Images	25
In 53 Images	16
In 54 Images	15
In 55 Images	8
In 56 Images	14
In 57 Images	4
In 58 Images	6
In 59 Images	8
In 60 Images	5
In 61 Images	3
In 62 Images	3
In 63 Images	2
In 64 Images	2

 **2D Keypoint Matches**





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

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

Geolocation Details



Ground Control Points



GCP Name	Accuracy XYZ [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
GCP2 (3D)	0.020/ 0.020	0.013	0.002	-0.010	1.103	34 / 34
GCP4 (3D)	0.020/ 0.020	-0.019	0.010	0.015	0.614	12 / 12
GCP6 (3D)	0.020/ 0.020	0.011	-0.001	-0.005	1.316	17 / 17
GCP7 (3D)	0.020/ 0.020	-0.009	0.012	-0.017	1.419	11 / 11
GCP8 (3D)	0.020/ 0.020	0.002	-0.020	0.014	1.141	21 / 21
Mean [m]		-0.000361	0.000482	-0.000635		
Sigma [m]		0.012096	0.011464	0.012898		
RMS Error [m]		0.012102	0.011474	0.012914		

0 out of 3 check points have been labeled as inaccurate.

Check Point Name	Accuracy XYZ [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
GCP1		0.0188	-0.0082	0.2408	0.8119	17 / 17
GCP3		-0.0324	0.0283	0.0915	0.9973	15 / 15
GCP5		0.1150	-0.0621	-0.1420	0.7774	7 / 7
Mean [m]		0.033772	-0.014008	0.063441		
Sigma [m]		0.061103	0.037128	0.157510		
RMS Error [m]		0.069815	0.039682	0.169806		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified v.s. manually marked.

Absolute Geolocation Variance



Mn Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	0.00	0.00	0.00
-3.00	0.00	50.52	46.50	53.04
0.00	3.00	49.48	53.50	46.96
3.00	6.00	0.00	0.00	0.00
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		-0.978269	-0.104544	-0.926324
Sigma [m]		0.573540	0.528423	0.670807
RMS Error [m]		1.134001	0.538665	1.143704

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

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	-0.978269	-0.104544	-0.926324

Bias between image initial and computed geolocation given in output coordinate system.

Relative Geolocation Variance



Relative Geolocation Error	Images X [%]	Images Y [%]	Images Z [%]
[-1.00, 1.00]	100.00	100.00	100.00
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00

[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	5.000000	5.000000	10.000000
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000000	0.000000	0.000000

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	0.881
Phi	0.634
Kappa	5.191

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

Initial Processing Details



System Information



Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i7-8850H CPU @2.60GHz RAM: 16GB GPU: Intel(R) UHD Graphics 630 (Driver: 26.20.100.7926), NVIDIA Quadro P600 (Driver: 26.21.14.4283)
Operating System	Windows 10 Pro, 64-bit

Coordinate Systems



Image Coordinate System	WGS 84 (EGM96 Geoid)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 32N (EGM96 Geoid)
Output Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 32N (EGM96 Geoid)

Processing Options



Detected Template	No Template Available
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, no

Point Cloud Densification details



Processing Options



Image Scale	multiscale, 1 (Original image size, Slow)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	6
3D Textured Mesh Generation	no
LOD	Generated: no
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	07h:35m:27s
Time for Point Cloud Classification	NA
Time for 3D Textured Mesh Generation	NA

Results



Number of Processed Clusters	10
Number of Generated Tiles	6
Number of 3D Densified Points	107811646
Average Density (per m ³)	3621.41

DSM, Orthomosaic and Index Details



Processing Options



DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (1.53 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: no
Grid DSM	Generated: yes, Spacing [cm]: 2
Time for DSM Generation	01h:41m:05s
Time for Orthomosaic Generation	01h:10m:25s
Time for DTM Generation	00s
Time for Contour Lines Generation	00s
Time for Reflectance Map Generation	00s
Time for Index Map Generation	00s

Vedlegg VII

Rapporter fra Gemini Oppmåling: Utjevning og
ytrepålitelighet GNSS-punkter og totalstasjon for
Gjøvik

Prosjekt:

