



Høgskulen
på Vestlandet

BACHELOROPPGAVE

Kvalitativ sammenlikning av fire ulike datainnsamlingsmetoder med det formål å danne punktsky for kontroll av asbuilt konstruksjoner i anleggsvirksomhet.

Qualitative comparison of four different data collection methods with the aim of forming a point cloud for control of asbuilt structures in construction activities.

**Emil Mikael Naustheller, Eskil Sørensen og
Thomas Sjøwall**

Landmåling og eiendomsdesign

Fakultet for ingeniørfag - FIN

Helge Nysæter

21.05.2021

Forord

Bacheloroppgaven ble gjennomført som et avsluttende arbeid ved Høgskulen på Vestlandet avdeling Bergen ved fakultet for ingeniørfag våren 2021. Oppgaven er et samarbeid mellom Høgskolen på Vestlandet, Zenith Survey AS og Leica Geosystems i Bergen.

Valget av tema er basert på moderne teknologi og fordeler dette kan bidra med på anlegg i dokumentasjonsfasen. Dette er noe vi har en interesse av og har hatt et ønske om å fordype oss i og har styrt valget om å gå i denne retningen med bacheloroppgaven vår.

Vi ønsker å takke veilederen vår Helge Nysæter ved Høgskulen på Vestlandet for gode innspill til forbedringer og tips underveis i prosjektet. Vi ønsker også å takke Per Christian Heines, Øyvind Haug og Erik Waskaas i Zenith Survey for utlevering av problemstillingen og hjelp med lån av utstyr for gjennomføring av målingene i Mandal. Vi ønsker i tillegg å takke Ida Helene Fuhr og Elena Mari Bjånes fra Leica Geosystems i Bergen for veiledning underveis i prosjektet og lån av måleinstrumenter og lisenser til programvare for å gjennomføre dette prosjektet.



Emil Mikael Naustheller



Eskil Sørensen



Thomas Sjøwall

Bergen, mai 2021

Innholdsfortegnelse

Forord	2
Sammendrag	5
Abstract	6
Liste over definisjoner og begreper	7
1 Introduksjon	9
2 Teori	10
2.1 GNSS	10
2.1.1 Nøyaktighet	12
2.1.2 Feilkilder ved bruk av GNSS	13
2.1.3 Visuell posisjonering	15
2.2 LiDAR	15
2.3 Drone	20
2.4 Totalstasjon	23
2.4.1 Nøyaktighet	25
2.5 Vegnormalene og utforming av bergskjæring	27
2.5.1 N101 rekkverk og vegens sideområde	31
3 Metode	33
3.1 Fotogrammetri med visuell posisjonering:	33
3.1.1 Måling av fjellskjæring med visuell posisjonering	35
3.1.2 Databehandling i Leica Infiniti	36
3.2 Laserskanning med Apple lidar:	38
3.2.1 Databehandling i PIX4Dcloud og Cloudcompare	39
3.2.2 Georeferering i Cloudcompare	40
3.2.3 Laserskanning av teglstensbygg i Bergen	41
3.3 Laserskanning med RTC360	42
3.3.1 Databehandling i Leica Cyclone	49
3.4 Fotogrammetri med RTK drone	50
3.4.1 Databehandling i Pix4dmapper	52
4 Resultat	57
4.1 GS18I kulvert	57
4.2 GS18I bergskjæring	57
4.3 Apple bergskjæring	59
4.4 Apple kulvert	60
4.5 Apple teglstensbygg	60

4.6	RTC360	63
4.7	Dronedata	65
5	Diskusjon	67
5.1	Kvalitativ sammenlikning	67
5.1.1	Nøyaktighet	68
5.2	Bruk av instrumentene	74
5.2.1	Praktisk ved bruk av hvert instrument	77
5.3	Kostnader	79
5.4	Utfordringer	83
6	Konklusjon	84
7	Referanseliste	86
8	Tabeller	90
9	Figurliste	91
10	Vedlegg	94

Sammendrag

Oppgaven går ut på å sammenlikne fire ulike datainnsamlingsmetoder med det formål å danne punktsky for asbuilt dokumentasjon av konstruksjoner. Kvaliteten på punktskyene skal vurderes i en kvalitativ sammenlikning hvor det vil bli lagt vekt på kvaliteten på punktskyen og hvor godt egnet datafangstmetoden er til formålet.

Vi har kvantitative data som skal brukes til å trekke en kvalitativ sammenlikning ut ifra. Dette skal vi gjøre ved sette det opp mot krav. På bakgrunn av dette trekker vi en konklusjon av hvilket instrument som er foretrukket til jobben.

Bacheloroppgaven er skrevet sammen for Zenith Survey på prosjektet E39 Mandal øst – Mandal by hvor det statlig eide selskapet Nye Veier AS er byggherre.

Den første metoden er datafangst med håndholdt GNSS med visuell posisjonering. Måling med GNSS er en veletablert metode, men det som er nytt med denne enheten er at antennen har kameratintegrasjon. Den andre datafangstmetoden er terrestrisk laserskann med Leica RTC360, metoden er veletablert. Den tredje datafangstmetoden er fotogrammetri med en RTK drone med kamera. Den fjerde og siste datafangstmetoden er håndholdt lidar som integrasjon i Apple modellen 12 pro. Datafangst med håndholdt lidar som integrasjon i en mobiltelefon er nytt på markedet derfor vil det være interessant å se hvordan dette produktet vil prestere opp mot konkurrerende datafangstmetoder til bruk i landmålingssammenheng.

Abstract

The thesis is about comparing four different data collection methods with the purpose of forming a point cloud for asbuilt documentation of constructions. The quality of the point clouds will be assessed in a qualitative comparison where emphasis will be placed on the quality of the point cloud and how well suited the data capture method is for the intended use.

We will be using quantitative data to draw a qualitative comparison. This will be done by setting them up against requirements. Based on this we shall draw a conclusion of which instrument is preferred for the job.

The bachelor thesis has been written together with Zenith Survey on the project E39 Mandal east - Mandal city where the state-owned company Nye Veier AS is the client.

The first method data capture method is with a handheld GNSS with visual positioning. Measurement with GNSS is a well-established method, but what is new with this device is that the antenna has camera integration. The other data capture method is terrestrial laser scan with Leica RTC360, which is a well-established method. The third data capture method is photogrammetry with an RTK drone with integrated camera. The fourth and final data capture method is handheld lidar as an integration into the Apple model 12 pro. Data capture with handheld lidar as integration in a mobile phone is new on the market, therefore it will be interesting to see how this product will perform up against competing data capture methods for use in surveying contexts.

Liste over definisjoner og begreper

LIDAR	Light Detection and Ranging
GNSS	Global Navigation Satellite System
EUREF89	Europeisk Referanse fra 1989
NN2000	Norsk høydemodell som refererer til høyden på den skandinaviske kontinentalflaten i år 2000.
INS	Inertial Navigation Sensor
IMU	Inertial Measurement Unit
RTK	Real Time Kinematic
ASCII	Filformat
SVV	Statens Vegvesen
Signifikant	Betydelig
Georeferering	Koordinatfesting av et objekt innenfor en referanseramme
Prosjekttert	En kunstig modell av virkeligheten. Modellen er konstruert på bakgrunn av innsamlet terrengdata og tekniske krav fastsatt av statens vegvesen
Asbuilt	Som bygget
Skjæring	Utgraving i opprinnelig terreng begrenset av skjærings-skråning og vegens planum (traubunn) (Trafikksikkerhet, 2014, s.18)
Fylling	Fylling for veg over opprinnelig terreng

Kompensator	Verktøy for finjustering av instrument langs horisonten
Prismekonstant	Prismeavhengig korreksjon av målt avstand som følge av at lyshastighet i glass er lavere enn i luft.
GCP	Ground Control Points
PPP	Precise Point Positioning
DOP/ PDOP	«Dilution of precision»/ 3D- posisjons-DOP. Nøyaktighetsmål for satellittgeometri (Norberg, 2014, s.66)

Nøkkelord: GNSS, laserskanning, fotogrammetri, punktsky og lidar

1 Introduksjon

Ny teknologi vil kontinuerlig bli oppfunnet og produsert og eksisterende teknologi vil ta nye former og utvikles. Landmålingsinstrumenter er ikke unntatt en slik evolusjon. Teknologien har blitt digitalisert og med flere automatiske funksjoner som har gjort det enklere og smidigere for landmåleren å gjøre sitt arbeid. Det er en ønskelig utvikling med både tid og økonomi i tankene, men det kan også føre til bedre kvalitet på arbeidet som gjøres når en kan ta i bruk et instrument som er bedre enn det andre på den spesifikke jobben.

Vi ønsker å undersøke hvilken målemetode som egner seg best til sluttdokumentasjon av fjellskjæringer og betongkonstruksjoner som er ferdig konstruert basert på kriteriene *effektivitet, kostnad og kvalitet*. For å utføre undersøkelsen skal vi benytte oss av fire målemetoder hvor noen av metodene er velprøvde og noen er mindre velprøvd. Til datafangsten skal vi benytte fotogrammetri med drone, LiDAR fra terrestrisk laserskann og GNSS med visuell posisjonering. Her bør det også nevnes at det er to typer LiDAR som skal benyttes.

Denne oppgaven kan bli ganske omfattende og det er derav bestemt at det kun skal måles på to områder. Til tross for at det kunne vært interessant å skanne inn flere skjæringer og kulverter må vi også ta hensyn til tiden. Oppgaven har også blitt begrenset til kun fire instrumenter til tross for at vi var interessert i flere under diskusjonen om hva som skulle brukes. Det har også blitt gjort et valg om å bruke så lite ekstra utstyr som mulig.

Med denne oppgaven håper vi å kunne gi et innsyn i hvor langt teknologien og fagfeltet har kommet og hvilken retning det er mulig den vil ta fremover.

Med bakgrunn i dette er følgende problemstilling utarbeidet:

I hvilken grad er målemetoder egnet til skanning med hensyn på kostnad, kvalitet og effektivitet?

2 Teori

2.1 GNSS

Global Navigation Satellite System (GNSS) er en samlebetegnelse for de ulike satellittsystemene som er i bruk for stedfestning: GPS, Glonass, Galileo og flere (Norberg, 2014)

Målemetoden går ut på å finne posisjonen til en mottaker basert på informasjon om satellittenes posisjon. Mottakeren leser av posisjonen til satellittene og på bakgrunn av satellittdataene beregnes posisjonen til mottakeren.



Figur 1: Til venstre ser vi et bilde av GNSS roveren med målebok; til høyre ser vi et nærbilde av kameraet i roveren.

Vi har flere metoder for å finne posisjonen til roveren, den første er differensiell statisk måling, den andre er differensiell sanntidsmåling og den tredje og nyere målemetode er PPP.

Den første metoden, statisk måling, innebærer å stille opp antennen i et fast punkt hvor antennen står over en lengre periode og leser posisjonen til satellittene. Posisjonen til mottakeren finner vi etter vi har prosessert og bearbeidet rådataen som antennen har samlet inn i et beregningsprogram.

Den andre metoden er differensiell sanntidsmåling med RTK hvor man har en eller flere basestasjoner som leser av satellittenes posisjon kontinuerlig og posisjonen til antenne beregnes i sanntid. Posisjonen til antennen kalles for en basestasjon siden basens posisjon nå er kjent. Fra basestasjonen sendes et korrigeringsignal til roveren og posisjonen til roveren beregnes på bakgrunn av dette. Fordelen med denne målemetoden er at vi får vite posisjonen til antennen umiddelbart, men med noe lavere nøyaktighet. Metodene krever en GNSS antenne som er i stand til å lese en eller flere frekvenser, men også er i stand til å lese av korrigeringsignal.

Den tredje metoden, PPP, er en nyere målemetode som gjør det mulig å oppnå centimeters nøyaktighet på målingene ved å bruke bare en mottaker. Målemetoden gir en nøyaktighet på centimeternivå ved statisk metode eller desimeters nøyaktighet på kinematisk posisjonering (J. Sanz Subirana, 2013, s.151). Mottakeren bruker en kombinasjon av presis banedata fra satellittene, nøyaktig data fra satellittklokkene og de atmosfæriske forholdene som den ionosfæriske refraksjonen er fjernet og den troposfæriske refraksjonen er modellert og tatt hensyn til i beregningen av mottakerens posisjon (J. Sanz Subirana, 2013, s.152).

Systemet er delt inn i tre segmenter. Den først er kontrolldelen. Kontrolldelen består av fem stasjoner som er spredt rundt om på jorden. Hensikten med denne delen av segmentet er å kontrollere at satellittene fungerer. Den andre delen av systemet er romdelen og det er her finner vi satellittene, støttesystemer raketter og utskytningsramper. Satellittene i GPS systemet sender ut bærebølger på flere frekvenser. Disse frekvensene er L1, L2 og L5 (J. Sanz Subirana, 2013, s.19). Satellittene sender ut informasjon på frekvensene konstant ned til jorden slik at informasjonen på bærebølgene kan tolkes av en GNSS antenne nede på jorden. Ved å tolke bærebølgene fra satellittene får vi «ranging codes» på binær form som brukes til å bestemme reisetiden til signalet fra satellitten til mottakeren på bakken. Vi får også navigasjonsdata på binær form fra satellitten som sier noe om posisjonen til satellitten, helsestatus til satellitten og annen komplimenter informasjon om satellitten (J. Sanz Subirana, 2013, s.18)

Det tredje segmentet er brukersegmentet. Her finner vi alle mottakere på land og på vann som er i stand til å motta signal fra GNSS-satellittene (Norberg, 2014, s.55). Mottakere i brukersegmentet kan være GPS-antenner som vi finner i mobiltelefoner for navigasjon eller for eksempel GNSS-antenner som brukes til landmåling.

2.1.1 Nøyaktighet

Måler vi i sanntid hvor mottakeren leser av posisjonen til satellittene kan man oppnå en nøyaktighet på Hz 8 mm + 1 ppm/V 15 mm + 1 ppm. Kobles antennen opp mot et nettverk med basestasjoner er det mulig å oppnå en litt høyere nøyaktighet Hz 8 mm + 0.5 ppm /V15 mm + 0.5ppm. Benytter vi oss av samme utstyr og måler statisk fasemåling med lange observasjoner vil vi kunne oppnå en nøyaktighet på Hz 3 mm + 0.1 ppm/ V3.5 mm + 0.4 ppm. Statisk fasemåling med raske faser kan det oppnås Hz 3 mm + 0.5 ppm/V 5mm +0.5 ppm. (AG, 2020). Informasjon i tabellen under er hentet fra databladet til GS18I roveren som er benyttet i prosjektet.

	Hz - Horisontalvinkel	V - Vertikalvinkel
Sanntidsmåling over single baseline	8 mm + 1ppm	15 mm + 1ppm
Sanntidsmåling koblet opp mot et nettverk av basestasjoner	8 mm + 0.5ppm	5 mm + 0.5ppm
Statisk fasemåling med lange observasjoner	3 mm + 0.1ppm	3.5 mm + 0.4ppm
Statisk fasemåling med raske faser	3 mm + 0.5ppm	5mm +0.5ppm

Tabell 1: Utdrag fra databladet til Leica GS18I.

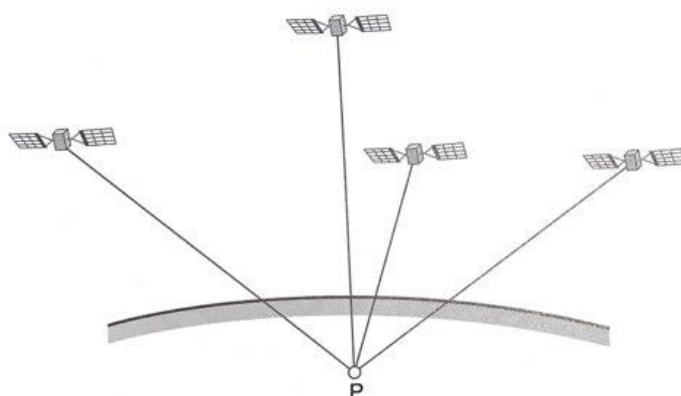
2.1.2 Feilkilder ved bruk av GNSS

Måling med GNSS er ikke alltid feilfritt. Derfor er det viktig å vite om feilkildene og usikkerhetene som kan påvirke målingene.

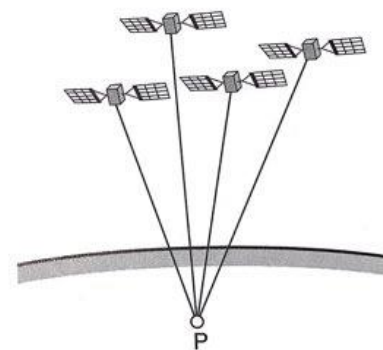
Satellittene går i en bestemt bane rundt jorden i en hastighet på rundt 4 km/t. Banekursen til satellittene er påvirket av jordens tiltrekningskraft som er en av faktorene som påvirker kursen til satellittene rundt jorden. Denne kraften må korrigeres ved å bruke satellittenes interne jetmotorer til å styre satellitten tilbake i rett bane (Norberg, 2014, s.63). Faktoren det beskrives her er banefeilen til satellittene. En annen naturlig feilkilde som påvirker måleresultatet, er menneskelig svikt. En vanlig feil som kan forekomme i det daglige arbeidet som landmåler er feil antennehøyde på GNSS roveren. En feil av denne typen kan fort skje i det daglige arbeidet siden roveren monteres og pakkes ned flere ganger i løpet av en arbeidsdag. For å unngå dette er det best å bruke en fast høyde hele tiden og heller avvike fra vanlig høyde ved situasjoner hvor man ikke får tilstrekkelig signal i form av manglende fix-løsning.

Manglende fix er en feil som kan forekomme blant annet ved måling nært hus eller under trær som gjør at vi mister tilgangen til flere satellitter (Norberg, 2014, s.82). Måling uten fix-løsning resulterer i en unøyaktig måling som avviker fra den gode nøyaktigheten som en sanntidsmåling skal ha (Norberg, 2014, s.82).

Satellittgeometri sier noe om vinkelen mellom mottakeren på jorden og satellittens posisjon på himmelkulen. Vi får god geometri mellom satellitt og mottaker når satellittene er spredt godt utover himmelkulen. Nøyaktighetsmålet på satellittgeometri er PDOP. God satellittgeometri oppnår vi med en lav geometri slik som vi ser i figuren under til venstre. Verdien for god PDOP er under 4 og PDOP over 8 gir dårlig nøyaktighet (Norberg, 2014, s.67).



Figur 4.17a Gunstig geometri

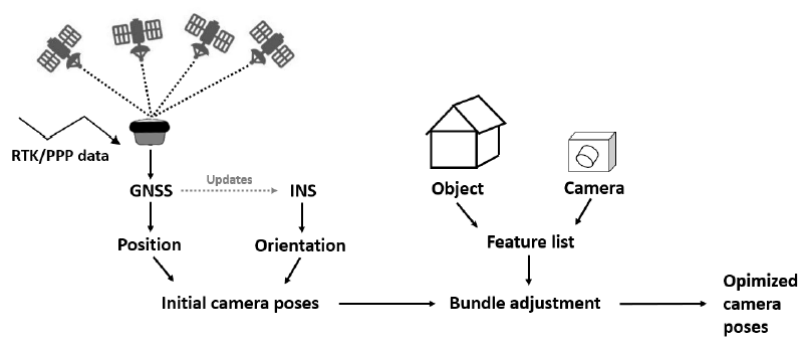


Figur 4.17b Ugunstig geometri

Figur 2: Til venstre ser vi et eksempel på god satellittgeometri; til høyre ser vi et eksempel på dårlig satellittgeometri (Norberg, 2014, s.67)

2.1.3 Visuell posisjonering

GS18I er basert på antennen GS18T, antennen har all funksjonaliteten til antennen GS18T (*Leica GS18 I GNSS RTK-rover, 2021*). Ved å kombinere posisjonsegenskapene til GNSS enheten og orienteringen til den interne navigasjonssensoren i antennen får vi posisjonen til kameraet som er integrert i enheten. Bildene som kameraet har tatt av objektet er samlet i en felles bildegruppe som kan eksporteres til et bildebehandlingsprogram som gjør justeringer basert på kameraets posisjon og avansert programvare (Schaufler, 2020).



Figur 3: Flyttdiagram som representerer optimaliseringsprosessen til kameraets posisjoneringsestimering (Schaufler, 2020)

2.2 LiDAR

I dag blir det brukt en del skanning i ulike industrier, blant annet i byggebransjen. I mange tilfeller blir det brukt metoder for å måle inn mange forskjellige overflater og objekter. Det er mulig å gjennomføre en slik måling med utstyr som baserer seg på laserteknologi. Det eksisterer to grunnleggende metoder for bruk av lasermåling; Light transit time estimation (Ltte) og triangulering (Vosselmann & Maas, 2010).

Trianguleringsmetoden bruker pulser med laser til å bestemme avstand og beliggenhet ved hjelp av triangulering (Vosselmann & Maas, 2010). Utstyret brukt i denne undersøkelsen anvender ikke triangulering, så det vil ikke bli gått mer i dybden på denne metoden.



Figur 4: Til venstre ser vi et bilde av en RTC360 skanner; til høyre ser vi en iphone 12 med lidarintegrasjon.

LiDAR, eller Light detection and ranging, er en måte å skanne inn overflater for å opprette en punktsky som kan brukes til å lage 3D-modeller. Teknologien har eksistert en stund og er et veldig godt verktøy for modellering, dokumentering og kontrollering av bygninger, enkeltgjenstander og terreng. Måleinstrumenter som tar denne teknologien i bruk, opererer på forskjellige måter, men det fundamentale er felles for alle metodene. Lidar-teknologi baserer seg på konsentrert lys som blir sendt ut fra et instrument. Lysstråler med kort bølgelengde blir sendt ut fra instrumentet, og dette kan gjøres på to ulike måter. LiDAR-skanning deles ofte opp i to metoder, fase og pulsmålinger. Forskjellen på metodene er at pulsmålinger sender ut lys «gruppevis» med korte intervaller mens fasemålinger sender ut kontinuerlige lysbølger (Vosselmann & Maas, 2010).

Når instrumentet har sendt ut en lasersekvens vil dette kategoriseres som en puls. Det blir enten sendt ut flere pulser i sekundet eller en kontinuerlig puls. Lidar-instrumenter oppnår høy nøyaktighet ved å måle tiden pulsene bruker på å returnere eller ved å sammenligne faseforskjeller. Lys blir brukt til slik måling av distanse da det egner seg godt siden det beveger seg med en kjent og begrenset hastighet. Dagens aksepterte hastighet for lys i et vakuum er 299 792 458 m/s. Med denne verdien kan man regne ut hastigheten til lyset gjennom luften i atmosfæren vår (Vosselmann & Maas, 2010).

Det finnes ulike kategorier av laser differensiert etter styrke på lyset. I de aller fleste moderne måleinstrumentene vil det bli brukt laser klasse 1. Laser klasse 1 har lite energi sammenlignet med andre typer laser, og er i teorien trygt å bruke på steder folk samles eller ferdes, spesielt med tanke på øynene til mennesker på anlegg eller fotgjengere som går forbi en aktiv måling. Det er likevel ikke anbefalt å se direkte på instrumentets laser. Det finnes også andre klasser med mer energi hvorav flere av disse kan være farlige for mennesker, men de egner seg ofte bedre til å måle lengre avstander på grunn av den høye energien (Vosselmann & Maas, 2010).

«Ltte»-metodene måler tiden fra en puls blir sendt ut og til signalet returnerer. En puls kan gi flere «returns», hvilket er en god egenskap i visse skannejobber. Det er høy nøyaktighet på målinger basert på «ltte», ofte på millimeters nøyaktighet, men det er på bakgrunn av hvor nøyaktig man kjenner til lysets hastighet i det mediet lyset beveger seg igjennom samt andre feilkilder som kan forekomme under måling. Hastigheten er godt kjent i dag, men den varierer mellom ulike steder. Dette er fordi man må korrigere hastigheten basert på refraksjonsindeksen, hvilket blir faktorisert inn. Refraksjonen avhenger blant annet av temperatur, trykk og fuktighet (Vosselmann & Maas, 2010).

Pulsene som blir returnert kan kategoriseres på ulike måter, blant annet «number of return» eller intensitet. Basert på dette kan man fremheve de resultatene man ønsker å vise frem i punktskyen sin. Slike metoder brukes ofte når man skal produsere terrengmodeller, men de kan også brukes til å rense ut støy-målinger (Arcgis, 2021). Støy som oppstår, er feilaktige målinger som blir visualisert som punkter som ikke er reelle. Man kan oppleve støy i målingene av forskjellige årsaker, blant annet av blanke overflater, rør og perforerte overflater (Vosselmann & Maas, 2010).

Måleinstrumenter med LiDAR kan bli brukt på fly fra lange distanser, men måleinstrumentene vi skal bruke er enten håndholdt eller terrestrisk, altså instrumenter som opererer nært bakken. Slike instrumenter vil ofte ikke kunne måle objekter som er posisjonert lenger enn 300 meter unna instrumentets posisjon (Vosselmann & Maas, 2010). Dermed må man sette opp flere stasjoner for å få et helhetlig bilde i punktskyen. Av denne grunn kan det være viktig å bruke blinker som kan brukes til å tilpasse punktskyene slik at de står riktig ovenfor hverandre. Det er også viktig at de overlapper. Noen nyere instrumenter, blant annet RTC360, prøver å forenkle prosessen ved å automatisk rette inn stasjonene mot hverandre (AG, 2020). Dersom dette blir gjort korrekt, vil det spare mye tid samt gjøre det enklere å sjekke målingene av punktskyene i sanntid. RTC360 gjør dette ved å bruke fem kameraer på sidene som automatisk fanger opp hvor den har blitt flyttet basert på tidligere oppstilling og lager en link mellom oppsettene (AG, 2020).

En måling av punkt vil alltid ha feilmarginer eller en usikkerhet. Laserskannere er ikke utelukket fra dette. Man skal likevel være oppmerksom på at forskjellige instrumenter har ulike toleranser og rammer for målinger. Altså vil nøyaktigheten variere noe avhengig av hvilket instrument som er i bruk. Likevel kan det sies at de fleste instrumenter, eldre og nyere, har en teoretisk nøyaktighet i millimeters-ordenen. Det er likevel i størst grad instrumentets bruk og forhold på måledagen som er med på å bestemme hvor nøyaktig punktskyen blir (Vosselmann & Maas, 2010).

Når man måler med LiDAR, må man være oppmerksom på flere eksterne variabler. Sterkt sollys, blanke materialer i skanneområdet og nedbør kan senke kvaliteten og i noen tilfeller gjøre gjennomføring av måling nærmest umulig. Refraksjonsendringene som et resultat av ett eller flere av disse variablene vil gjøre det vanskelig for skanneren å måle nøyaktig, men spesielt bør man vise hensyn til blanke overflater da det er vanlig i skanneområder og i noen tilfeller uunngåelig, spesielt om man skal måle inn rom med rør, glass eller andre blanke materialer. Kvaliteten og støymengde kan også avhenge av geometrien til skanningen i en viss grad (Vosselmann & Maas, 2010).

På Leica sine sider kan man hente en datasheet som gir nøkkeltall for alle skanneprodukter de selger. Tallene i tabellen under er hentet fra en datasheet fra Leica (AG, 2020).

Leica RTC360	
Max range	130 m
Resolution settings	3/6/12 mm @10m
Scan rate	Opptil 2 millioner pts/s
Laser klasse	Klasse 1
Tilt-sensor	IMU
3D-nøyaktighet	6.4 mm @50 m, 12.5 mm @ 100m
Operating temperatur	-5 til +40 C

Tabell 2: Tabell som viser spesifikasjonene til RTC360 (AG, 2020).

I denne undersøkelsen bruker vi Leica RTC360 og Apple iPhone 12 Pro. Begge disse produktene bruker LiDAR, men det er kun RTC360 har en LiDAR som er tiltenkt å gjennomføre skanning av større områder med høy nøyaktighet. Utenom kameraene på skanneren fungerer RTC360 i stor grad basert på samme prinsipp som andre laserskannere. Siden effektivitet er hovedfokuset kan den også skanne opp mot 2 millioner punkter per sekund, det dobbelte av P40 og P50, men med lavere punkttetthet. RTC360 anvender seg av pulsmålinger. Dette er blant annet for å kunne opprettholde en så høy skannerate som Leica lover med dette instrumentet (AG, 2020). Den har også et bevegelig skannerhode, i motsetning til iPhone som har et fastmontert skannerhode. Instrumentet er i stand til å gjennomføre målinger på under to minutter med en relativt høy nøyaktighet med denne teknologien (Apple, 2020).

LiDAR'en i iPhonen er i hovedsak tenkt å støtte AR-programvare på telefonen (Apple, 2020), men skal likevel i teorien være i stand til å gjennomføre liknende skanning som RTC360. Det er per i dag lite med programvare på iPhone som støtter bruk av LiDAR utenfor til bruk i AR-sammenheng. På grunn av at primærfokuset til Apple er AR og ikke laserskanning rettet mot det profesjonelle markedet er det også vanskelig å si noe om den teoretiske nøyaktigheten til LiDAR'en.

Apple deler ikke informasjon om hvordan deres LiDAR fungerer, nøyaktigheten på dette systemet eller hvem som produserer det. Ifølge Forbes, gjennom en journalist som fokuserer på teknologi, anvender Apple VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Lasers) fra Lumentum som lyskilde og SPAD (Single-Photon Avalanche Diode) som mottaker på sine modeller (Rangwala, 2020). Det oppgis ikke kilder og det kan derfor ikke vurderes hvorvidt denne informasjonen er korrekt. Det oppgis også fra flere andre nettsider, blant annet CNET (Stein, 2021) og Techradar (Wilson, 2020), at skanneren på Apple sine produkter skal ha omtrent 5 meters rekkevidde, men det mangler kilder også på disse nettsidene. Dersom denne informasjonen stemmer kan vi ta i utgangspunkt at LiDAR-skanneren i disse produktene anvender laser med bølgelengder opp til 940 nm (Rangwala, 2020).

2.3 Drone

Phantom 4 RTK er en drone produsert av DJI. Selve dronen veier 1391 gram og har en diagonal lengde på 35 cm. Den har 4 propeller og kan komme opp i en hastighet på 58 km/t. Til tross for at dronen kan fly høyt er det regulert etter luftfartsloven gjennom forskrift at den maks skal fly 120 meter over bakken (Lovdata, 2021). Batteritiden på dronen er estimert til å holde i omtrent 30 minutter dersom den er fulladet. Når dronen svever (hover accuracy) i ro skal den stå stille med en 10 cm nøyaktighet både horisontalt og vertikalt mens RTK er aktivert.

Kameraet på dronen har en 1" CMOS sensor med et 84 graders «field of view». Bildene blir levert i 5473x3648 (3:2) piksler og eksportert i JPEG-format mens video blir eksportert i MOV-format. Både dronen og kameraet er anbefalt å ikke brukes ved minusgrader eller høyere temperaturer enn 40 grader (DJI, 2021).



Figur 5: Til venstre ser vi et bilde av dronen; til høyre ser vi en nærmere illustrasjon av kameraet til dronen

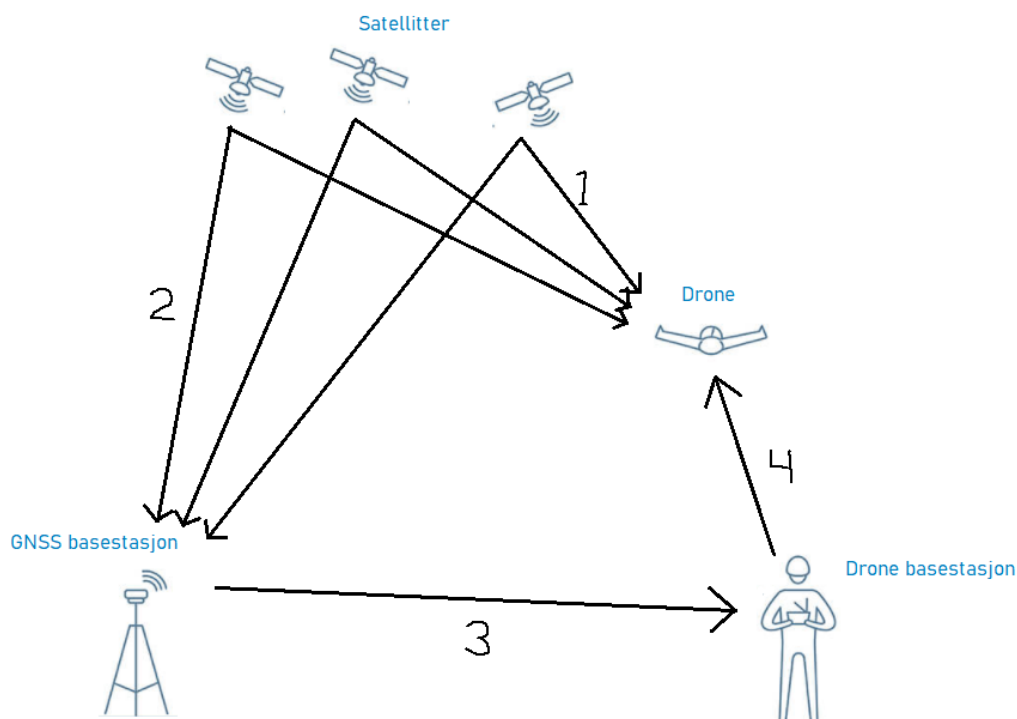
Ved bruk av RTK-teknologi skal dronen kunne få nøyaktigheter ned på cm nivå selv med mindre ground control points (DJI, 2021).



Figur 6: Nøyaktigheten til posisjoneringen av dronen (DJI, 2021).

RTK er en GPS-korrelasjonsteknologi som blir brukt samtidig som dronen flyr. Den fanger opp sanntidskorrigeringer av lokasjonsdata mens dronen tar bilder av feltet og danner en modell ved fotogrammetri. RKT gjør datainnsamlingen ekstremt tidssparende i forhold til metoder som er blitt brukt før, som for eksempel ved GCP-teknikk (ground control points), en teknikk som krever mange kontrollpunkter. RTK kan trolig spare opp mot 75 % av tiden (Heliguy, 2019).

I Phantom 4 RTK finnes en GPS-modul, dronens egen GPS brukes til å danne utgangspunktkoordinater. Disse koordinatene egnes ikke til målinger ettersom nøyaktigheten ikke er av høy nok nøyaktighet. For å fikse dette problemet brukes en «fixed» basestasjon som har en fast og nøyaktig posisjon. Dermed knyttes RTK dronen seg opp mot basestasjonen. Basestasjonen vet nøyaktig hvor dronen befinner seg i forhold til basen til enhver tid. Den tar altså inn data om hvor dronen «tror den er» og finner ut hvor den «egentlig er», og dermed overfører korreksjonsdata til dronen som gjør at punktene korrigeres (Ferntech, 2019). Basestasjoner kan enten brukes ved å bruke en basestasjon som allerede finnes, men det er også mulig å sette opp en ny basestasjon.



Figur 7: Illustrasjon som viser hvordan kommunikasjonen mellom dronen, basestasjonen og satellittene

1. Dronen tar inn GPS-signal om hvor den tror den er. Disse dataene er for unøyaktige til å gjøre nøyaktige målinger, men det gir målingene et utgangspunkt.
2. En fast basestasjon bruker satellitter til å danne en nøyaktig posisjon.
3. Basestasjonen har kontakt med dronen og vet hvor den befinner seg i forhold til GNSS basestasjonen. GNSS basestasjonen sender korrigeringskoordinater til dronens basestasjon ettersom den vet hvor dronen er i forhold til basestasjonen.
4. Fra drone basestasjonen sendes korrigeringskoordinatene videre til dronen som tar imot korreksjonen. Korreksjonskoordinatene legges til de opprinnelige koordinatene og resultatet skal/bør være relativt nøyaktig om ingenting galt har skjedd.

Selve punktskyen som dannes skjer ved fotogrammetri. Fotogrammetri er vitenskapen og målemetoden som tar for seg flere bilder til å bestemme fysiske egenskaper som beliggenhet, størrelse og form (Dick, 2020). Fotogrammetri har et bredt bruksområde og kan brukes til å måle både bygninger, konstruksjoner og/eller landbruk. Fotogrammetri fungerer slik at to eller flere bilder tas av samme objekt fra to eller flere forskjellige vinkler. Ved å bruke lokaliseringsdataen til bildene er det mulig triangulere punktene av objektet. Desto flere bilder som blir tatt fra forskjellige lokasjoner jo bedre blir nøyaktigheten på trianguleringen (Dronegenuity, 2020). Etter du har generert punkter fra trianguleringen kan du deretter danne en 3D-modell av punktskyene i pix4d.

Ulemper ved en RTK-drone som anvender GPS-signal er at det alltid er en risiko for at signalet blir svakt eller mistes. Dersom dronen befinner seg i et område der GPS-signal blokkeres eller avgrenses vil målingene kunne bli unøyaktige. Ved en slik RTK-metode er det også avgjørende at området har en spesifikk basestasjon som dronen kan ta av fra med sterkt signal (Heliguy, 2019).

Dersom basestasjonen er plassert nærme blanke overflater, som for eksempel flate metallgjenstander, kan signalhindringer og multipath (reflektert signal) bli et problem. En mottaker har også problemer med radioforstyrrelser. Dersom radio- eller radarutslipp er rettet mot en mottaker kan det skape markante signalproblemer og i verste fall tap av signal. En basestasjon burde plasseres med sikt til alle himmelretningene, uten et sted hvor radioforstyrrelser kan bli et problem (Trimble, 2020).

2.4 Totalstasjon



Figur 8: Til venstre ser vi en Leica TS12 som vi brukte i prosjektet; til høyre ser vi en moderne Leica Nova TS60 totalstasjon.

Totalstasjonen er et instrument som brukes av veldig mange landmålere i det daglige arbeidet. Instrumentet har en integrert teodolitt, som måler vinkler mellom horisontalplanet og vertikalplanet, og en integrert avstandsmåler som sammen måler avstanden fra instrumentet til objektet det måles mot. Avstandsmåleren sender ut en laserpuls som reflekteres ved objektet og sendes tilbake til mottakeren.

Instrumentet er festet en trefot som gjør det mulig å horisontere opp instrumentet slik at det står i samsvar med horisonten. Trefoten er et stativ som er justerbart slik at landmålere får instrumentet i operatørhøyde. Sammen med instrumentet er det ofte en målebok som kan kobles trådløst til instrumentet, noe som gjør det mulig å fjernstyre instrumentet. Måleboken er elektronisk og brukes til registrering, beregning og lagring av data (Ørstavik, 2020).

Måling med totalstasjon kan starte når man har forsikret seg om at instrumentet er stilt opp over et stabilt underlag og det er horisontert. Horisonteringen gjøres først ved å justere inn etter den grove dåselibellen. Når instrumentet er i vater, kan instrumentet startes. Når man starter instrumentet kan man sjekke om instrumentet er i vater ved å kontrollere den elektroniske libellen som er integrert i instrumentet samt å forsikre seg om at den elektroniske kompensatoren er slått på. Kompensatoren kompenserer for avviket til den manuelle libellen til instrumentet og fungerer kun innenfor et begrenset område. Moderne instrumenter har en såkalt to-akset kompensator, men selv om instrumentet har denne funksjonen bør man gjøre en god jobb ved å horisontere instrumentet under oppstilling (Norberg, 2014).

Målingens nøyaktighet forutsetter at instrumentet er kalibrert ved jevne mellomrom. Kalibrering av instrumentet er en oppgave som må gjøres ved jevne mellomrom da det forsikrer landmåleren om at instrumentets avvik er uendret. Siden totalstasjonen utsettes for daglige påkjenninger som vibrasjoner og støt ved transport til og fra anlegget. Vil en kalibrering av instrumentets horisontalretning, vertikalretning, kompensator og avstandsmåler sikre høy nøyaktighet på målingene (Norberg, 2014). Siden totalstasjonen ikke er et sentralt instrument i oppgaven, går vi ikke mere i dybden på prosedyren ved kalibrering av instrumentet. Ved starten av prosjektet ble totalstasjonen kalibrert. Totalstasjonen som ble brukt i oppgaven var en eldre modell, nærmere bestemt en totalstasjon av typen TS12.

2.4.1 Nøyaktighet

For å danne en viss forståelse for hvor nøyaktig en totalstasjon kan være er det nødvendig å se på de karakteristiske trekkene til en moderne totalstasjon. Nøyaktigheten til en moderne totalstasjon vil kunne påvirkes av ytre forhold, noe man må ta til betraktning når man skal vurdere kvaliteten på målingene. Med ytre forhold så menes det blant annet faktorer som sollys, skygge og varmeklirmer fra asfalt.

Verdiene i tabellen under er et utdrag hentet fra databladet til den spesifikke modellen som vi finner på markedet i dag. Tabellen er delt opp i tre deler hvor vi ser nøyaktigheten på vinkelmålinger, rekkevidden og nøyaktigheten på avstandsmålingen. Vinkelmålingen har en nøyaktighet på 0.15 milligon, hvilket er ekstremt nøyaktig. Vi ser at rekkevidden på avstandsmåleren er betraktelig høyere ved bruk av prisme. Hvis vi sammenlikner nøyaktigheten til målingen med og uten prisme ser vi at vi har høyere nøyaktighet ved bruk av prisme. Dette er forutsatt at man har innstilt instrumentet på rett prismekonstant. Prismekonstanten er korreksjon man behøver å bruke siden lyshastigheten i glass og luft ikke er lik. Denne verdien må dermed tas med i måleberegningene. Prismekonstanten varierer mellom ulike prizmer og det kan dermed være lurt å lagre denne på måleboken eller i totalstasjonen (Norberg, 2014).

Leica NOVA TS60		
Vinkelmålinger	Absolutt, kontinuerlig	0.5'' (0.15 mgon)
Rekkevidden på avstandsmålingen	Med prisme (GPR1) ³	0.9m to 3,500m
	Uten prisme/ uansett overflate ⁴	0.9m til >1,000m
Nøyaktigheten på avstandsmålingen	En måling (med prisme) ^{2,5}	0.6mm + 1ppm
	En måling (uansett overflate) ^{2,4,5,6}	2mm + 2ppm

Tabell 3: Viser hvilken nøyaktighet vi kan oppnå ved bruk av totalstasjon (Geosystems, 2020).

1 Object in shade, sky overcast, Kodak Gray Card (90% reflective)

2 Overcast, no haze, visibility about 40 km, no heat shimmer

3 1.5m to 2000m for 360° prisms (GRZ4, GRZ122)

4 Object in shade, sky overcast, Kodak Gray Card (90% reflective)

5 Standard deviation ISO 17123-4

6 Distance > 500m: Accuracy 4mm+2ppm, Measurement time typ. 6s

Lasermålingene i eksempelinstrumentet er coaxial med synlig rød laser. Denne har størrelsen 8mm x 20mm målt på en avstand på 50 meter fra instrumentet (Geosystems, 2020). For dette prosjektet er ikke nøyaktigheten til totalstasjonen en avgjørende faktor siden vi jobber med nøyaktighet på cm-nivå. Hensikten med denne delen av teorien er å få klarlagt hvor nøyaktig totalstasjonen er i det daglige arbeidet til landmåleren. Det må da nevnes at på betongkonstruksjonen er nøyaktighetskravet til målingene høyere enn de ville ha vært på målinger som gjøres mot skjæringen.