Koordinatsystem: EUREF89 NTM Sone 10

/ NN 2000 høyder

08.05.2021

Kjente punkt

PunktID	Tema	N-koord.	Ø-koord.	Høyde GeoideH	Status	Delt status

Beregnete punkt

PunktID	Tema	N-koord. Std. N	Ø-koord. Std. Ø	Høyde Std. H	Status a	fi b
GJOVIKFM1	1000	1 311 794,283 0,002	109 958,903 0,001	159,385 0,005	U 0,002	10,9 0,001
GJOVIKFM2	1000	1 311 783,574 0,002	109 889,384 0,001	162,187 0,004	U 0,002	13,2 0,001
GJOVIKFM3	1000	1 311 768,017 0,002	109 778,238 0,002	166,693 0,004	U 0,002	8,4 0,002
GJOVIKFM4	1000	1 311 792,590 0,003	109 746,384 0,002	167,617 0,005	U 0,003	13,9 0,002

Prosjekt:

Koordinatsystem: EUREF89 NTM Sone 10

/ NN 2000 høyder

08.05.2021

Sammendrag utjevning

Antall kjente punkt:	0	Antall stasjoner (konv. obs.):	0
Antall ukjente punkt:	4	Antall hor.retninger:	0
		Antall vertikalvinkler:	0
		Antall avstander:	0
Antall ukjente:	12	Antall satellittvektorer:	0
Antall obs:	36	Antall punktobservasjoner:	12
		Antall nivellementobs:	0
Sum PVV:		0,0000040067537943	
Beregnet standardavvik på vektsent		0,0004086	
Antatt standardavvik på vektsenhet		0,0005000	
Antall overskytende målinger:		24	
K-tall (ant. overbest. / ant. obs.):		0,67	

Prosjekt:

Koordinatsystem: EUREF89 NTM Sone 10

/ NN 2000 høyder

08.05.2021

Koordinatobservasjoner etter beregning

Koordinatsystem: EUREF89 NTM Sone 10 / NN 2000 høyder

PunktID

StasjonsID Instrument	Ant. h Ant. Sat	Tidspunkt Ant. obs PDOP	Nord Utj.korr. N	Øst Utj.korr. Ø	Høyde Utj.korr. H
GJOVIKFM1					
1	0,000	2021.03.15 12:39:24	1 311 794,284	109 958,904	159,381
8/1	0	0 1,300	-0,001	-0,001	0,004
5	0,000	2021.03.15 13:54:27	1 311 794,283	109 958,902	159,391
8/1	0	0 2,000	0,000	0,001	-0,006
9	0,000	2021.03.15 16:23:30	1 311 794,283	109 958,903	159,385
8/1	0	0 1,200	0,000	0,000	0,000
GJOVIKFM2					
2	0,000	2021.03.15 12:40:43	1 311 783,574	109 889,384	162,186
8/1	0	0 1,300	0,000	0,000	0,001
6	0,000	2021.03.15 13:55:47	1 311 783,578	109 889,380	162,186
8/1	0	0 1,800	-0,004	0,004	0,001
10	0,000	2021.03.15 16:24:42	1 311 783,572	109 889,387	162,190
8/1	0	0 1,400	0,002	-0,003	-0,003
GJOVIKFM3					
3	0,000	2021.03.15 12:42:39	1 311 768,022	109 778,235	166,693
8/1	0	0 1,300	-0,005	0,003	0,000
7	0,000	2021.03.15 13:57:45	1 311 768,017	109 778,244	166,697
8/1	0	0 1,500	0,000	-0,006	-0,004
11	0,000	2021.03.15 16:26:28	1 311 768,013	109 778,232	166,692
8/1	0	0 1,400	0,004	0,006	0,001
GJOVIKFM4					
4	0,000	2021.03.15 12:43:30	1 311 792,591	109 746,382	167,619
8/1	0	0 1,400	-0,001	0,002	-0,002
8	0,000	2021.03.15 13:58:36	1 311 792,592	109 746,388	167,627
8/1	0	0 1,500	-0,002	-0,004	-0,010
12	0,000	2021.03.15 16:27:18	1 311 792,589	109 746,384	167,611
8/1	0	0 1,400	0,001	0,000	0,006

Prosjekt:

Koordinatsystem: EUREF89 NTM Sone 10

/ NN 2000 høyder

08.05.2021

Ytre pålitelighet, maks. punktdeformasjon

Punkt	Def. Nord Def.	Def. Øst Norm	Def. H Faktor	Obs. fra punkt Grovfeil	Til Observasjon	Merknad
GJOVIKFM1	-0,002 0,013	-0,001 0,100	-0,010 0,13	GJOVIKFM1 -0,026	GJOVIKFM1 159,381	Koord:Høyde
GJOVIKFM2	-0,001 0,009	0,000 0,100	-0,010 0,09	GJOVIKFM2 -0,018	GJOVIKFM2 162,186	Koord:Høyde
GJOVIKFM3	-0,001 0,012	0,000 0,100	-0,010 0,12	GJOVIKFM3 -0,023	GJOVIKFM3 166,693	Koord:Høyde
GJOVIKFM4	0,001 0,009	0,000 0,100	-0,010 0,09	GJOVIKFM4 -0,027	GJOVIKFM4 167,611	Koord:Høyde

Ytre pålitelighet, sammendrag

Norm for kontroll:

Eiendom 1: Byområde

Deformasjoner.