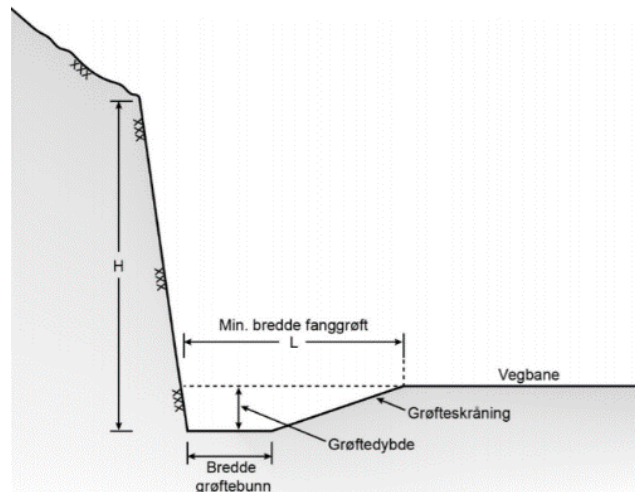
2.5 Vegnormalene og utforming av bergskjæring

Ved utforming av bergskjæringer er det flere standarder som kommer til anvendelse. For konstruksjon av bergskjæringer er det blant annet vegnormalen N200 og normalen N101 rekkverk og vegens sideområde som kommer til anvendelse. I tillegg er veilederen V225 bergskjæringer også relevant. Normalene er utformet av statens vegvesen som er et forvaltningsorgan underlagt samferdselsdirektoratet. Vegvesenet er organisert med flere underavdelinger som har ansvar for blant annet forvaltning av eksisterende riksveier, utredning og bygging av nye riksveier. Organet har utarbeidet flere standarder som setter rammene for kvaliteten og utformingene av de nye veiene som bygges i Norge (Vegvesen, 2018).

«N200 er den grunnleggende tekniske standarden for vegbygging i Norge» (Vegvesen, 2018).

Rammene danner grunnlaget for prosjekteringen av nye veier og det er disse standardene som er benyttet i prosjekteringen av E39 Mandal øst – Mandal by. Standarden N200 om vegbygging er et sentralt dokument. Prosjektet ligger i et område hvor det er dype daler og bratt og kupert terreng, noe som resulterer i at prosjektet har mange fjellskjæringer og fyllinger. Skjæringenes funksjonskrav kommer frem av standarden og det er krav om at disse skal prosjekteres slik at de er vedlikeholdsfrie i 20 år etter bygging. Skjæringene skal utformes

slik at det ikke er fare for nedfall av is og stein på vei. Dette løses ved å bygge skjæringen med en helning på 10:1 eller brattere. En fanggrøft etableres i bunnen av skjæringen slik at om det skulle falle ned is eller stein så lander den i grøften.

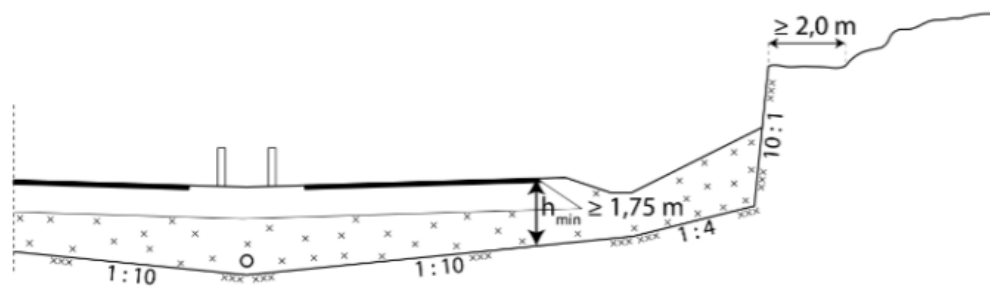


Figur 9: Figur 222.1 vegvesenet sin standard N200 om hvordan skjæringer skal utformes.

Ved vegbygging er det flere steg i prosessen fra jomfruelig terreng fram til ferdig veg. Kvaliteten på ferdig vei er avhengig av at alle steg underveis i prosessen er utført av fagkyndige innenfor rammer fastsatt av vegvesenet og staten som forvaltingsorgan. Det første som skjer i prosessen, er at veitraseens ytterpunkt markeres slik at skogen kan fjernes. Når skogen er fjernet er det klart for å renske fjellet for torv og løsmasser. Vi ønsker å fjerne løsmassene for å blottlegge fjellet slik at minst mulig humus kommer med i sprengmassene og blander seg med stein som senere skal benyttes til fylling andre steder i vegtraseen.

Når fjellet er rensket kan boreriggene kjøres inn på området. Boreriggene borrar etter en prosjektert boreplan som forteller maskinføreren hvor dypt de skal bore, tettheten på borehullene og vinkelen på borehullene. Alle disse faktorene og sprengbarheten til fjellet påvirker størrelsene på fraksjonene i massene og hvordan grad pigging av stein er nødvendig.

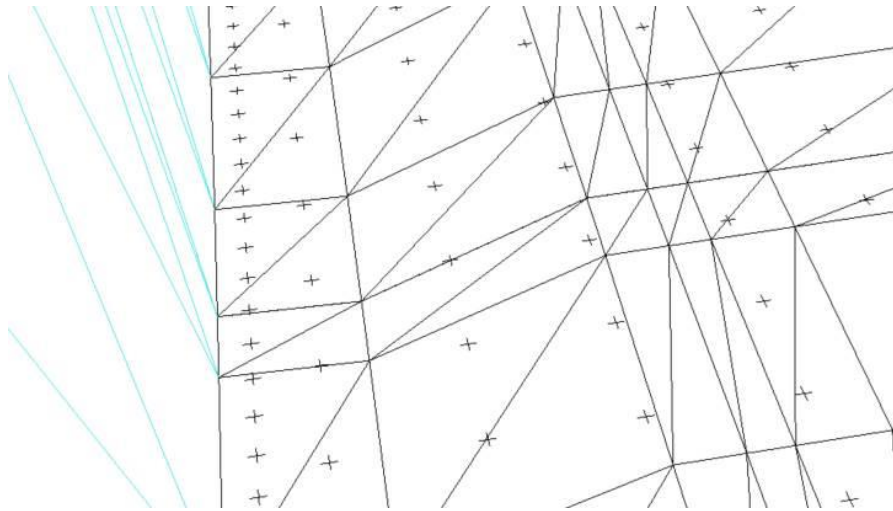
Pigging er en kostbar jobb som krever mye tid og ressurser. Man ønsker minst mulig pigging og det oppnår en ved blant annet dypsprengning. Dypsprengning er en teknikk som innebærer å sprengne seg ned på ett lavere nivå enn nødvendig under prosjektert veg. Ved å gjøre dette oppnår vi to ting, bedre drenering siden vi nå har mulighet til å bygge opp vegen med pukk som drenerer godt og minimering av risiko for knøler som stikker opp.



Figur 10: Illustrasjon av dypsprengning under veg.

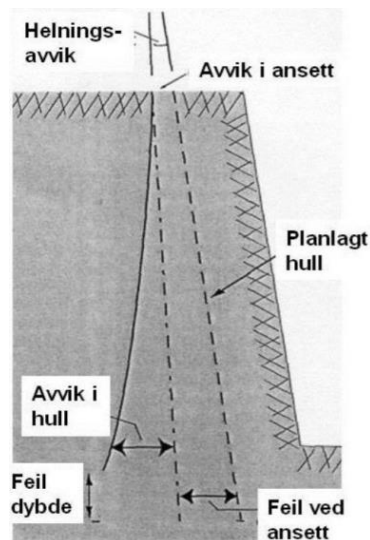
For å få en glattere struktur med en jevn overflate på fjellskjæringen bruker vi en teknikk som heter konturboring. Konturboringen finner vi i ytterkanten av berget som skal sprenges vekk. Her kommer skjæringen til syne når massene er fjernet etter sprenging.

Konturen bores med en tetthet på 70 cm senter – senter. Resultatet er at vi får en glattere struktur på skjæringen. Figur 13 viser et eksempel på hvordan en slik boreplan ser ut i praksis sammen med den prosjekterte veimodellen. Helt til venstre i bildet ser vi lyseblå linjer, disse viser hvor ytterkanten av skjæringen kommer. Til høyre for disse ser vi en tett linje med kryss. Disse kryssene viser hvor konturhullene skal bores. Til høyre for den tette raden med konturhull har vi flere rader med kryss som har større avstand mellom kryssene. Her skal det også bores, men her vil vi få større fraksjoner i massene.



Figur 11: Bildet viser hvordan en boreplan kan se ut. Her vist sammen med prosjektert veimodell. Bildet er fokusert ned i fallgrøften ved foten av skjæringen. Kilde Zenith Survey.

For å få veien ned på rett høyde vil det i noen tilfeller være nødvendig å bore med en teknikk som heter pallsprengning. Boreriggene er konstruert for å bore hele dybden av berget, det vi risikerer ved å ikke bruke pallinndeling er for smal bredde på veien. Teknikken innebærer å først bore ned til en høyde som er rundt halvveis ned i berget, boreriggene kjøres så ut av området. Det andre steget er å sprengre ut fjellet. Massene transporteres ut av området. Det tredje steget er å kjøre inn boreriggene og gjenta prosessen. Nå skal det bores ned til dypsprengningen. Vi starter med å bore et stykke ut fra den første konturen slik at vi får et platå mellom pallene. Ved å forskyve konturen oppnår vi to ting. Det første er at vi tar mindre risiko for at boreavvik i bunnen av borehullene. Sannsynligheten for boreavvik er større jo lengre vekk fra boreriggene man kommer ned i fjellet. Det er illustrert i figur 14 hvor vi ser et eksempel på hvordan avviket fra planlagt hull kan bli. Det viktigste vi oppnår ved å bruke pallsprengning er tilstrekkelig med bredde på veien og minst mulig avvik fra prosjektert veimodell. Mindre avvik fra planlagt hull vil i tillegg minske behovet for pigging og det er dette vi ønsker. Det andre vi oppnår ved å gjøre det slik er høyere trafiksikkerhet. Hvordan vi oppnår dette er ved å vinkle konturen som nevnt lengre opp og ved å lage et platå mellom de to pallene. Steinen faller da ned fra toppen av skjæringen, hastigheten på fallet til steinen dempes på platået mellom pallene før steinen faller ned i fallgroppen.



Figur 12: Illustrasjon av boreavvik ("*Bergskjæringer V225*," 2020, s.47).

Standarden sier noe om hvordan vi forholder oss til knøler i forbindelse med konstruksjon av skjæringer. Ved dypsprengning er minstekravet fra vegoverflate til topp av knøler 0.75 m (Vegvesen, 2018). For å overholde dette kravet forsikrer entreprenøren seg ved å bore dypere enn kravet slik at man tar mindre risiko.

2.5.1 N101 rekkverk og vegens sideområde

Denne normalen er utarbeidet av samferdselsdirektoratet og den inneholder generelle retningslinjer for valg og oppsetting av rekkverk. Normalen beskriver også hvordan overflaten på vegskjæringen bør utformes. Rekkverk er kostbare installasjoner og kan i noen tilfeller være et faremoment i seg selv langs vegen (Trafikksikkerhet, 2014, S.9). Vi ønsker å unngå flest mulig faremomenter langs vegen og dette løser vi ved å benytte seg av alternative løsninger til rekkverk. Normalen beskriver hvordan vi kan unngå rekkverk ved bergskjæringer slik.

«For å unngå bruk av rekkverk bør bergskjæringer sprenges ut med mest mulig jevne overflater av hensyn til kjøretøy som kjører av vegen.» (Trafikksikkerhet, 2014 s.30).

Videre skrives det at «De aktuelle områdene bør ikke ha partier som stikker ut mer enn 0,3 m.» (Trafikksikkerhet, 2014 s.30). Her får vi fastsatt hvor stort avvik vi kan ha for partier som stikker ut fra skjæringen. For å kontrollere at vi ikke avviker fra normalen er det nødvendig å lage en 3D asbuilt modell av skjæringen som vi sammenlikner opp mot den prosjekterte modellen av objektet. Den prosjekterte modellen er utformet etter krav fastsatt av vegvesenet og fungerer da som en ramme for hvordan vi forholder oss til normalene underveis i vegbyggingen.

Når fjellet er sprengt ut ser vi hvordan overflaten på berget ble. Ved å skanne fjellet med en lidarskanner eller liknende har vi mulighet til å studere overflaten på berget i et dataprogram. Ved skape en asbuilt modell av skjæringen som kan georefereres til samme koordinatsystem som den prosjekterte veimodellen kan vi studere hvor disse «aktuelle partiene» eller knølene stikker ut forbi veimodellen. Når knølene er kartlagt kan man markere disse ved å trekke en polygon rundt objektet i dataprogrammet. Filen kan eksporteres til en GNSS med målebok slik at de aktuelle områdene hvor avvikene er for store utfra normalene kan lokaliseres ute på anlegget og markeres med fluoriserende spray. De aktuelle områdene fjernes ved å benytte en metode som kalles pigging. Pigging er en metode som innebærer å montere en hydraulisk pigg på gravemaskinen som ved hjelp av hydraulikk banker løs fjellet. Teknikken er ofte tidkrevende og danner mye støy og vibrasjon.



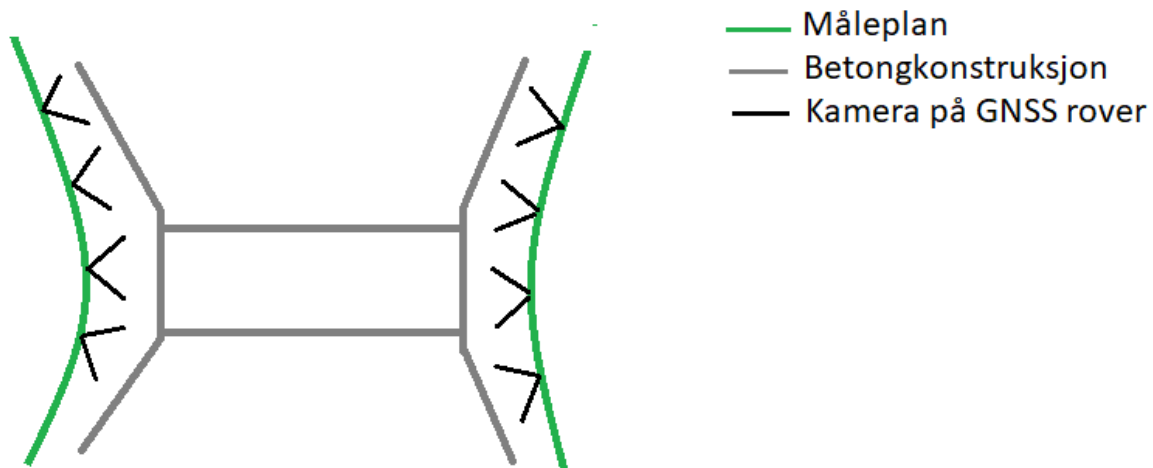
Figur 13: Til venstre ser vi et eksempel på markeringer av knøler på en Leica FZ-M1 målebok; til høyre ser vi en skjæring som er to paller høy med rosa spraymarkeringer for hvor noe stikker ut som må fjernes. Bildene er tatt ute på anlegget ved et tidligere tidspunkt.

3 Metode

3.1 Fotogrammetri med visuell posisjonering:

Måling med visuell posisjonering utføres med funksjonen «fang bildegruppe» som er en tilleggsfunksjon i måleboken CS20 fra Leica. Funksjonen bruker kameraet på antennen og de interne sensorene i roveren til å fange bilder og beregne posisjonen til roveren underveis i målingene. Det første som ble gjort var å starte opp måleboken og roveren og koble denne til basestasjon slik at man får tilstrekkelig med fix. Videre så åpnet man funksjonen «fang bildegruppe» og følger med på skjermen at kameraet i antenne er rettet mot det objektet man skal måle inn, start funksjonen fang bildegruppe og mål inn objektet ved å gå langs objektet å samle inn bilder. Bildegruppen lagres i måleboken. For å forsikre seg om at man har tilstrekkelig med bilder er det greit å gjøre dette to ganger for å fylle ut eventuelle hull i bildegruppen. Funksjonen fang bildegruppe er begrenset til 60 sekunder i måleboken noe som gjorde at det er nødvendig å gjøre målingene i flere etapper på store objekter. Når man har fanget bildegruppen overføres bildene fra antennen til måleboken over WLAN. Etter bildene har blitt overført lagres bildene på måleboken. Selve prosessen for å skape punktskyen gjøres inne på kontoret etter målingene er gjennomført.

Ved innmålingen av kulverten var det nødvendig å samle inn fire bildegrupper som ble slått sammen til en bildegruppe. Grunnen til dette er at alle bildene som skal brukes til å skape punktsky av objektet som i dette tilfellet er kulverten må ligge i en bildegruppe før prosessen med å skape punktsky settes i gang.



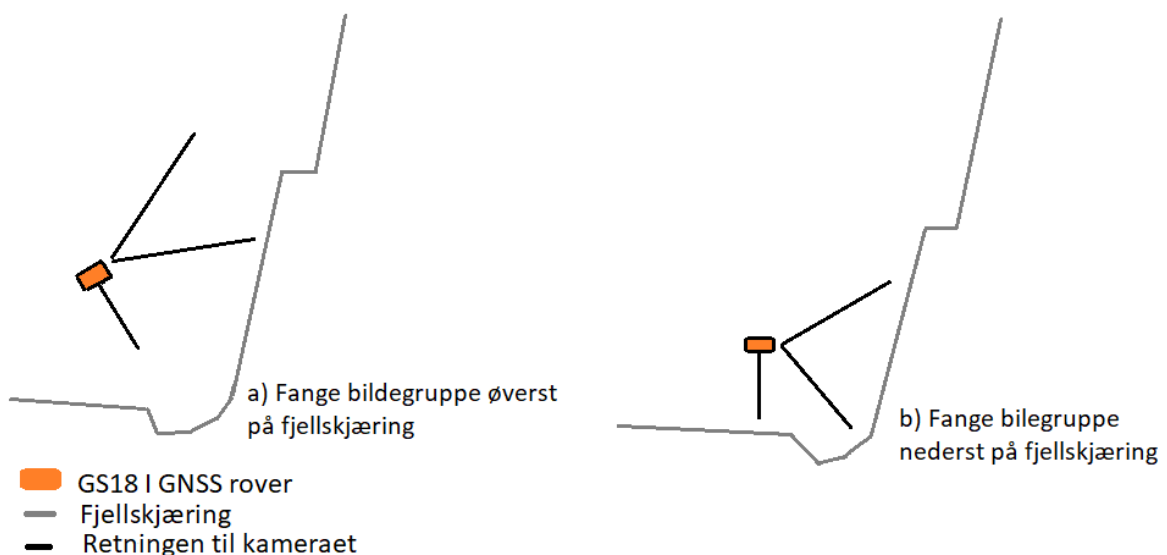
Figur 14: Måleplan som viser hvordan målingene med visuell posisjonering ble utført. Metoden viser hvordan retning kameraet i roveren er vinklet mot betongkonstruksjonen for å samle inn bildegruppe.

Under datainnsamlingen ble det erfart at det ikke var satellittdekning inni eller nært kulverten noe som i praksis betydde at for å få god nøyaktighet i form av fix- løsning var det nødvendig å holde litt avstand til objektet under datainnsamlingen. Siden objektet er utformet som en lang tunell med høye støttemurer rundt var det dette med på å påvirke hvor nært objektet vi kunne gå for å samle inn bilder. Kameravinkelen gjorde at man måtte gå et stykke bort fra konstruksjonen for å få med detaljer øverst og nederst på konstruksjonen noe som gjorde at det uansett var greit å holde avstand til objektet. Utfordringen møtte vi på når fjellskjæringen skulle måles inn. Mer om dette i kapittelet under. Værforholdene når målingene ble utført var klart vær og mellom -10 og +10 grader celsius. Det var ingen skyer på himmelen, men solen var ganske lav opp fra horisonten som kan resultere i skygge i modellene.

3.1.1 Måling av fjellskjæring med visuell posisjonering

For å danne forståelse rundt skalaen på objektet må vi se på dimensjonene til objektet. Skjæringen er 19 meter høy målt fra bunn av fangrøft til toppen av fjellveggen og rundt 80 meter lang. Grunnet lengden og høyden på objektet måtte skjæringen måles inn i flere etapper. Først nederst med GNSS staven rettet mot bunnen av skjæringen. Neste runde tiltes staven litt for å ta bilder høyere opp, dette er illustrert i figur 16. Prosessen gjentas til man er sikker på at man har lagret tilstrekkelig med bildegrupper av objektet. I dette tilfelle var det tilstrekkelig med fem bildegrupper.

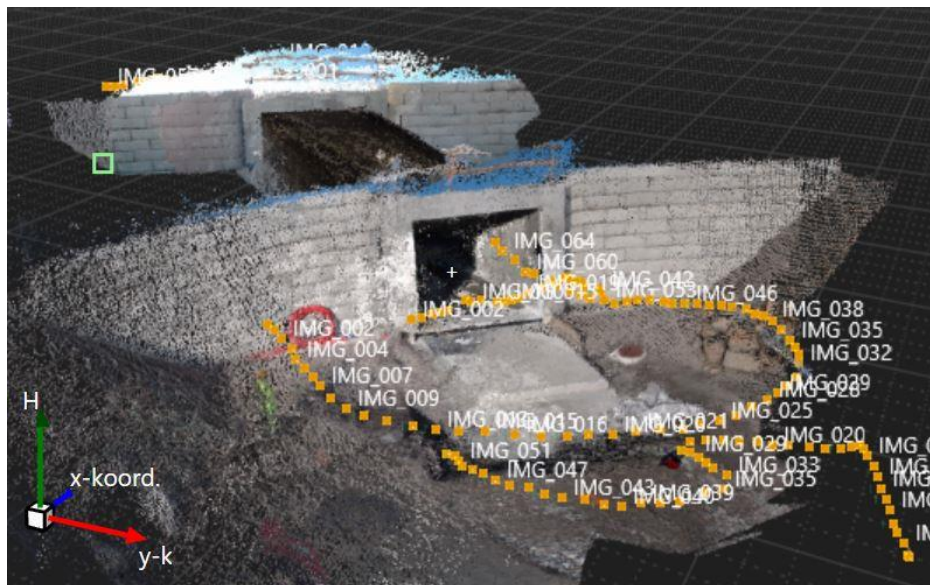
Lengden på objektet gjorde at innsamling av hver bildegruppe tok litt over ett minutt. Grunnet begrensninger i programvaren på maks 60 sekunder bildeinnsamlingstid resulterte dette i at målingene ble stoppet automatisk i 3 av 5 tilfeller under datainnsamlingen. Dette resulterte i at målingen stopper opp og man må vente til bildegruppen er lagret før man kan fortsette å måle inn objektet. Dette betyr at man i praksis enten må stoppe opp underveis i målingen og vente på at måleboken lagret bildene eller gå enda fortere for å håpe at man kommer i mål før bildegruppen blir lagret.