% av alle

Antall overbestemmelser: 25

Ant. godkjente:

4 100

Student T-verdi: 2,069

Ant. ikke godkjente:

0 0

Middelfeil på vektsenhet: 0,0004086

Prosjekt: H:\NTNU_bacheloroppgave\Gjovik_malingerTS\geminioppmaalingTS2.gmi
 Koordinatssystem EUREF89 NTM Sone 10 / NN 2000 høyder

13.05.2021

Kjente punkt

PunktID	Tema	N-koord.	Ø-koord.	Høyde	GeoideH	Status	Delt status
GJOVIKFM1	1000	1 311 794,283	109 958,903	159,385		K	XYZ
GJOVIKFM2	1000	1 311 783,574	109 889,384	162,187		K	XYZ
GJOVIKFM3	1000	1 311 768,017	109 778,238	166,693		K	XYZ
GJOVIKFM4	1000	1 311 792,590	109 746,384	167,617		K	XYZ

Beregnete punkt

PunktID	Tema	N-koord. Std. N	Ø-koord. Std. Ø	Høyde Std. H	Status a	f b
S1		1 311 796,018 0,003	109 965,562 0,003	160,735 0,002	U 0,003	0,8 0,003
S2		1 311 791,063 0,002	109 937,849 0,003	161,793 0,002	U 0,003	90,3 0,002
S3		1 311 791,007 0,002	109 938,006 0,003	161,754 0,002	U 0,003	90,1 0,002
S4		1 311 775,390 0,004	109 782,792 0,002	168,302 0,002	U 0,004	17,5 0,002

Prosjekt: H:\NTNU_bacheloroppgave\Gjovik_malingerTS\geminioppmaalingTS2.gmi
Koordinatssystem EUREF89 NTM Sone 10 / NN 2000 høyder

13.05.2021

Sammendrag utjevning

Antall kjente punktt	4	Antall sttasjone(konv. obs.)	4
Antall ukjente punktt	4	Antall horretninger	8
		Antall verttkalvinkler	8
		Antall avsttander	8
Antall ukjente	12	Antall sattellittvektorør	0
Antall obs	24	Antall punkttobservasjoner	0
		Antall nivellementtobs	0
Sum PVV:		0,0000015601421818	
Beregnettt standardavvik på vekttsenh		0,0004416	
Anttatt standardavvik på vekttsenhette		0,0005000	
Anttall øverskyttende måliger		8	
K-ttall(anttt øverbesttt / anttt obs.):		0,33	

Prosjekt: H:\NTNU_bacheloroppgave\Gjovik_malingerTS\geminioppmaalingTS2.gmi
 Koordinatssystem EUREF89 NTM Sone 10 / NN 2000 høyder

13.05.2021

Observasjoner etter beregning

Stasjon	Tilsikt	Hor.retning Vert.vinkel	Utj.korr.retn Utj.korr.v.v	Tverravvik Høydefeil	Std.retn Std.v.v	Hor.avstand	Utj.korr.avst Std.avst
S1							
	GJOVIKFM1	283,76891 112,32713	-0,00068 0,00135	0,000 0,000		6,883	-0,001
	GJOVIKFM2	289,69035 98,80222	0,00001 0,00001	-0,000 0,000		77,186	0,002
S2							
	GJOVIKFM1	90,33740 107,16177	0,00000 0,00440	-0,000 0,001		21,300	-0,002
	GJOVIKFM2	290,23925 99,48999	-0,00000 -0,00180	0,000 -0,001		49,043	-0,002
S3							
	GJOVIKFM2	290,34168 99,44423	-0,00000 -0,00503	0,000 -0,004		49,186	0,001
	GJOVIKFM1	90,09986 107,08791	0,00000 0,01143	-0,000 0,004		21,151	0,001
S4							
	GJOVIKFM3	235,20336 111,69744	0,01490 -0,00931	-0,002 -0,001		8,667	-0,001
	GJOVIKFM4	328,09225 101,08117	-0,00070 0,00214	0,000 0,001		40,270	-0,004