Figur 15: Illustrasjon av hvordan datainnsamling med GNSS rover med integrert kamera gjøres i praksis.

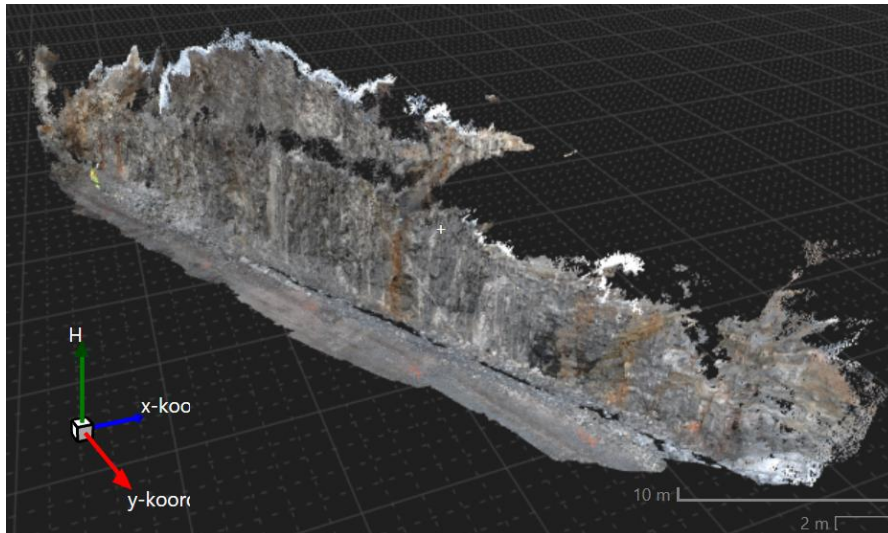
3.1.2 Databehandling i Leica Infinity

Databehandlingen startet ved å eksportere prosjektet fra måleboken til minnepenn som plugges i datamaskinen. Bildegruppene blir først synlige når vi åpner prosjektet i Infinity. Når prosjektet er åpnet i programmet ser vi hvor det har blitt tatt bilder og hvordan bildegruppene ligger i forhold til hverandre.



Figur 16: Bilde av punktskyen sammen med bildegruppen som ble brukt til å skape punktskyen.

Biblioteket til prosjektet viser alle bildegruppene til prosjektet. Her velger vi å slå sammen alle bildegruppene til en felles bildegruppe. Målet er å lage en punktsky av bildene markøren settes på i bildegruppen og funksjonen «tett punktsky» blir tilgjengelig i bildebehandlingsmenyen i programmet. Her velges et minste antall bilder som skal samsvare for at punktskyen skal kunne skapes til tre og det skal være full oppløsning. Grunnen til at vi velger disse innstillingene er for at vi ønsker en punktsky med så god tetthet som mulig. Prosesseringen startes, og vi kan følge med på prosessen i bakgrunnen under inspeksjon – bildebehandling – bilderesultatet. Prosessen forventes å vare en god stund grunnet valget om full oppløsning i innstillingene

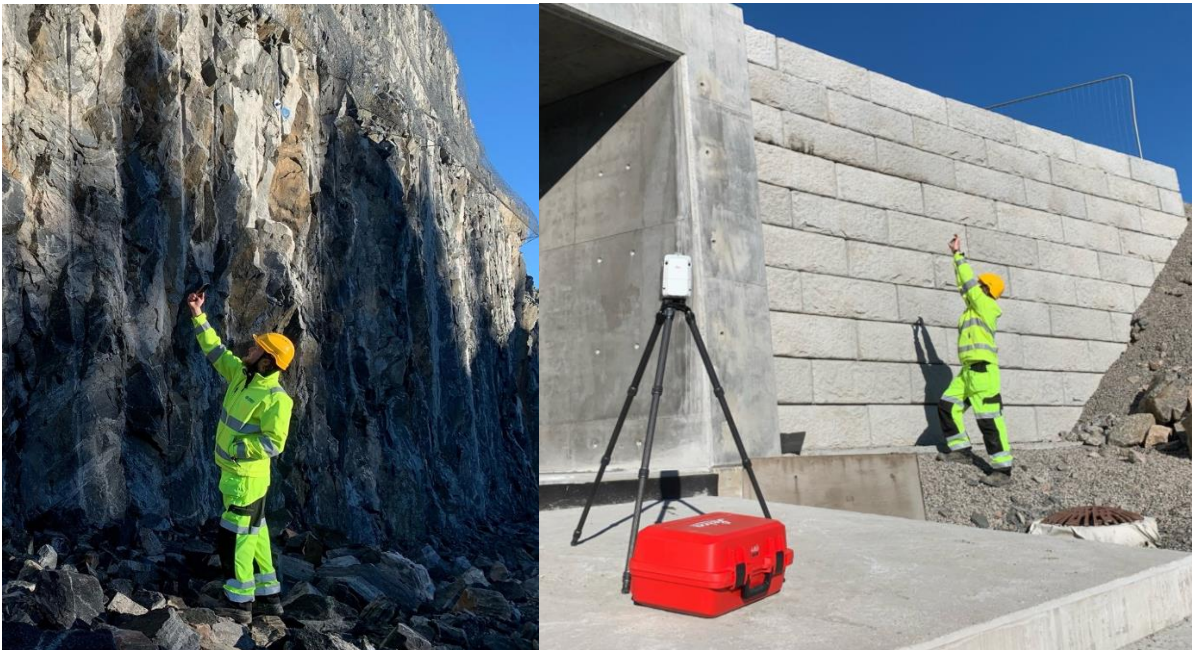


Figur 17: Her ser vi resultatet presentert i programmet Infiniti etter bildebehandlingen er fullført. Vi ser at bildegruppen har klart å skape punktsky øverst i skjæringen.

Den ferdige punktskyen kan studeres i visningsvinduet i programmet. Støy rundt objektet kan fjernes enten ved hjelp av automatiske funksjoner i programmet eller manuell rensing av punktsky. Når man er fornøyd med produktet kan punktskyen eksporteres til ønsket format og man kan ta ut rapport for punktsky jobben som kan vedlegges som dokumentasjon.

3.2 Laserskanning med Apple lidar:

Metoden innebærer å bruke programmet Pix4dcatch som er et program som er laget for Apple-produkter med integrert LiDAR-sensor. Datainnsamlingen startet med å åpne applikasjonen på telefonen i liggende modus.



Figur 18: Til venstre ser vi hvordan datafangsten ble utført på skjæringen; til høyre ser vi hvordan datafangsten ble utført på kulverten med håndholdt lidar.

Målingene gjennomføres ved å starte målefunksjonen i appen og følge med på skjermen til telefonen hvor på objektet trianguleringen av objektet er gjort. Når et område er registrert av skanneren vil dette området vises som et sammenhengende triangulert nett slik som illustrert i figur 19. For å dekke et område måtte mobilen beveges langs objektet og rundt området hvor vi ønsker data til å lage en asbuilt modell. Når innmålingen av objektet er ferdig, stanser vi innmålingen og bildene lagres i en mappe på mobilen. Bildene eksporteres til Pix4Dcloud hvor databehandlingen starter.

3.2.1 Databehandling i PIX4Dcloud og Cloudcompare

Prosessering av skyen skjer i sky-tjenesten til PIX4D. Det som skjer når man laster jobben opp til skyen er at programmet skaper punkttskyen automatisk. Man får blant annet et varsel på e-post om at prosessering av datasettet har startet og hvor lang tid denne prosessen kommer til å vare. Etter en stund er den automatiske prosessen ferdig og vi kan åpne jobben i nettleseren. Her kan vi se hvordan resultatet på punkttskyen ble seende ut. Punkttskyen ble nå lastet ned på datamaskinen for videre prosessering i dataprogram. Filformatet er las.

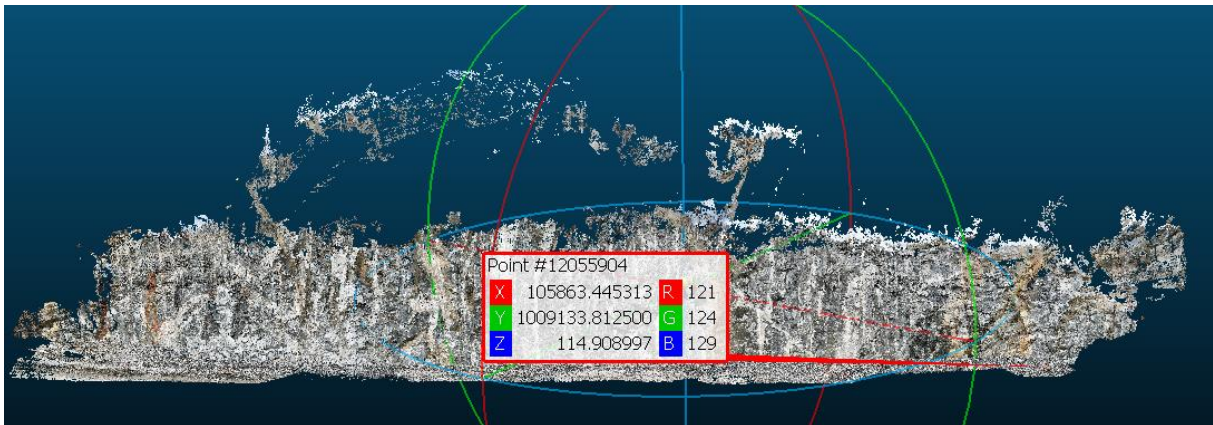
Cloudcompare er et 3D-punktskybehandlingsprogram for behandling av rådatafiler fra laserskannere. Programmet er «open source» og er gratis å laste ned og bruke. Databehandlingen startet ved å laste inn filene i programmet. Innmålingen av betongkonstruksjonen ble gjort to ganger hvilket betyr at vi har to las-filer som skal behandles. Manuell rensing av punktskyene ble gjort for å få et ryddig resultat på punktskyene.



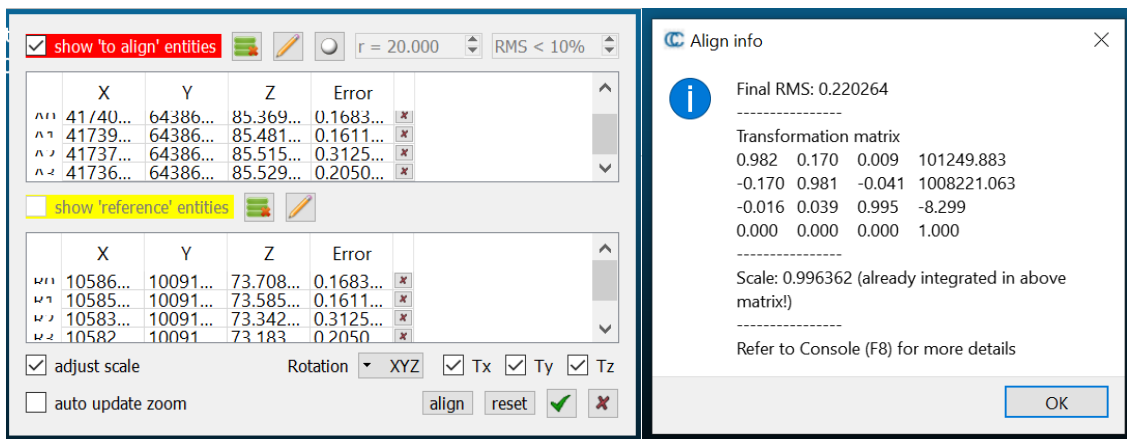
Figur 19: Skjerm bilde fra iphone som ble tatt under datafangst. Bildet viser hvordan et slags triangelnett som viser hvor skanneren har samlet inn data.

3.2.2 Georeferering i Cloudcompare

Georeferering i Cloudcompare gjøres ved å gjøre en registrering med funksjonen Align (points by picking). Til å starte med må punktene i skyen velges ved å trykke på hvert enkelt punkt i rett rekkefølge. Når alle tre eller flere punkt er valgt skrives koordinatene inn i det koordinatsystemet en ønsker at punktskyen skal være i. Så trykker man på at vi ønsker en rotasjon i alle tre retninger XYZ så kjører vi funksjonen.



Figur 20: Bilde som viser georeferert punktsky.



Figur 21: Til høyre ser vi en oversikt over koordinatene som er med i georefereringen. Koordinatene under rød linje øverst er opprinnelige koordinater. Gul linje er koordinatene vi ønsker å transformere til. Error er avviket i det punktet; til høyre er feilmatrixen til koordinattansformasjonen.

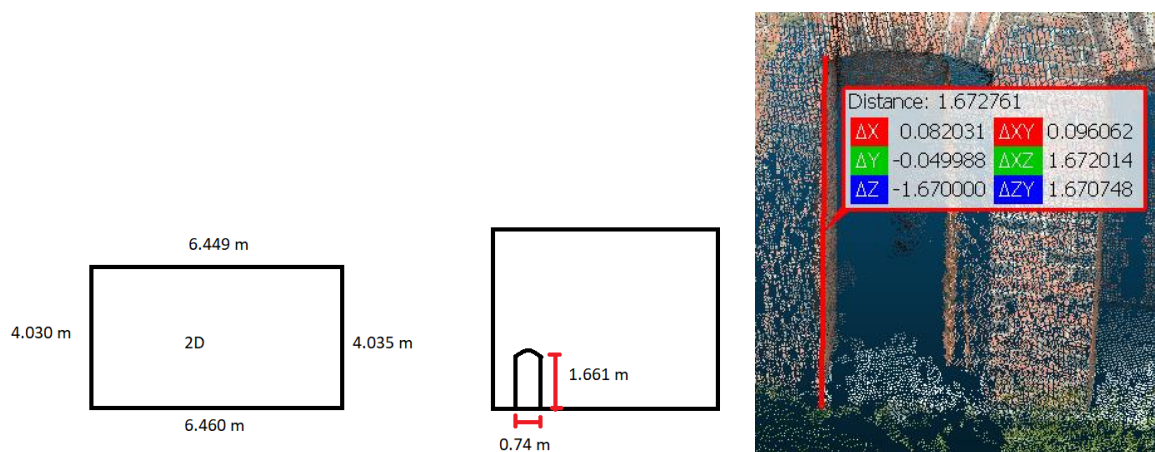
3.2.3 Laserskanning av teglstensbygg i Bergen

Det ble gjort en annen måling i Bergen med håndholdt LiDAR fra iPhone. Her ble det brukt målebåndsmålinger av objektet for å ha et sammenlikningsgrunnlag for punktskyen. Det ble gjort en måling av objektet i grunnriss og av en døråpning i objektet slik at vi har noe å sammenlikne imot. Objektet ble målt inn to ganger slik at to punktskyer lages.



Figur 22: Illustrasjon som viser hvordan spredningen av GSP rundt objektet.

Figuren viser spredningen av GCP rundt objektet. Punktene ble etablert rundt objektet slik at vi forsikret oss om god geometri og det var med et par ekstra punkter i fall noen ikke skulle bli synlige i punktskyen.



Figur 23: Til venstre ser vi en skisse som viser størrelsene på objektet som ble målt inn; til høyre ser vi hvordan målingene i punktskyene ble gjort i Cloudcompare.

Metoden er ellers lik foruten at koordinatene i prosjektet befinner seg i NTM5 og høydesystemet er ellers det samme. Innstillingene i PIX4Dcatch var 95% overlapp for bildene og rekkevidden var innstilt til maksimum 100cm.

3.3 Laserskanning med RTC360

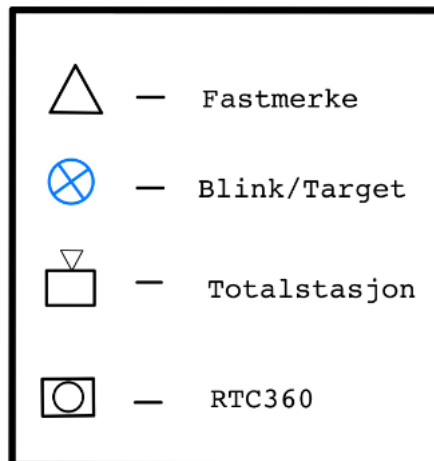
Skanneren vi fikk låne var helt ny, og den var dermed allerede kalibrert når vi mottok den. Av denne grunn kunne vi starte skanningen med en gang vi var klare, og øvrig utstyr var i orden.

Det ble satt opp fire stasjoner med skanneren langs fjellskjæringen. Første oppsett ble skannet med fire blinker, Black and White Targets, 4''. Disse skal i hovedsak brukes til å georeferere punktskyen i etterkant. Hvert oppsett ble satt omtrent 22 meter fra hverandre langs fjellveggen som skulle skannes. Stasjon to til fire blir automatisk koblet opp mot forrige stasjon og en link blir generert ved hjelp av kameraene på instrumentet som holder styr på orienteringen og posisjoneringen i forhold til andre oppstillinger, også kalt «VIS» i RTC360'en. Instrumentet måtte også settes langt nok ut fra fjellveggen til at det var sikt til toppen av skjæringen. Siden skjæringen var rimelig rett holdt det å plassere skanneren omtrent 10-12 meter unna fjellveggen.

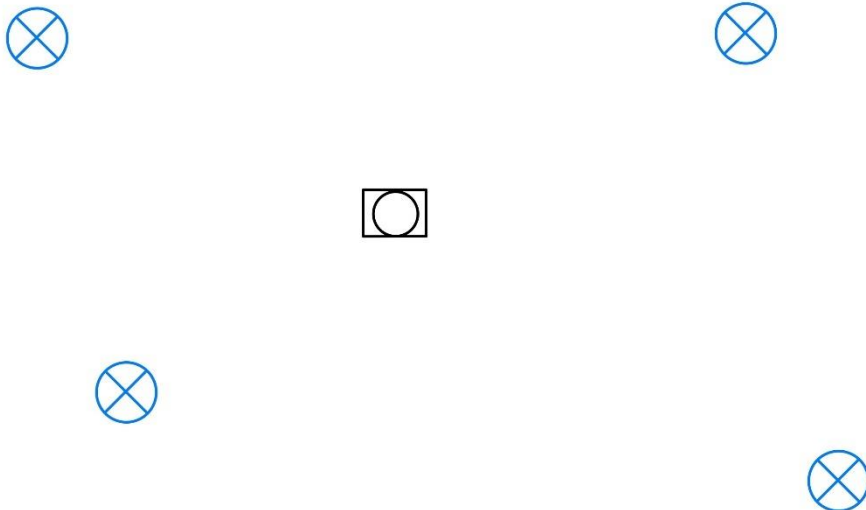
De første to oppstillingene ble målt med en punkttetthet på 6 mm på 10 meter med bilder og dobbelt skann aktivert. Dette tok 2 minutter og 51 sekunder per stasjon. De neste to oppstillingene var dobbelt skann ikke aktivert, ellers var innstillingene på skanneren det samme som på de foregående oppstillingene. På disse stasjonene brukte skanneren 1 minutt og 51 sekunder per oppsett. Lysforholdene var nokså gode under skanningen. Det var lite lys og på grunn av fjellskjæringen kom det ikke noe direkte sollys på instrumentet til tross for at solen var lavt på horisonten.

Blinkene ble plassert i hver sin kvadrant i forhold til skanneren for å få en så god geometri som mulig. Da det var ganske flatt på arbeidsområdet ble det ikke noen særlige høydeforskjeller mellom disse.

Tegnforklaring

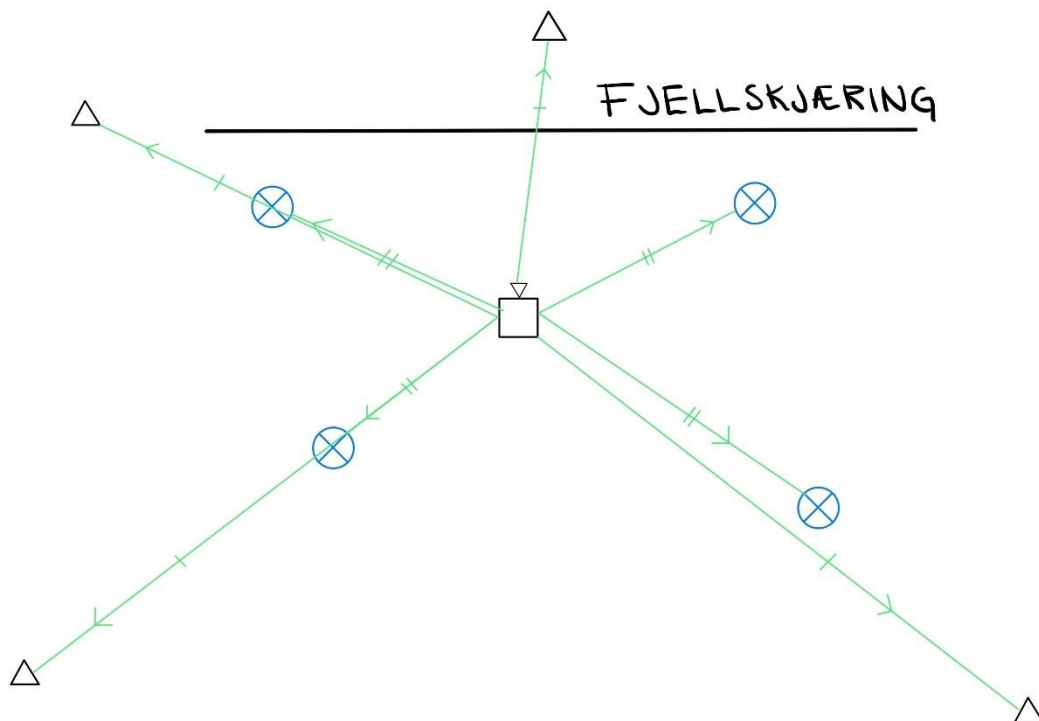


FJELLSKJÆRING



Figur 24: Måleplan ved fjellskjæring.