Vedlegg VIII Rapporter fra Gemini Oppmåling: Utjevning og
ytrepålitelighet GNSS-punkter og totalstasjon
for Hov

Prosjekt:

Koordinatsystem: EUREF89 - SONE 32

/ NN 2000 høyder

06.05.2021

Kjente punkt

PunktID	Tema	N-koord.	Ø-koord.	Høyde GeoideH	Status	Delt status

Beregnete punkt

PunktID	Tema	N-koord. Std. N	Ø-koord. Std. Ø	Høyde Std. H	Status a	fi b
1002	1000	6 730 461,634 0,003	573 671,363 0,002	194,981 0,008	U 0,003	167,6 0,002
1001	1000	6 730 523,661 0,003	573 612,004 0,002	192,860 0,010	U 0,003	171,9 0,002
1008	1000	6 730 458,831 0,003	573 618,891 0,002	189,062 0,010	U 0,003	175,0 0,002
G32T056	1000	6 729 808,076 0,003	574 126,047 0,002	230,956 0,007	U 0,003	194,3 0,002

Prosjekt:

Koordinatsystem: EUREF89 - SONE 32

/ NN 2000 høyder

06.05.2021

Sammendrag utjevning

Antall kjente punkt:	0	Antall stasjoner (konv. obs.):	0
Antall ukjente punkt:	4	Antall hor.retninger:	0
		Antall vertikalvinkler:	0
		Antall avstander:	0
Antall ukjente:	12	Antall satellittvektorer:	0
Antall obs:	45	Antall punktobservasjoner:	15
		Antall nivellementobs:	0
Sum PVV:		0,0000079322274608	
Beregnet standardavvik på vektsent		0,0004903	
Antatt standardavvik på vektsenhet		0,0005000	
Antall overskytende målinger:		33	
K-tall (ant. overbest. / ant. obs.):		0,73	

Prosjekt:

Koordinatsystem: EUREF89 - SONE 32

/ NN 2000 høyder

06.05.2021

Koordinatobservasjoner etter beregning

Koordinatsystem: EUREF89 - SONE 32

/ NN 2000 høyder

PunktID

StasjonsID Instrument	Ant. h Ant. Sat	Tidspunkt Ant. obs PDOP	Nord Utj.korr. N	Øst Utj.korr. Ø	Høyde Utj.korr. H
1001					
2	2,000	2021.04.20 23:56:00	6 730 523,665	573 612,008	194,848
8/1	9	0 1,570	-0,004	-0,004	0,012
5	2,000	2021.04.21 00:17:33	6 730 523,659	573 612,000	194,866
8/1	8	0 1,930	0,002	0,004	-0,006
8	2,000	2021.04.21 00:37:22	6 730 523,652	573 612,007	194,859
8/1	9	0 1,990	0,009	-0,003	0,001
15	2,000	2021.04.21 04:02:09	6 730 523,666	573 612,001	194,864
8/1	5	0 1,920	-0,005	0,003	-0,004
1002					
1	2,000	2021.04.20 23:53:55	6 730 461,639	573 671,353	196,972
8/1	10	0 1,340	-0,005	0,010	0,009
4	2,000	2021.04.21 00:14:59	6 730 461,631	573 671,357	196,999
8/1	11	0 1,580	0,003	0,006	-0,018
7	2,000	2021.04.21 00:33:13	6 730 461,635	573 671,370	196,973
8/1	10	0 1,990	-0,001	-0,007	0,008
13	2,000	2021.04.21 03:57:51	6 730 461,636	573 671,368	196,978
8/1	6	0 1,700	-0,002	-0,005	0,003
1008					
3	2,000	2021.04.20 23:57:33	6 730 458,832	573 618,889	191,074
8/1	10	0 1,430	-0,001	0,002	-0,012
6	2,000	2021.04.21 00:19:29	6 730 458,824	573 618,886	191,051
8/1	10	0 1,620	0,007	0,005	0,011
9	2,000	2021.04.21 00:39:21	6 730 458,835	573 618,888	191,073
8/1	8	0 2,910	-0,004	0,003	-0,011
14	2,000	2021.04.21 04:00:59	6 730 458,841	573 618,899	191,057
8/1	6	0 1,840	-0,010	-0,008	0,005
G32T056					
10	2,000	2021.04.21 03:52:46	6 729 808,078	574 126,052	232,952
8/1	6	0 1,700	-0,002	-0,005	0,004
11	2,000	2021.04.21 03:53:30	6 729 808,077	574 126,047	232,956
8/1	6	0 1,700	-0,001	0,000	0,000
12	2,000	2021.04.21 03:53:47	6 729 808,073	574 126,044	232,958
8/1	6	0 1,700	0,003	0,003	-0,002