TS12 ble brukt til å måle inn blinkene og fastmerkene. Dette ble gjort ved å sette opp en frioppstilling mellom blinkene med så god tilsikt som mulig til fastmerkene i området. Det ble først målt en halvsats mot fastmerkene som var utstyrt med rundprismer. Instrumentet var samtidig innstilt på å måle til rundprismer. Totalstasjonen hadde autosøk på og dette ble brukt til å finne blinkene som var langt unna for å spare tid. Deretter ble det målt til blinkene reflektorløst etterfulgt av en ny halvsats til fastmerkene med rundprisme. Fastmerkene ble målt inn med samme id som i første halvsats. Differansen mellom første og andre halvsats var ok ifølge totalstasjonen og måling ble dermed avsluttet.

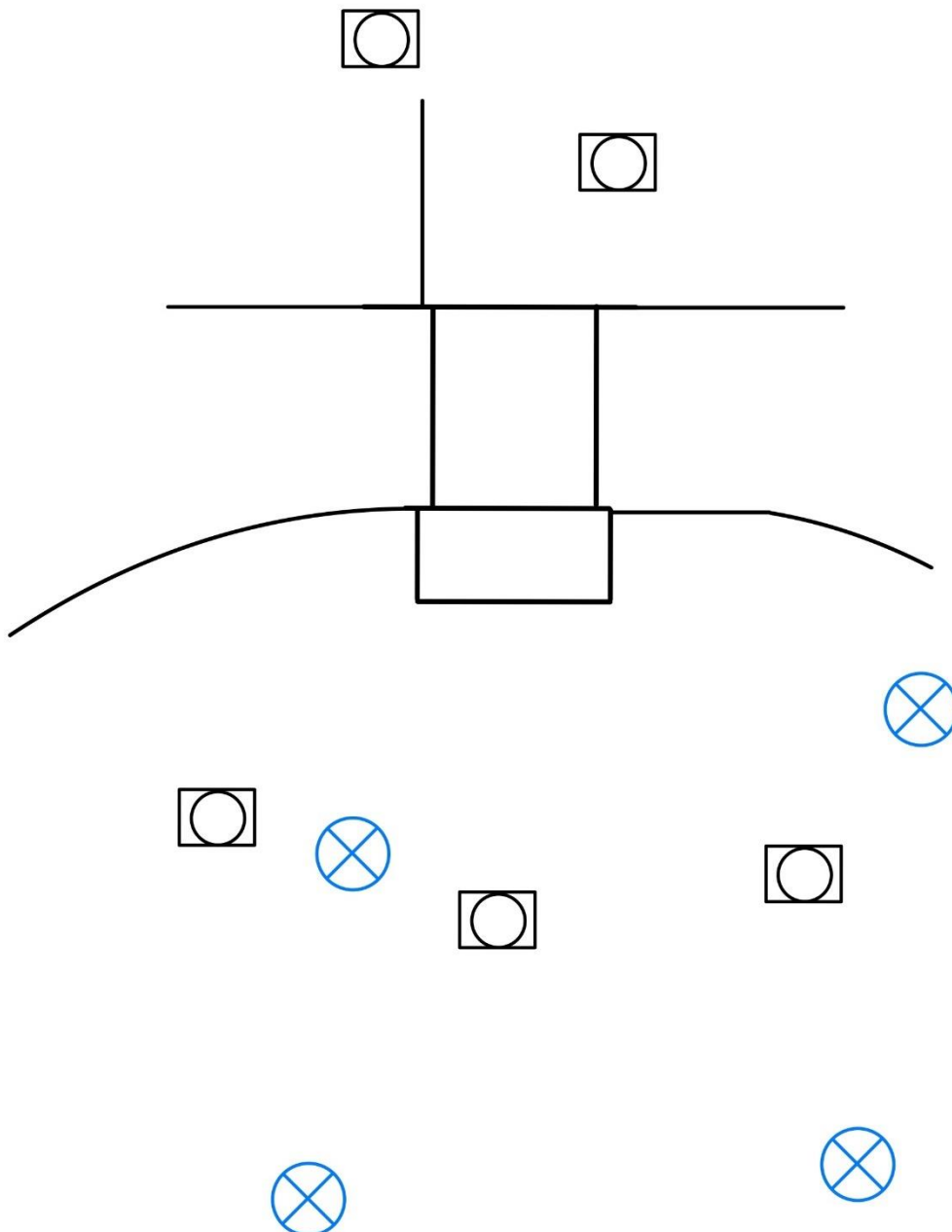


Figur 25: Måleplan totalstasjon.

Kulverten ble skannet inn med seks oppstillinger. Tre stasjoner ble satt opp med sikt til blinker, en inne i kulverten og to på den andre siden av kulverten. Stasjonene ble satt opp for å få mest mulig tilsikt til så mye av kulverten som mulig. Blinkene skal i hovedsak brukes til georeferering av skannet. Det ble målt med høy punkttetthet, altså 3 mm på ti meter på alle oppstillingene. Det ble også tatt i bruk dobbelt skann, VIS-systemet og bilder på alle oppstillinger. Hver oppstilling tok 4 minutter og 51 sekunder. Det var direkte sol mot instrumentet på de første tre oppstillingene, men dette skulle vært greit da solen i utgangspunktet kun ville skape støy utenfor interesseområdet. Likevel kan dette være en faktor å ta hensyn til siden kulverten er nokså lys i farge og noe støy kan bli produsert.

Blinkene ble plassert i hver sin kvadrant med tanke på geometrien. Arbeidsområdet var rimelig flatt, men en blink (P1) ble plassert med litt høyere enn de andre.

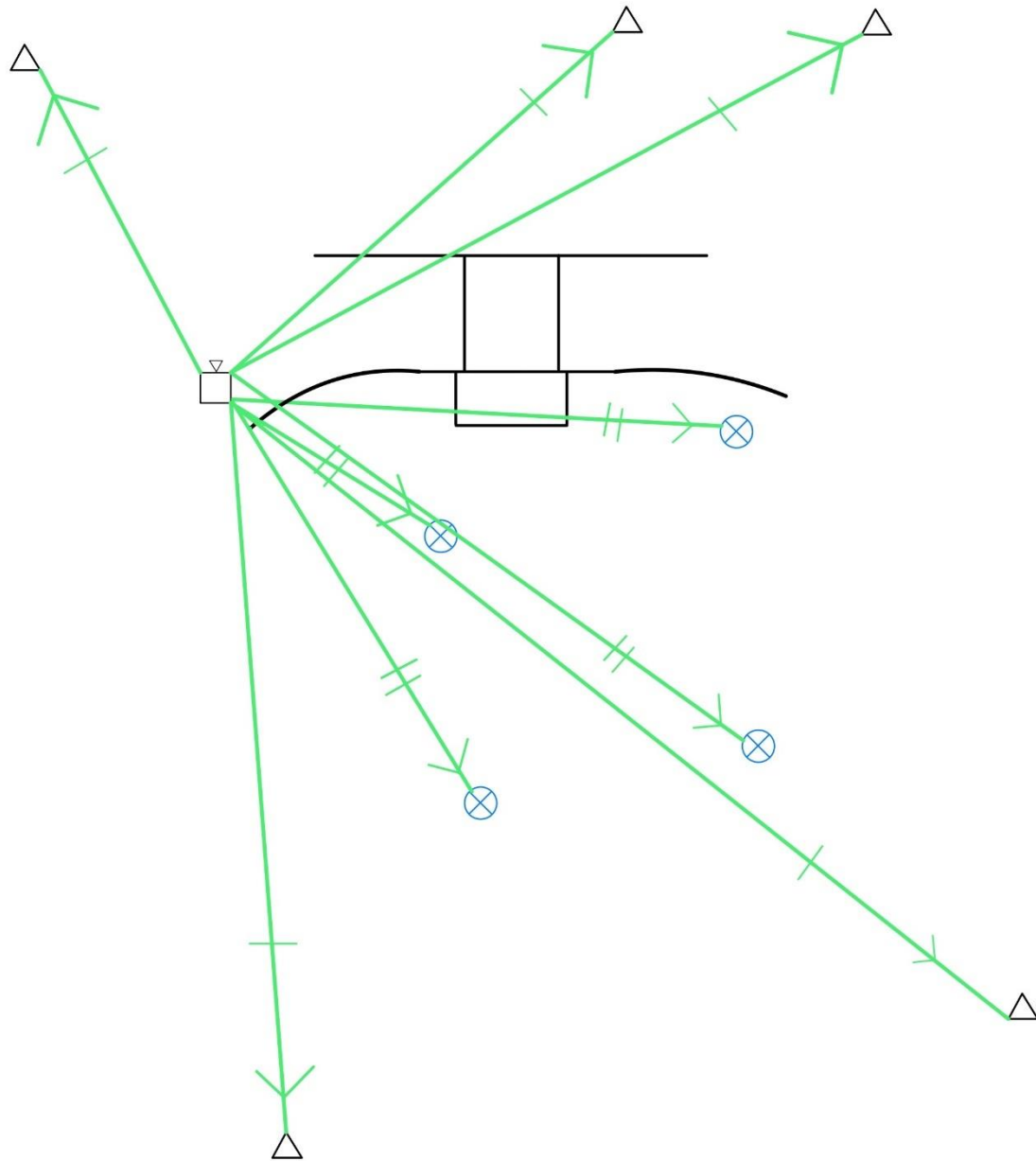
KULVERT



Figur 26: Illustrasjon som viser hvordan targets er spredt rundt objektet.

Totalstasjonen ble brukt på samme måte for å måle inn blinkene ved kulverten som ved fjellskjæringen. Her var det tilsikt til flere fastmerker og det ble målt inn til fem rundprismer med halvsats før og etter innmåling av blinker.

KULVERT



Figur 27: Illustrasjon som viser innmåling av fastmerker og targets rundt objektet

3.3.1 Databehandling i Leica Cyclone

Dataen fra RTC360-skanneren ble hentet fra minnepennen i maskinen og overført til pcen. Filene ble så «droppet» inn i et vindu i Cyclone Register 360 programvaren for å klargjøres for import. For importen ble det brukt Auto-B/W target-funksjon og Auto-Cloud. Auto-Cloud skal ikke være nødvendig da instrumentet automatisk registrerer oppstillingene om kobler dem sammen. Punktskyene ble deretter importert. Importeringene tok 40 minutter for fjellskjæringen og 2 timer og 43 minutter for kulverten. Siden punktskyene allerede var koblet opp mot hverandre trenger man ikke redigere dataene etter de har blitt importert. I vårt tilfelle var vi i hovedsak interessert i fjellskjæringen, så alt annet ble redigert ut og punktene slettet. Fjellskjæringen på den andre siden av veien ble beholdt av visuelle årsaker. For kulverten ble sideveggene også beholdt og gjenstander som lå inne i kulverten ble redigert ut manuelt.

Cyclone finner automatisk blinkene og disse blir lagret, selv etter redigering. Ved fjellskjæringen ble en blink (BWT3) ikke funnet av programmet og dette måtte legges til manuelt.

Etter redigering av punktskyene ble resultatet godkjent, og en rapport ble opprettet. Det ble lagt til en overskrift og navn på «operatør». I dette vinduet har man også mulighet til å velge hvilke bilder og hva slags informasjon man vil ha med i rapporten. Det ble tatt skjermbilder underveis som har blitt lagt med i rapportene. I tillegg til rapporten ble det hentet ut en «.ptx» fil når rapporten ble publisert. Etter redigering var det igjen litt over 83 millioner punkter fra fjellskjæringen, hvorav 42 millioner var fra fjellskjæringen som skal sammenlignes med de andre målemetodene, og 414.5 millioner punkter fra kulverten.

For å få georeferert punktskyene må det importeres en tekstfil (.txt) med blink-ID og koordinater. Det er også mulig å legge inn merknader. Det ble skrevet to tekstfiler, en til hver punktsky. Formatet på filene er «ID, Nord-koordinat, Øst-koordinat, Høyde, merknad». Dette blir importert på samme måte som punktskyene. Tekstfilen legger seg inn som en kontroll-fil etter import og må aktiveres for å bli aktiv. Dette blir gjort ved å høyreklikke på «bundelen» og trykke på «apply control». Deretter vil punktskyen stille seg riktig i forhold til blinkene og kontrollfilen. Det kan medføre til at standardavvikene blir større enn punktskyens originale standardavvik. Koordinatsystemet brukt er euref89 NTM sone 7 med høydemodell NN2000.

```
BWT1, 1009101.318, 105808.952, 76.316  
BWT2, 1009089.960, 105821.916, 76.441  
BWT3, 1009098.233, 105836.792, 76.887  
BWT4, 1009111.515, 105826.392, 75.885
```

Figur 28: Kontroll fil

3.4 Fotogrammetri med RTK drone

Første som må gjøres på området er å lage 4 eller flere GCP punkt som er godt synlig fra luften, i dette tilfellet ble det laget kryss ved hjelp av oransje spray. Punktene ble plassert med strategisk avstand fra hverandre slik at punktene danner et kvadrat, dette sikrer god geometri. Punktene måles deretter inn med GNSS og lagres som en egen fil som senere kan importeres til behandlingsprogrammer som Pix4D. Dette er nødvendig for å senere kunne georeferere punktskyen. Etter at vi har målt inn 4 GCP punkt begynner planleggingen av dronetruen. Dette gjøres via kontrollpanelet til dronen.

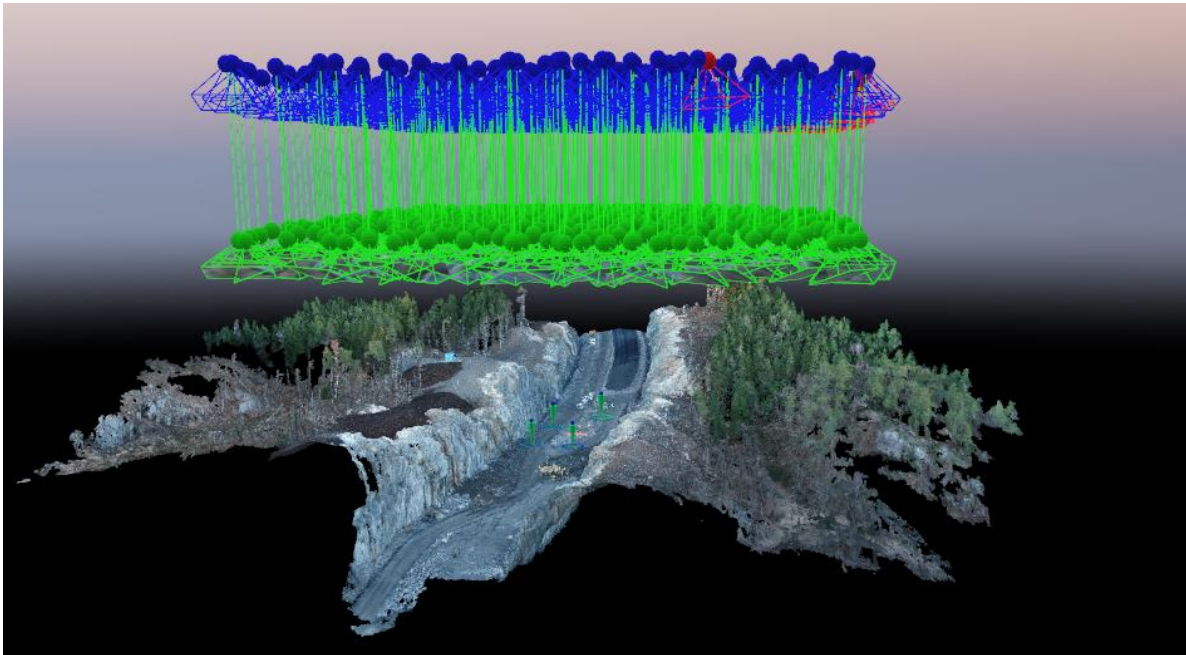


Figur 29: Illustrasjon av kartlegging av flyveplanen på kontrolleren til dronen (Ferntech, 2019).

Via kontrollpanelet defineres et behandlingsområde som dronen skal holde seg innenfor, deretter kan både høyde og overlapp bestemmes til høyre på skjermen. Dronen var stilt inn til å fly med 60 meters høyde og ha en overlapp på 80 %. Disse innstillingene er valgt ut ifra Zenith sin erfaring, da dette tidligere har gitt gode resultater.

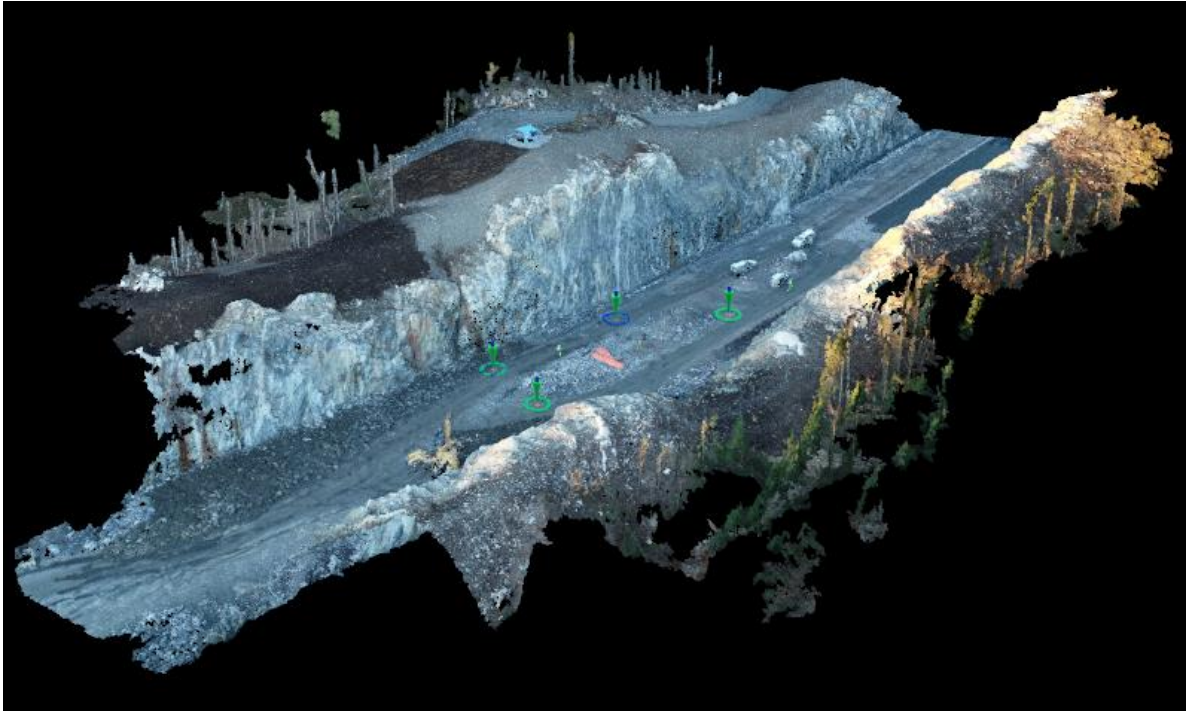
Deretter produseres en kartleggingsplan som viser hvor ruten skal legges. Dette gjøres ved å trykke på skjermen for å danne punkter (lilla punkt på figur 31). Linjene mellom punktene blir avgrensningen til hvor dronen skal fly og programmet lager en rute innenfor disse linjene. Denne er mulig å lagre slik at den også kan lages på forhånd før du skal ut i felt. Øverst i skjermen står informasjon om hvor stort område som kartlegges og hvor lang tid flyturen er estimert å ta. Når du etter hvert setter i gang dronen gjennom kontrollpanelet, flyr den automatisk slik ruten er tegnet opp i kartleggingsplanen. Dersom området er så stort at dronen skulle gått tom for strøm, eller at den av andre grunner må ned, så er det mulig å fortsette målejobben etterpå fra der den gikk tom for strøm.

3.4.1 Databehandling i Pix4dmapper



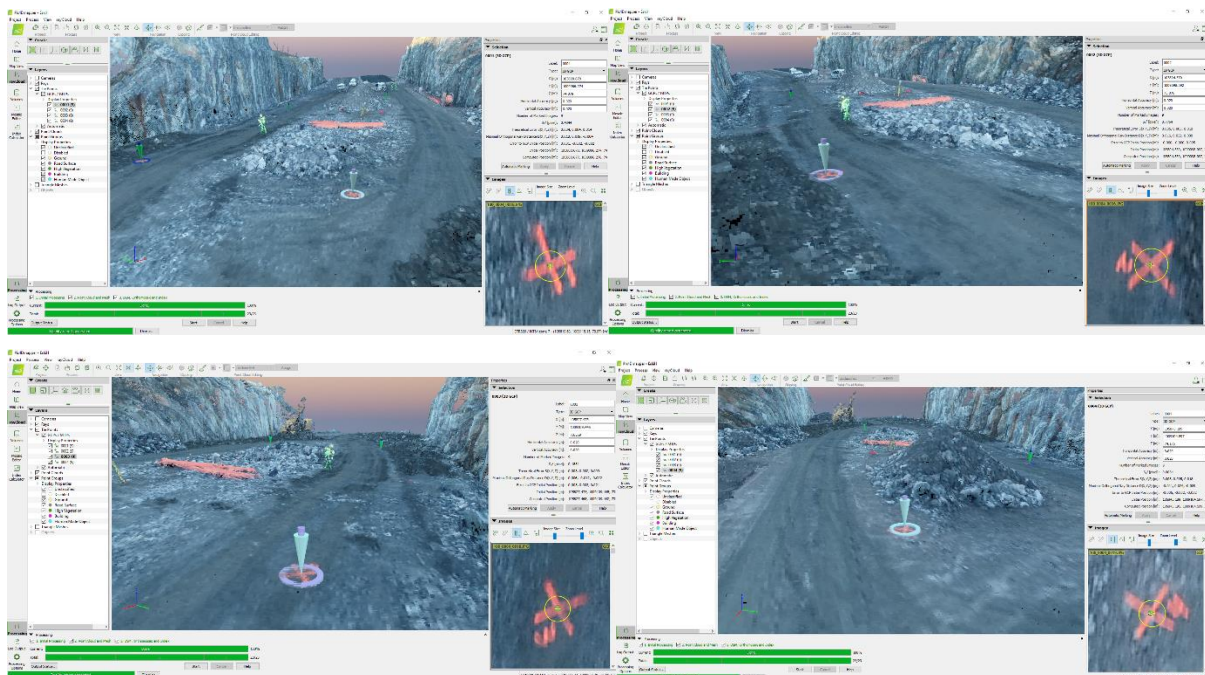
Figur 30: Punktskyen sammen med flyveplanen i Pix4dmapper.

De blå figurene illustrerer hvor dronen har vært når den har tatt bildene, de grønne figurene er bildene som er tatt fra dronen. Under dronen og bildene finner du punktene som danner en slags overflatemodell av virkeligheten. Det er som sagt ved hjelp av fotogrammetri og posisjoneringsdata disse punktene har blitt dannet. Så til flere bilder som er tilgjengelig til bedre er punktskyen.



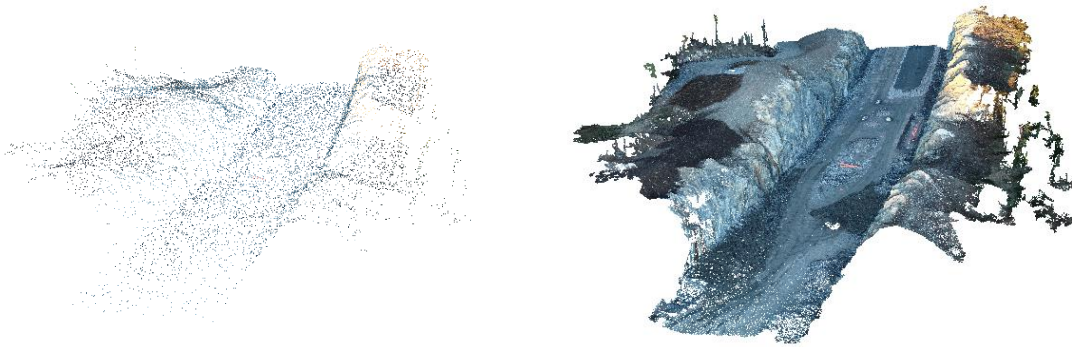
Figur 31: Punktskyen presentert i Pix4dmapper.

I pix4d kontrolleres de fire punktene som er merket på bakken. Det fungerer ved at et punkt defineres ved å trykke i midten av krysset og deretter skal dette punktet være i midten av krysset på de andre bildene også. Dersom et eller flere av bildene ikke finner krysset, eller ikke treffer midten, kan dette justeres i pix4D.



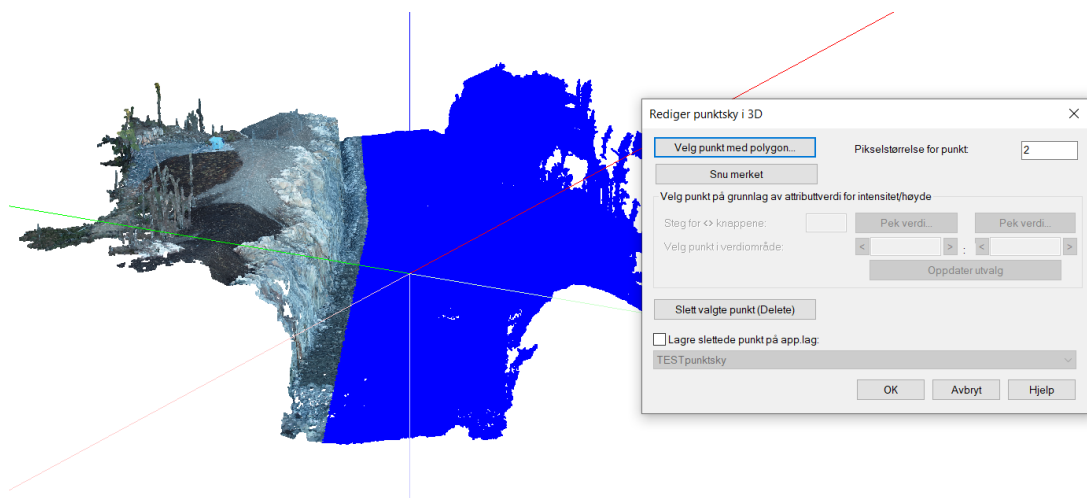
Figur 32: De fire georefereringspunktene i Pix4dmapper.

Man ser på bildene at alle kontrollpunktene er klart synlig fra dronefotoene og det er dannet punkter på kryssene. Når alle fire punkter er blitt referert til hverandre er jobben i pix4d gjort og den kan eksporteres som en LAZ-fil til Gemini terreng. Ettersom vi ikke hadde lisens til pix4d mapper var det viktig å få alle LAZ-filene fra både kulverten og fjellskjæringen ferdig georeferert og kontrollert slik at vi kunne få det inn i Gemini terreng og gjøre beregningene der.



Figur 33: Til venstre er punktskyen presentert i Gemini terreng; til høyre er funksjonen realistisk visning i Gemini terreng brukt.

For å gjøre punktskyen mer oversiktlig fjernes punktene som er utenfor interesseområde. Dette gjøres ved å velge punktsky laget i Gemini terreng, deretter brukes *rediger punktsky i 3D*-funksjonen. Ved bruk av denne funksjonen blir punktskyen åpnet alene i et nytt vindu og her er det mulig å gjøre ulike ting med punktskyen, men for å slette punkt må vi lage en polygon ved *velg punkt med polygon*.



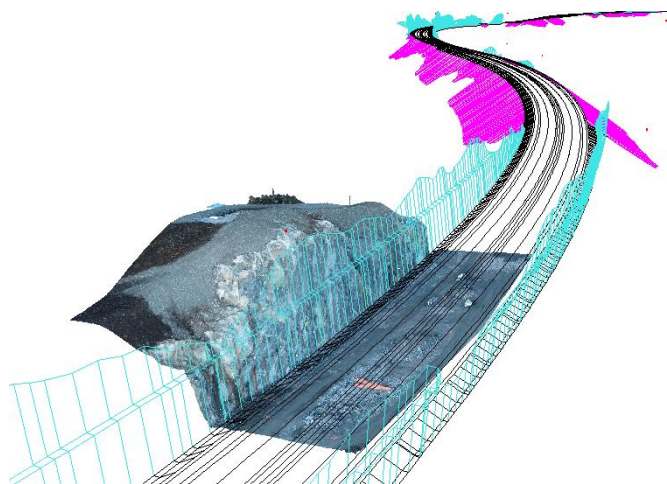
Figur 34: Et utvalg av punkter som er utenfor interesseområde valgt ved *velg punkt med polygon* funksjonen

Etter utvalget er det bare til å velge slett valgte punkt (delete) og deretter gjenta operasjonen med resten av punktene fra andre vinkler.



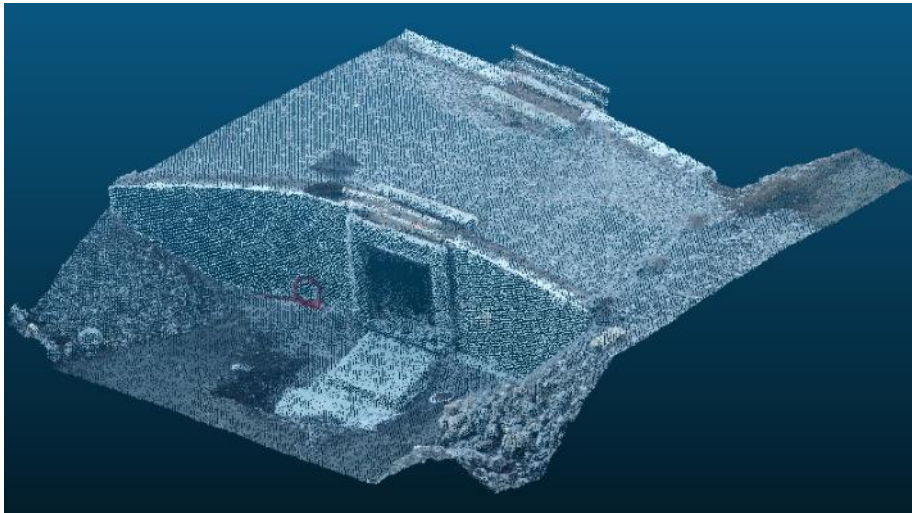
Figur 35: Fjellskjæringen kommer mye tydeligere frem etter at overflødige punkter fjernes.

Når dette er gjort er neste steg å importere både fastmerker og prosjektert veg. Når dette importeres kan en også kontrollere at georefereringen som ble gjort i pix4d stemmer etter importen til Gemini terreng.



Figur 36: Georeferert punktsky av fjellskjæringen med prosjektert veg og fastmerker (røde prikker).

Til sammenligningsdelen som skal diskuteres i *kapittel 5.1.1 nøyaktighet*, trengs det målinger av reelle avstander i punktskyen. Tanken er å måle ulike mål i kulverten. For å gjøre dette brukes en funksjon som måler mellom to punkt. Gjennom personlig erfaring har CloudCompare en mer oversiktlig måte å gjøre avstandsmålinger på. Derfor overføres kulvertens LAZ-fil til CloudCompare. I CloudCompare ryddes punkter ved *segment-verktøyet*. Ettersom det skal måles fra begge sider av kulverten fjernes punkter som er i veien for sikten, dette for å bedre illustrere hva som blir målt.

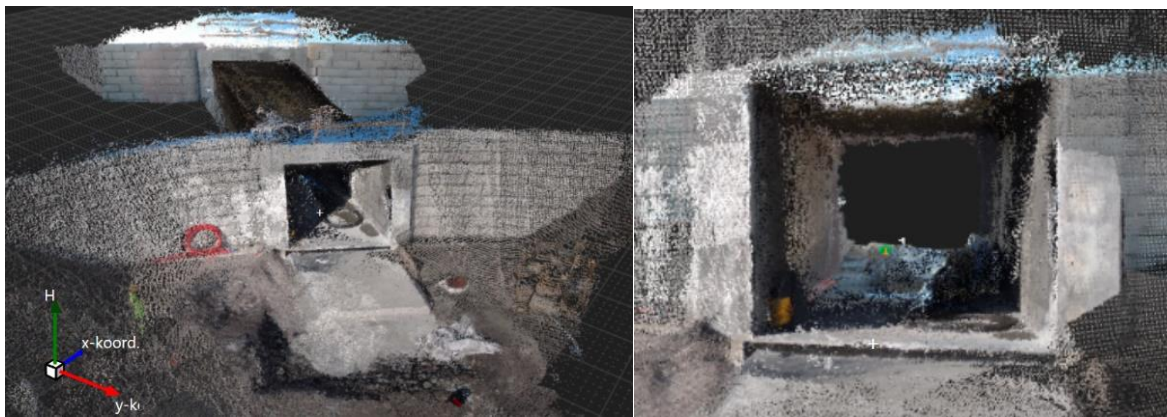


Figur 37: Punktsky av kulvert fra drone.

4 Resultat

4.1 GS18I kulvert

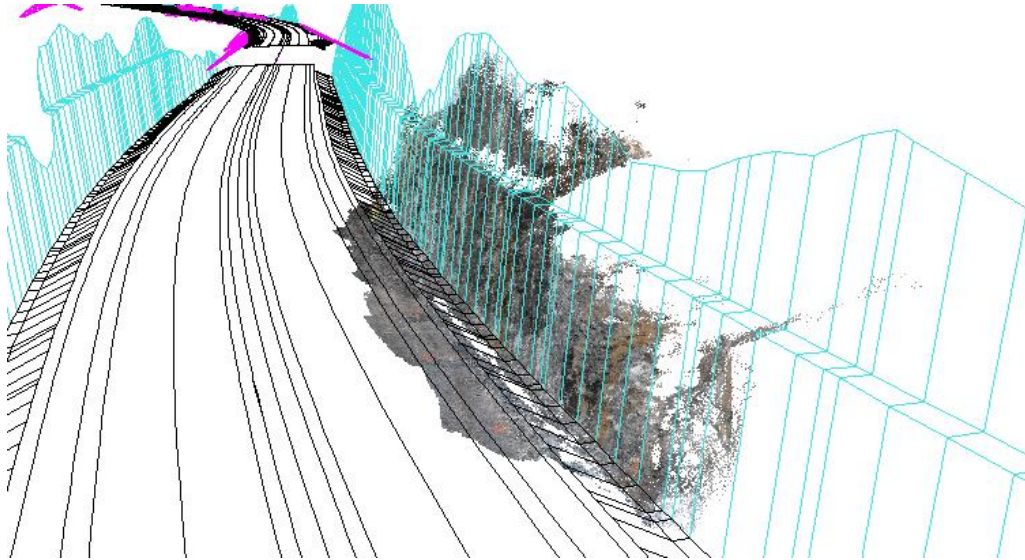
Her kan man se punktskyen som ble skapt i programmet Leica Infiniti basert på fotogrammetri fra kamerafunksjonen til GS18I. En ser at punktskyen har dannet en fin overflate på utsiden av modellen. Resultat: 6 320 862 pkt. skjæringen er automatisk georeferert i rett koordinatsystem vha. GNSS.



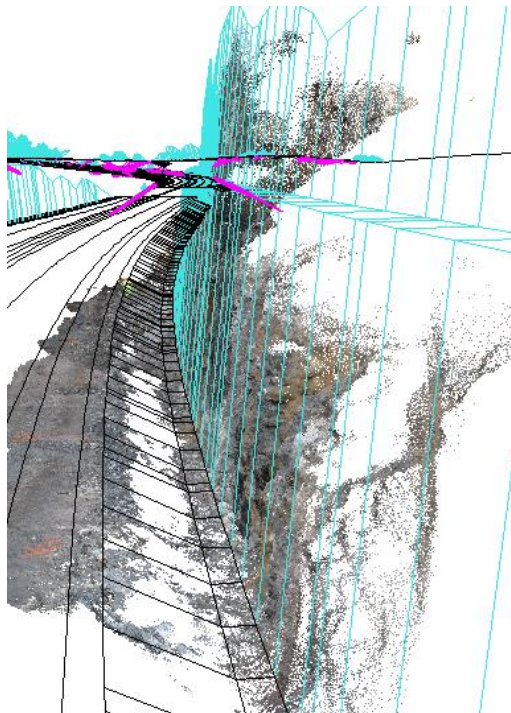
Figur 38: Til venstre ser vi et bilde av punktskyen av betongkonstruksjonen; til høyre ser vi et nærmere bilde av inn åpningen til kulverten

4.2 GS18I bergskjæring

Her kan man tydelig se at punktskyen ligger godt innenfor prosjektert veimodell og ingen knøler stikker ut. Antall punkt i modellen er 7.471.852 punkt. Genereringen tok to timer. Punktskyen havner automatisk i rett koordinatsystem siden vi bruker GNSS.



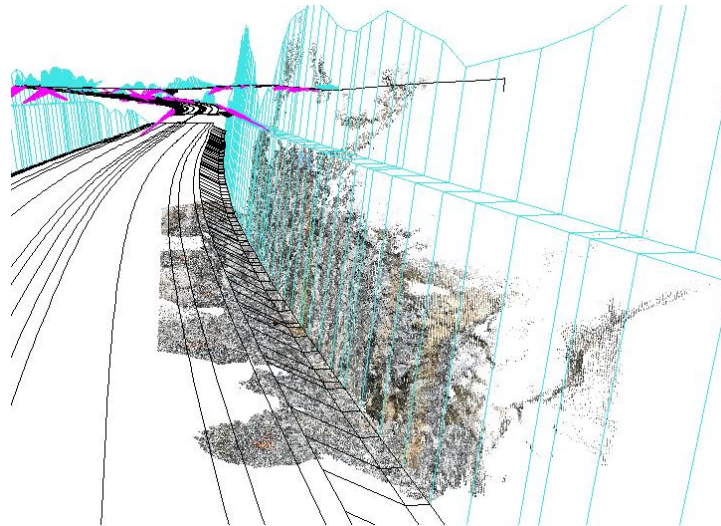
Figur 39: Bildet viser punktskyen som er skapt i Leica Infinity av bildene fanget med GS18i antennen sammen med prosjektert veimodell i Gemini Terreng.



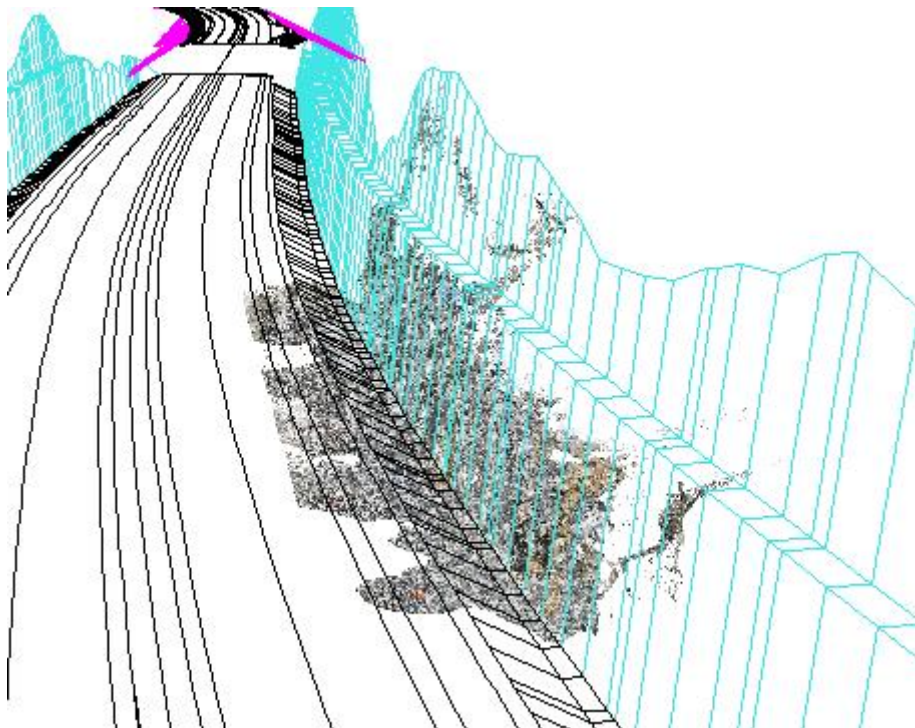
Figur 40: Bildet viser en nærmere detalj av punktskyen. Vi ser at skjæringen ligger godt innenfor prosjektert modell.

4.3 Apple bergskjæring

Her kan en se at skjæringen er georeferert. Nederst på punktskyen kan det synes at skyen er tett og overflaten har høy tetthet, mens øverst på punktskyen ser man at noe av skjæringen har blitt målt inn, men det er ikke er så tett som nederst. (antall pkt. 13.157.333)



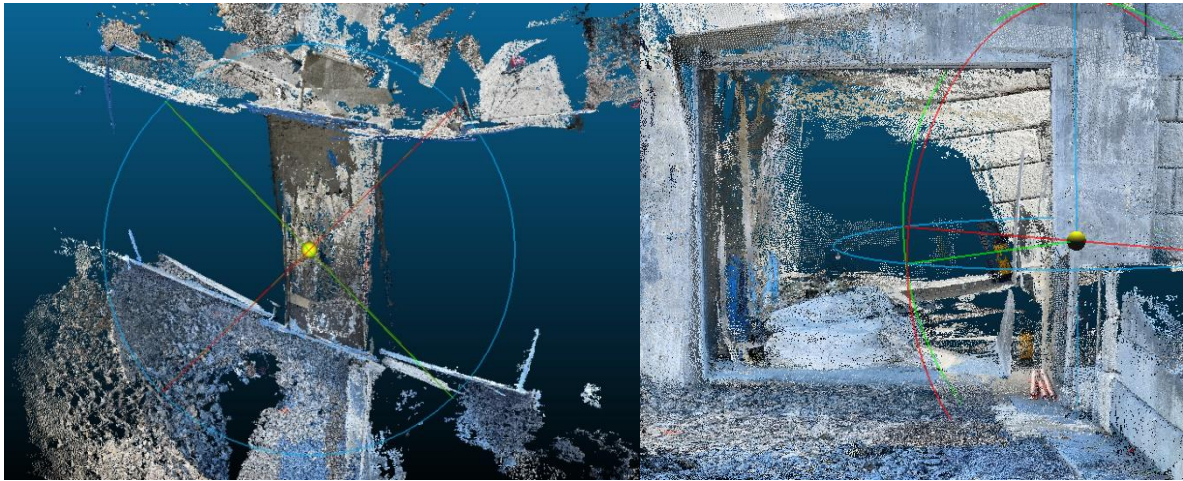
Figur 41: Georeferert Apple punktsky sammen med prosjektert veimodell.