Prosjekt:

Koordinatsystem: EUREF89 - SONE 32

/ NN 2000 høyder

06.05.2021

Ytre pålitelighet, maks. punktdeformasjon

Punkt	Def. Nord Def.	Def. Øst Norm	Def. H Faktor	Obs. fra punkt Grovfeil	Til Observasjon	Merknad
1002	-0,001 0,019	0,001 0,100	-0,020 0,19	1002 -0,042	1002 196,978	Koord:Høyde
1001	0,000 0,021	0,000 0,100	-0,020 0,21	1001 -0,058	1001 194,848	Koord:Høyde
1008	-0,001 0,023	0,001 0,100	-0,020 0,23	1008 -0,048	1008 191,057	Koord:Høyde
G32T056	0,000 0,014	0,000 0,100	0,010 0,14	G32T056 0,038	G32T056 232,958	Koord:Høyde

Ytre pålitelighet, sammendrag

Norm for kontroll:

Deformasjoner.

Ant. godkjente:

Ant. ikke godkjente:

4

0

Eiendom 1: Byområde

% av alle

100

0

Antall overbestemmelser: 34

Student T-verdi: 2,037

Middelfeil på vektsenhet: 0,0004903

Prosjekt: H:\NTNU_bacheloroppgave\HOV_TS\GNSS_gemini.gmi
 Koordinatsystem: EUREF89 - SONE 32 / NN 2000 høyder

06.05.2021

Kjente punkt

PunktID	Tema	N-koord.	Ø-koord.	Høyde GeoideH	Status	Delt status
1002	1000	6 730 461,634	573 671,363	194,981	K	XYZ
1001	1000	6 730 523,661	573 612,004	192,860	K	XYZ
1008	1000	6 730 458,831	573 618,891	189,062	K	XYZ

Beregnete punkt

PunktID	Tema	N-koord. Std. N	Ø-koord. Std. Ø	Høyde Std. H	Status a	fi b
S1		6 730 470,181 0,004	573 648,735 0,005	196,112 0,004	U 0,005	106,6 0,004
S3		6 730 461,511 0,004	573 666,024 0,004	196,486 0,003	U 0,005	58,7 0,004

Prosjekt: H:\NTNU_bacheloroppgave\HOV_TS\GNSS_gemini.gmi
Koordinatsystem: EUREF89 - SONE 32 / NN 2000 høyder

06.05.2021

Sammendrag utjevning

Antall kjente punkt:	3	Antall stasjoner (konv. obs.):	2
Antall ukjente punkt:	2	Antall hor.retninger:	5
		Antall vertikalvinkler:	5
		Antall avstander:	5
Antall ukjente:	6	Antall satellittvektorer:	0
Antall obs:	15	Antall punktobservasjoner:	0
		Antall nivellementobs:	0
Sum PVV:		0,0000048411120065	
Beregnet standardavvik på vektsent		0,0008316	
Antatt standardavvik på vektsenhet		0,0005000	
Antall overskytende målinger:		7	
K-tall (ant. overbest. / ant. obs.):		0,47	

Prosjekt: H:\NTNU_bacheloroppgave\HOV_TS\GNSS_gemini.gmi
 Koordinatsystem: EUREF89 - SONE 32 / NN 2000 høyder

06.05.2021

Observasjoner etter beregning

Stasjon	Hor.retning	Utj.korr.retn	Tverravvik	Std.retn	Hor.avstand	Utj.korr.avst
Tilsikt	Vert.vinkel	Utj.korr.v.v	Høydefeil	Std.v.v		Std.avst
S1						
1002	122,98751	0,00126	-0,000		24,190	-0,002
	102,96284	0,01002	0,004			
1008	276,86286	-0,00070	0,000		31,933	-0,004
	113,83616	-0,00680	-0,004			
S3						
1002	98,54585	-0,01394	0,001		5,343	-0,003
	117,51451	-0,03372	-0,003			
1001	354,44718	0,00208	-0,003		82,341	0,005
	102,79411	0,00633	0,008			
1008	296,39127	-0,00588	0,004		47,210	-0,001
	109,93309	-0,00667	-0,005			