Figur 42: Bildet viser en nærmere detalj av bergskjæringen. Vi ser at lidarskanneren ikke har fått til en tett punktsky øverst på skjæringen

4.4 Apple kulvert

Her ser vi punktskyen av kulverten. Sammenslåingen ble gjort ved å bruke «align points by picking» funksjonen i Cloudcompare og objektet fikk vinkelfeil etter denne sammenslåingen som vi ser på figur 44 nede til venstre. Det var markert seks ground control points på bakken, men bare to punkt var synlige på bakken. Teoretisk sett skulle det ha vært tre eller flere kontrollpunkter for å få et godt nok resultat til georeferering. Datafangsten startet i den nordlige delen av betongkonstruksjonen, den siden hvor kvaliteten er best. Kulvertens sørlige del er kaotisk og ingen kontrollpunkt var synlige på denne siden av objektet.



Figur 43: To punktskyer ble slått sammen for å skape denne modellen; bildet til høyre viser åpningen i kulverten.

4.5 Apple teglstensbygg

For å forsøke å få et bedre resultat på lidar-målingen så ble det gjort et sekundært forsøk i Bergen. Metoden er lik som ved datafangsten i Mandal. For å få et sammenlikningsgrunnlag ble teglstensbygget målt inn med målebånd slik at vi kan sammenlikne fysiske målinger med målinger av punktskyen i Cloudcompare. For å koordinatfeste objektet ble det laget 6 GCP punkter i koordinatsystemet EUREF89 – NTM sone 5. Høydesystem NN2000.



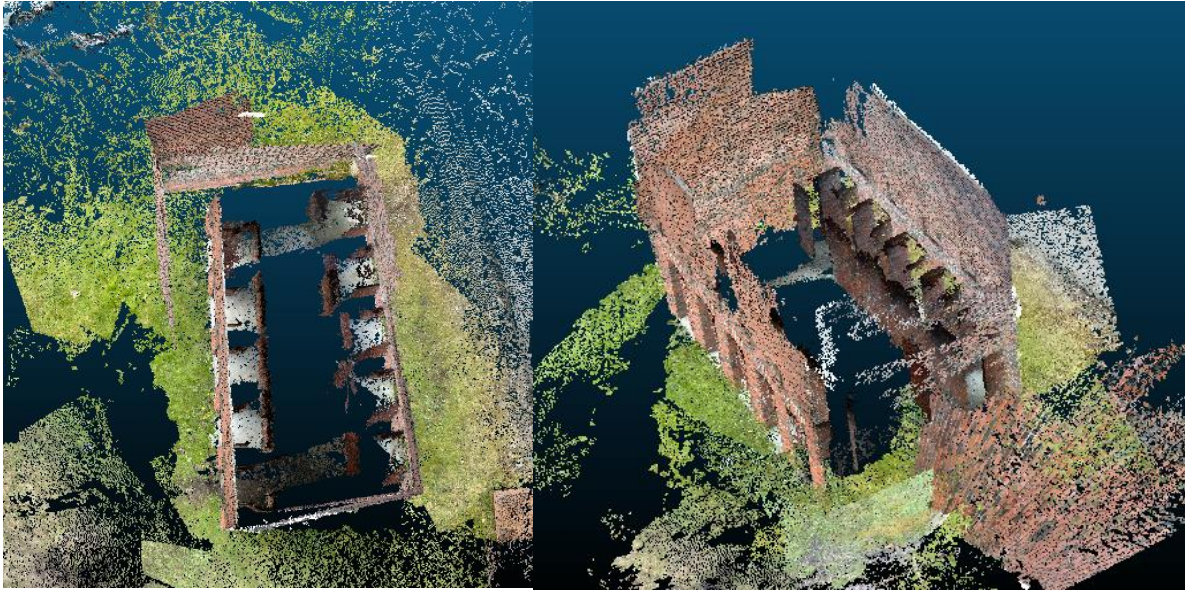
Figur 44: Til venstre ser vi resultatet til første skann; til høyre ser vi resultatet etter andre skann.

Under ser vi objektet sett ovenfra i fugleperspektiv. Vi ser at objektet er plassert sånn høvelig rett i terrenget, men skyen oppleves som kaotisk.



Figur 45: Til venstre ser vi første punktsky fra skanneren ovenfra; til høyre ser vi andre punktsky sett ovenfra.

Vi ser at skanneren har fått til detaljene på objektet, men det er fortsatt en del feil i modellen. Modellen til venstre har fått en vinkelfeil som vi ser tydeligere på bildet til venstre under. Denne feilen gjør at det kan være utfordrende å få til et sammenlikningsgrunnlag her. Siden veggene på objektet ikke står vinkelrett ovenfor hverandre. Til høyre har vi et bilde som viser et bedre resultat når det kommer til vinkelfeil. Her ser vi at objektet har mindre vinkelfeil, men den ene vegg på objektet er ikke rett plassert. Her kan det være sollys som kan ha påvirket sensoren under datafangsten.



Figur 46: Til venstre ser vi vinkelfeilen på objektet; til høyre ser vi feil plassering av vegg på objektet.

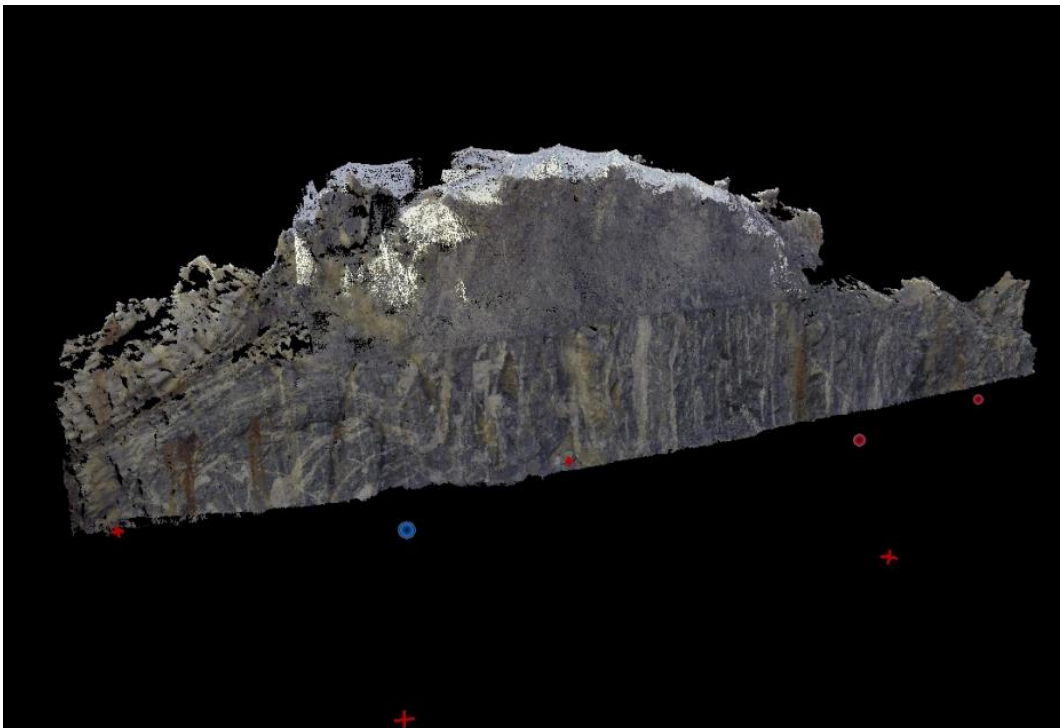
Punktskyen ble forsøkt georeferert ved å bruke en håndholdt GNSS av typen Leica GS18T med tilt kompensator. Det ble markert fem kjentpunkt på objektet som det ble målt inn. Disse punktene og en av punktskyene fra dette måleforsøket ble tatt inn i programmet. Tanken var at vi brukte samme prosedyre som ved georefereringen av bergskjæringen skannet med Apple.

Dette forsøket feilet etter gjentatte forsøk, men det er greit å vite at det finnes en mulighet å georeferere direkte på objektet.

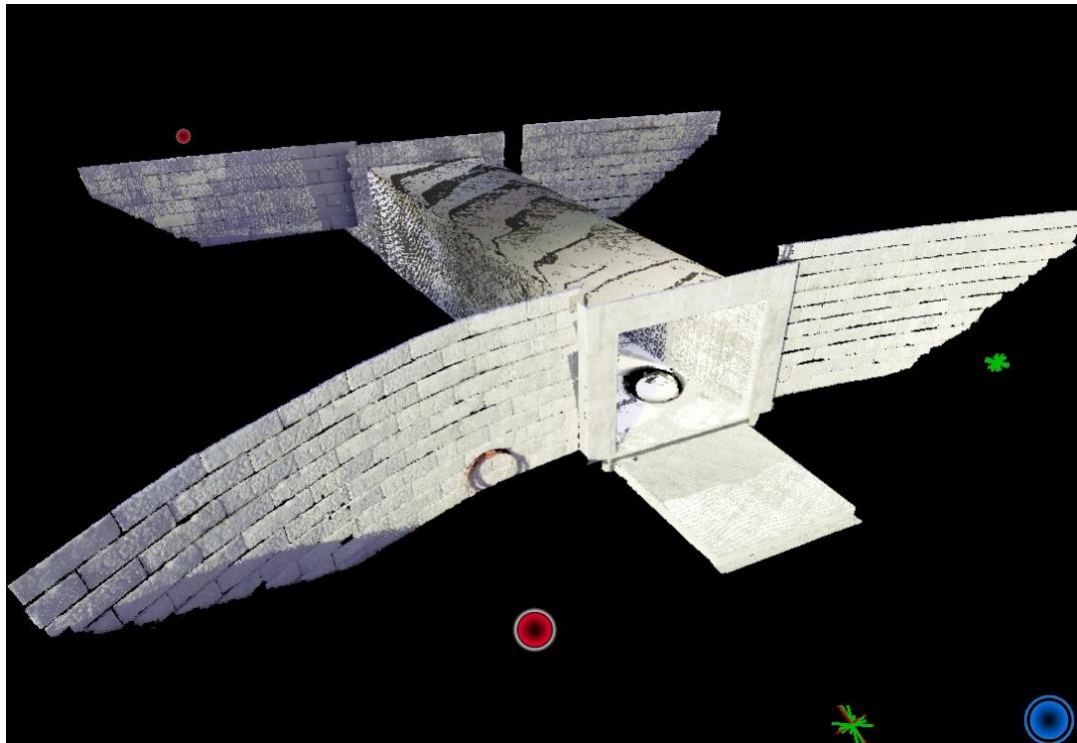
4.6 RTC360

Punktskyene som ble fanget opp av skanneren og importert til Cyclone Register har gitt et visuelt og teknisk godt resultat. Med unntak av en blink fra to stasjoner ved kulverten er nøyaktigheten på punktskyene sammenlignet med kontrollfil under to centimeter. Blink P4 fra punktskyen til kulverten har et usedvanlig stort avvik til kontrollfilen fra to stasjoner på 46 og 49 mm. Utenom dette har Cyclone vært i stand til å sette sammen to georefererte modeller som har et relativt lite standardavvik på henholdsvis 3 og 16 millimeter. Punktskyene har nokså bra overlapp med gjennomsnittlig 54 og 63 prosent. Feilmarginene mellom skyene (Cloud-to-Cloud) er 3 mm både ved kulverten og fjellskjæringen. Det ble registrert omtrent 42 millioner punkter på fjellskjæringen og rundt 414 millioner punkter på kulverten.

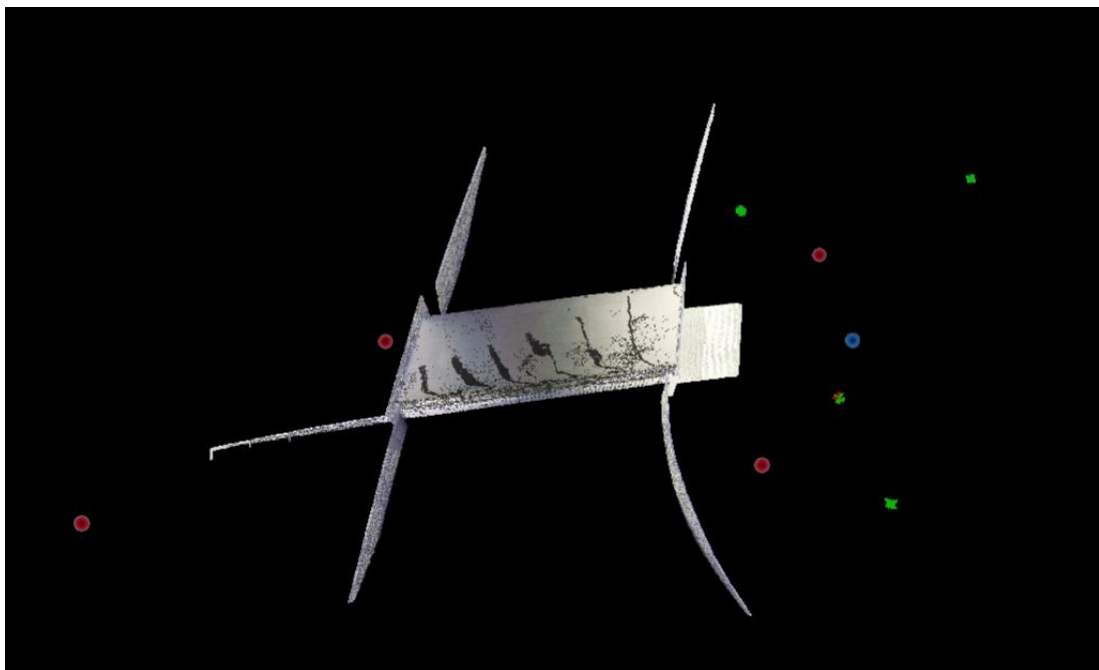
Under ser vi resultatene, inkludert utvalgte utklipp fra rapportene. Røde og blå sirkler er posisjonen til stasjonene og grønne eller røde kryss er posisjonen til blinkene.



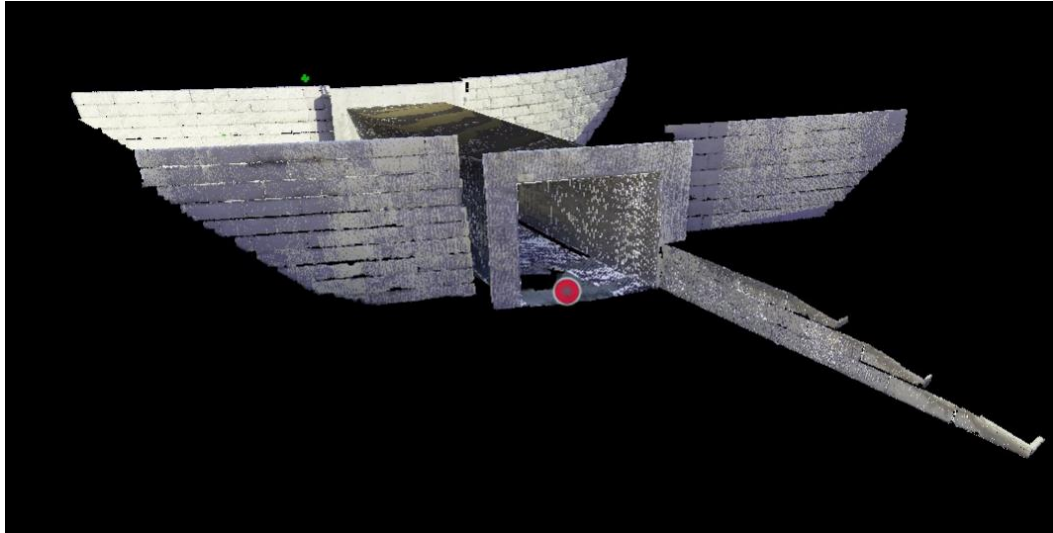
Figur 47: Fjellskjæring, bearbeidet i Cyclone.



Figur 48: Kulvert, bearbeidet i Cyclone.



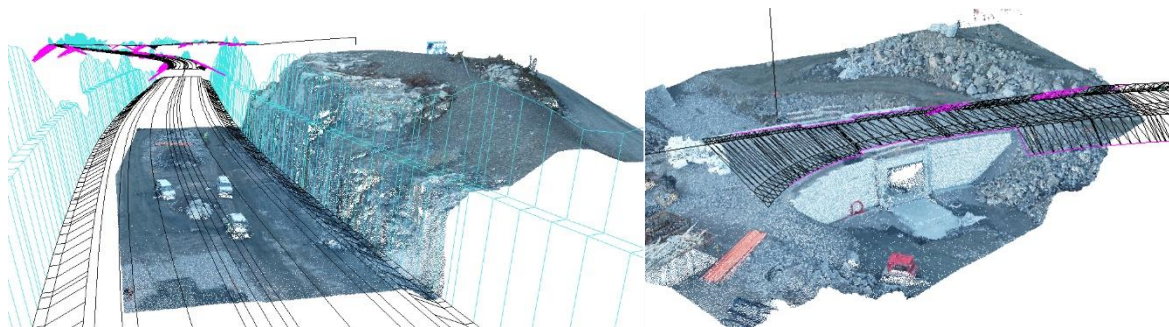
Figur 49: Kulvert, bearbeidet i Cyclone.



Figur 50: Kulvert, bearbeidet i Cyclone

4.7 Dronedata

Fra dronedataen får vi en punktsky over med mange punkt over et stort område. Punktene har farge for å gjøre selve punktskyen visuell.



Figur 51: Sluttresultat er en ferdig georeferert punktsky av fjellskjæring og kulvert over prosjektert veg modell.

Til sammen ble det gjort 4 målinger ettersom vi tok kontrollmålinger på begge steder. Ettersom rapporten fra begge kontrollflygingene er tilnærmet lik første flygning, tar vi utgangspunkt i rapportene fra første flygning for hvert område. Rapportene finnes som vedlegg G og H i *kapittel 10 vedlegg*. I rapportene får vi først en oversikt som kalles *quality check*. Der blir bildenes knyttepunkter, datasettets kalibrerte bilder, kameraoptimaliseringen, antall samsvarende bilder og georefereringen vurdert. Vurderingen består av enten en grønn, gul eller rød farge, der grønn er best. Vi bruker standard innstillinger i rapportene og får alle 5 punktene merket med en grønn hake.

Quality Check



🔍 Images	median of 65639 keypoints per image	✓
🔍 Dataset	51 out of 51 images calibrated (100%), all images enabled	✓
🔍 Camera Optimization	0.62% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✓
🔍 Matching	median of 33808.4 matches per calibrated image	✓
🔍 Georeferencing	yes, 4 GCPs (4 3D), mean RMS error = 0.008 m	✓

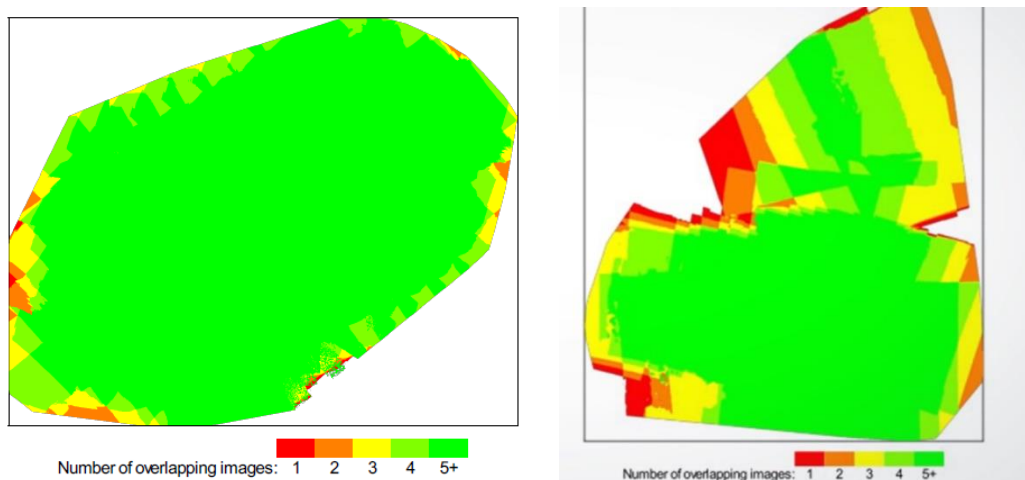
Figur 52: Utdrag fra kvalitetssjekk i fjellskjæringsrapporten.

🔍 Images	median of 56385 keypoints per image	✓
🔍 Dataset	168 out of 169 images calibrated (99%), all images enabled	✓
🔍 Camera Optimization	0.07% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✓
🔍 Matching	median of 29537.3 matches per calibrated image	✓
🔍 Georeferencing	yes, 4 GCPs (4 3D), mean RMS error = 0.01 m	✓

Figur 53: Utdrag fra kvalitetssjekk i kulvertrapporten.

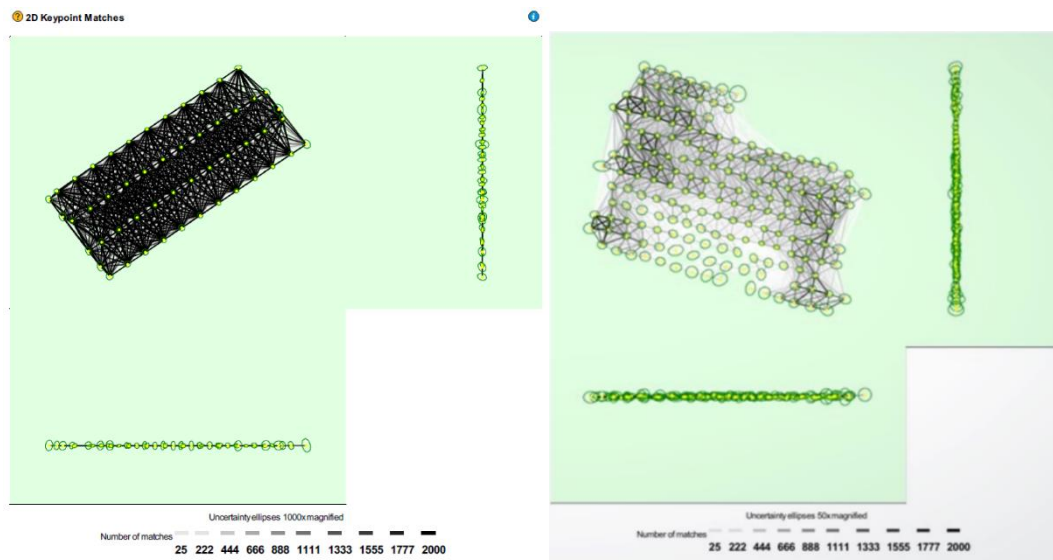
Vi registrerer at vi får 0,8 cm RMS error for fjellskjæringen og 1,0 cm RMS error for kulverten. RMS (root mean square) error baserer seg på gjennomsnittsavviket for de 4 GCP punktene.

Videre i rapportene på side 2 og 3 ser vi flyruten til dronen, samt hvor god overlappingen er, som har sammenheng med hvor god fotogrammetrien blir.



Figur 54: Bildet t.v. er hentet fra fjellskjæringsrapporten; bilde t.h. er en illustrasjon fra pix4D for å vise hvordan et dårlig resultat ser ut.

Videre i rapportene finnes resultater om 2D knyttepunkt i bildene som forteller oss noe om hvor mange bilder som har noe til felles. I rapporten dannes det en illustrasjon der en linje blir trukket mellom hvert bilde som har et knyttepunkt til felles. Linjene har gradert farger fra hvitt til svart, der svart er best resultat.



Figur 55: Bildet t.v. er utdrag fra kvalitetsrapporten for fjellskjæringen, t.h. er en illustrasjon over hvordan et dårlig resultat ville sett ut {Pix4D}.

5 Diskusjon

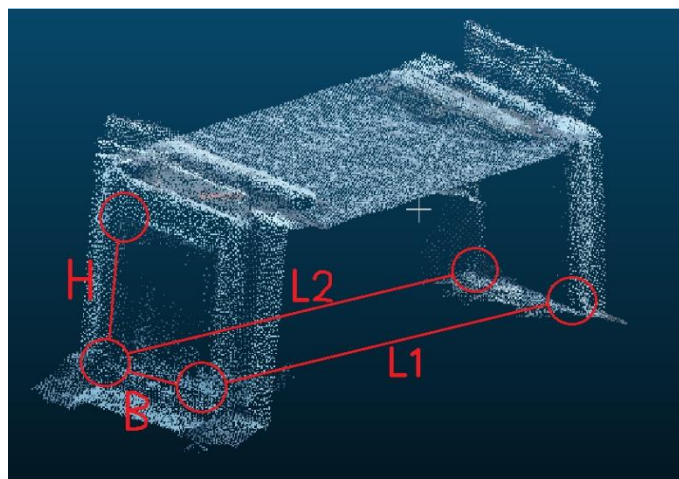
5.1 Kvalitativ sammenlikning

Den kvalitative sammenlikningen av modellene skal gjøres basert på effektivitet, kostnad og kvalitet som nevnt innledningsvis. For å gjøre denne sammenlikningen er det fastsatt kriterier for sammenlikningsgrunnlaget. Disse kriteriene er at det må være mulig å georeferere punktskyen inn i rett koordinatsystem, det må være mulig å bruke resultatet altså punktskyen til å kontrollere at vegvesenet sine standarder er overholdt, målemetoden bør være så effektiv at den er å foretrekke i anleggsvirksomhet og prisen på produktet bør svare på kvaliteten til punktskyen.

Ved innmåling av de forskjellige punktskyene ble det ved flere tilfeller etablert GCP for georeferering av skyen. Av praktiske årsaker ble kontrollpunktene etablert med GS18I siden det var mest praktisk og denne var tilgjengelig. I praksis kan man bruke hvilken som helst GNSS løsning til å etablere disse kontrollpunktene.

5.1.1 Nøyaktighet

For å sammenligne nøyaktigheten på punktskyene gjøres en avstandsmåling mellom tenkte punkt i kulverten. Det blir gjort fire målinger i hver punktsky, høyde, bredde og to lengdemålinger av kulverten. Med unntak av teglstensbygget i Bergen hvor det gjøres flere målinger. Resultatene sammenlignes opp mot den prosjekterte modellen og samles i tabell. Sammenligningen tar vi utgangspunkt i at den prosjekterte modellen er lik virkeligheten. Dersom prosjektert modell og virkeligheten ikke stemmer overens er dette en feilkilde for resultatene.



Figur 56: Illustrasjon av hvordan avstandene er målt i punktskyen.

Betongkonstruksjon GS18I

Avstandene som er målt i kulverten viser et gjennomsnittsavvik på 5.1 cm fra prosjektert modell. Avviket kan komme av målefeil som er gjort i punktskyen.

Avstand nr:	Målt lengder på objekt: prosjektert modell (m)	Faktisk lengde på objekt: punktsky	Avvik (m)
L1	11.889	11.828	0.061
L2	12.251	12.236	0.015
H	3.240	3.193	0.047
B	3.672	3.591	0.081

Tabell 4: Avstander kulvert GS18I.

Betongkonstruksjon Apple

Avvikene i denne betongkonstruksjonen er en god del høyere enn avstandene som er målt i GS8I punktskyen på samme objekt. Det må da også tas med i vurderingene at vinkelfeilen som ble beskrevet i kapittel 4.4. Kommer av et forsøk på en sammenslåing av to punktskyer med funksjonen align points by picking i programmet Cloudcompare. Nøyaktigheten på selve målingen er ikke heller noe særlig god. Målingene har et gjennomsnittlig avvik på 77.3 cm fra prosjektert modell.

Betongkonstruksjonen ble heller ikke georeferert grunne manglene ground controll points noe som gjør at i praksis er denne skyen ikke brukende til formålet.

Avstand nr:	Målt lengder på objekt: prosjektert modell (m)	Faktisk lengde på objekt: punktsky	Avvik (m)
L1	11.889	11.279	0.61
L2	12.251	11.579	0.672
H	3.240	3.938	0.698
B	3.672	4.782	1.11

Tabell 5: Avstander målt i punktskyen til Apple lidaren

Avstandene fra Apple lidar punktskyen gir oss et gjennomsnittsavvik på 77,3 cm fra prosjektert modell.

Apple teglstensbygg

Nøyaktigheten på teglstensbygget viser et godt resultat når det kommer til de avstandsmålinger som ble gjort ute i felt. Her hadde vi ikke en prosjektert modell og forholde oss til, derfor ble målingene gjort med målebånd. Avviket på første skann var på 7.4 cm og avviket på andre skann var på 11.1 cm. Det må da påpekes at andre skann ble gjennomført noe fortere enn første skann ute i felt grunnet raskt værerslag.

Denne punktskyen lot seg ikke georeferere med ground control points noe som gjør at skyen i praktisk ikke kan brukes til formålet.

Første skann: Målt lengde på objekt i punktsky (mm)	Andre skann: Målt lengde av objekt i punktsky (mm)	Målt lengde av objekt (målt i terrenget med målebånd)	Avvik første (mm)	Avvik andre (mm)
6449	6374	6670	221	296
4035	4064	3942	-93	-122
6460	6372	6395	-65	23
4030	3889	4067	37	178
1661	1672	1637	-24	-35
740	732	744	4	12

Tabell 6: Avvik i mm teglstensbygg.

Betongkonstruksjon RTC360

Her ser vi et avvik på punktskyen av betongkonstruksjonen målt med RTC360. Her er det et gjennomsnittsavvik på 24.3 cm fra prosjektert modell. Grunnen for at aviket her er så stort kan ligge i georefereringen.

Avstand nr:	Målt lengder på objekt: prosjektert modell (m)	Faktisk lengde på objekt: punktsky	Avvik (m)
L1	11.889	11.419	0.417
L2	12.251	11.7597	0.4913
H	3.240	3.213	0.027
B	3.617	3.655	0.038

Tabell 7: Avvik fra prosjektert modell mot punktsky RTC360.

Betongkonstruksjon drone

Nøyaktigheten til dronemålingen var ganske høy tatt i betraktning av at innsiden av betongkonstruksjonen ikke var synlig fra høyden som dronen flydde over objektet. Dronen flyr i en sånn høyde at det er ikke mulig for kameraet og ta bilder inn i objektet noe som resulterer i at det bare blir skapt en punktsky over og rundt objektet.

Gjennomsnittsavviket på punktskyen er på 6.7 cm fra prosjektert modell.

Avstand nr:	Målt lengder på objekt: prosjektert modell (m)	Faktisk lengde på objekt: punktsky	Avvik (m)
L1	11.889	11.897	0.008
L2	12.251	12.254 m	0.003
H	3.240	3.149 m	0.091
B	3.617	3.450 m	0.167

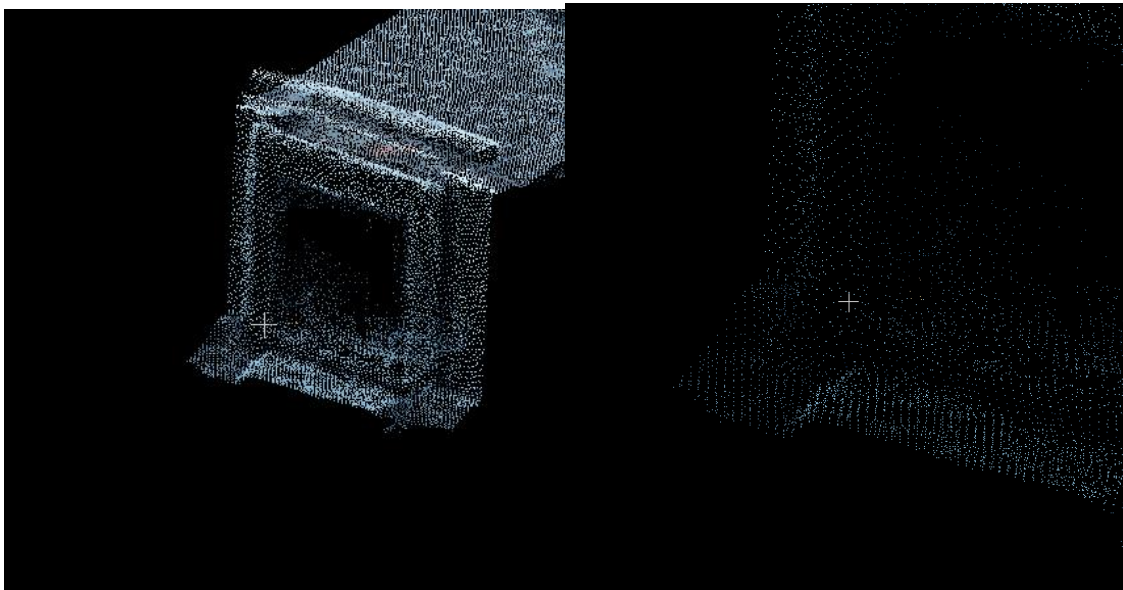
Tabell 8: Tabell som viser avviket til punktskyen til droneskyen over betongkonstruksjonen

Utstyr	GS18i	Iphone	RTC360	Drone
Gjennomsnittsavvik (cm)	5,1	77,3	24,3	6,7

Tabell 9: Samling av avvikene fra de forskjellige punktskyene.

Når vi sammenlikner resultatene ved siden av hverandre er det klart at GS18i og RTK dronen har lavest avvik fra den prosjekterte modellen, og at iphone skiller seg ut med klart størst avvik. Dette kan ha samsvar med at iphone punktskyen ser rotete ut og har vinkelfeil. Selv om GS18i og RTK dronen i dette tilfellet gir relativt lavt avvik fra prosjektert modell er det viktig å være klar over noen mulige feilkilder.

Å bruke prosjektert modell som fasit på virkeligheten kan gi feilkilder ettersom det ikke nødvendigvis er helt likt, men det kan gi oss en indikasjon på hvordan resultatene er. Det vi egentlig burde gjort var å gjennomføre en reflektorløs avstandsmåling med totalstasjon for å få nøyaktige koordinater på punktene. Det er også viktig å nevne at avstandsmålingen i punktskyen heller ikke nødvendigvis er rett, ettersom punktskyen gir veldig mange punkter på omtrent samme sted. Dette gjør at vi blir nødt til å velge et punkt omtrent i hjørnet, noe som kan gi forskjellig avstand mellom hver måling, men vi regner med at denne feilkilden ikke gir større utslag enn noen få cm.



Figur 57: Til venstre ser vi en detalj i en punktsky; til høyre ser vi zoomet inn mot detaljen i punktskyen.

5.2 Bruk av instrumentene

For å få en god forståelse for hvordan instrumentene fungerer i felt er det nødvendig å se nærmere på hvordan disse er å ta i bruk. Det er ønskelig med høy nøyaktighet og effektive målinger og dette kan avhenge av brukervennligheten. Det er også viktig å se etter om fokus på det ene vil gi negative utslag på det andre samt hvor enkelt det er å få gjennomført en god måling med instrumentene.

GNSS-antennen fra Leica oppleves som svært brukervennlig med gode menyer som er intuitive å navigere. Den kan dessuten automatisk georeferere og brukes til oppgaver som ikke omhandler punkttskyer. Til tross for dette er det noen forbedringspotensialer. Blant annet opplever man lang ventetid etter hver bildegruppe, da dataene blir overført fra antennen til måleboken. Utover dette oppleves det at en bildegruppe på 60 sekunder er kortere enn det kunne vært. Det er i tillegg tungvint å gjennomføre en bildegruppe da man er avhengig å både ha fix og tilt-kompensatoren aktivert. Antennen kan oppleves som litt tung og er ikke spesielt egnet for å måle inn høye objekter til tross for at det er mulig.

Skanneren fra Leica er enkel i bruk og å sette opp. Instrumentet veier lite og kan være operativt kort tid etter den er satt opp på trefoten og målingene er veldig raske. Menyen er enkel å navigere og med en rimelig stor skjerm er det lett å lese og se de ulike ikonene. I tillegg til å være brukervennlig er kvaliteten på arbeidet den gjør veldig god. Den automatiske linking som gjøres etter hvert som målingene utføres vil spare mye tid i etterarbeidet samt på anlegget siden blinker ikke er like nødvendig som det er med andre modeller. Det er også noen utfordringer med RTC360, deriblant at det må georefereres med annet utstyr, for eksempel totalstasjon. For å få georeferert punkttskyen må det også skrives en kontrollfil, dette må man gjerne gjøre manuelt. I tillegg skulle vi ønske at det var mulighet til å ha noe høyere nøyaktighet, da RTC360 har litt dårligere nøyaktighet enn blant annet P40 og P50 som også leveres av Leica.

Leica leverer support til begge instrumentene. Supporten kan hjelpe deg med mye, deriblant problemer med instrumentene, programvare og bruk av instrumentene for å sikre best mulig resultat med produktene. Dette er et veldig stort pluss og et gode man burde ta i bruk om man har muligheten. Supporten består av eksperter på Leica sine produkter og dersom de mot formodning ikke kan svare på et spørsmål har de kontakter over hele verden med andre eksperter som kan ha vært borti problematikken du har støtt på.

Telefonen fra Apple kan ha gode forutsetninger for å endre landmålingsyrket ved å lansere integrert LiDAR, og dette i et «instrument» som kan være et lavkostnadsalternativ for selskaper som produserer punktskyer. Skanneren er ganske enkel i bruk og man har noen valgmuligheter med tanke på programvare. Hvor enkelt det er å bruke iPhoneen går mest på programvaren og innstillinger, men pix4d som er brukt i denne oppgaven er rimelig enkel i bruk og takler store mengder med data. Apple distribuerer produkter til mange land noe som fører til at det kan være enklere å anskaffe en iPhone sammenlignet med andre alternativer, dette gjelder spesielt i utviklingsland. Til tross for potensialet i telefonen er den ikke klar til industriell bruk. Det er blant annet problematisk at vi ikke kjenner til forventet nøyaktighet. Rekkevidden er mangelfull og nøyaktigheten for lav. iPhoneen er heller ikke i stand til å gi gode målinger på glatte flater eller under sollyst. Sensoren er nokså treg, og man er avhengig av nett for å overføre data. Dette medfører at kvaliteten på skanningen blir av en slik kvalitet at det kan være vanskelig å finne bruksområder for instrumentet. Det er også nødvendig med et annet instrument for å georeferere, en prosess som for øvrig er vanskelig.

Dronen fra DJI er et kostnadseffektivt instrument som kan dekke store områder med raske målinger. Kvaliteten den leverer er god og resultatene man kan hente er svært detaljert. Det er også et pluss at dronen er i stand til å gjennomføre et skann med minimal input fra fører. Alt i alt kan føreren sette en ramme for hvor dronen skal fly og en måleplan vil automatisk bli generert. Likevel er man avhengig av å ha sertifikat for å kunne operere en drone og ytterligere instrument er et krav for å få god nøyaktighet på georefereringen. Til tross for at dronen kan dekke et stort område har den også problemer med å skanne under tak eller i hulrom som for eksempel i kulverten. Dette er fordi den må ha kontakt med en basestasjon eller satellitter for å vite hvor den er plassert i forhold til måleplanen. I tillegg er det spørsmål rundt datasikkerheten. Dette er fordi DJI er et kinesisk selskap og har nylig blitt svartelistet av USA. Dersom man finner andre alternativer, kan droner likevel være et trygt verktøy på anlegget.

5.2.1 Praktisk ved bruk av hvert instrument

For å bruke hvert enkelt instrument krever det en del utstyr for å gjennomføre målingene. Noe utstyr krever mere rigging og klargjøring mens andre krever mindre «tiltak» for å starte å måle. Derfor er det interessant i denne sammenheng å studere forskjellene mellom instrumentene.

Fotogrammetri med GS18I	Skanning med RTC360
1 GNSS system	1 skanner med stativ
1 korrigeringstjeneste	4 stativ med black and white targets
	1 totalstasjon med målebok

Tabell 10: Sammenlikning av GS18i og RTC360.

Her ser vi at fotogrammetri med GS18I krever lite utstyr for å komme i gang med målingene noe som er en fordel når det kommer til tid. Antennen georefereres automatisk bildene inn i rett koordinatsystem noe som er veldig praktisk. Innsamlingen av bildegrupper blant annet krever at man hele tiden må følge med på skjermen på måleboken hvor på objektet kameraet var rettet. Dette resulterte i at man lett mistet fokus på omstendighetene. Terrenget rundt skjæringen besto av grov pukk med store steiner som lå rundt i området. Altså området var ikke på noen måte ferdig opparbeidet. Det betyr at det er mye man kan snuble og falle over. En kombinasjon av begrensninger i måletiden som setter landmåleren under press, ujevnt terreng og fokuset man må ha på skjermen under innsamlingen av bildegruppen kan medføre at sannsynligheten for en arbeidsulykke øker.

Skanning med RTC360 krever i utgangspunktet ikke så mye utstyr for å komme i gang. Som nevnt under kapittel 6.3 så krever det eksternt utstyr for å georeferere skyen inn i rett koordinatsystem. Her er nødvendig å benytte totalstasjon for å få skyen inn i rette koordinatsystem.

Skanning med iphone er krever at man har en iphone eller en ipad med den integrerte teknologien samt et GNSS system for å få skyen over i rett koordinatsystem. Vi har i denne oppgaven sett på tre GNSS systemer som i prinsippet er i stand til å gjøre samme jobb med små variasjoner. Den første er GS18I som har tilt kompensator noe som gjør at man kan velge et punkt på veggen til objektet som skal skannes og bruke dette som kjentpunkt for georeferering. Siden hensikten med denne oppgaven er å vurdere instrumentene opp mot hverandre velger vi å benytte GS18T fra Leica med tilt kompensator for å etablere disse kjentpunktene på veggen på objektet som skal skannes.

Det andre systemet er Spectra sin SP60 med TDC600 målebok som er et rimeligere alternativ enn Leica sitt GS18T system, men her er det ikke til kompensator integrert i instrumentet. Det tredje systemet er Emlid Reach RS2 som er et enda billigere system. Systemet krever at man har en Android mobil som fungerer som målebok. Her kreves det to GNSS antenner av denne typen for å få tilstrekkelig nøyaktighet om man ikke har CPOS abonnement {RS2, 2021}.

Skanning med iphone	Fotogrammetri med drone
1 iphone	1 RTK drone
1 korrigeringsjeneste	1 korrigeringsjeneste
1 GNSS system	1 GNSS system med tilt kompensator
3 eller flere GCP	3 eller flere GCP

Tabell 11: Sammenlikning av Iphone og drone.

Fotogrammetri med drone krever i tillegg til dronen en korrigeringsjeneste og et GNSS system siden denne formen for måling også benytter seg av GCP for å få skyen over i rett koordinatsystem. Det dermed ikke er nødvendig med tilt kompensator for å lage kontrollpunktene på bakken noe som gjør at vi her kan velge det rimeligste alternativet for valg av GNSS system i motsetning til ved georeferering av teglstensbygget i Bergen hvor det var helt nødvendig med tilt kompensatoren for å markere kjentpunktene i skyen.

5.3 Kostnader

Leica RTC360 er et instrument som er kostbart i innkjøp, men instrumentet svarer på prisen i form av enkel brukervennlighet og hurtighet i selve skanningen. Det som trekker ned her er bruk av totalstasjon for georeferering. En metode som krever at man har tilgang på totalstasjon og tilstrekkelig med «blinker». En fordel hadde vært om man kunne kombinert teknologien i skanneren med GNSS teknologien slik at man hadde fått georeferert skyen ved å la skanneren motta GNSS signaler og et korrigeringsignal fra en bakkestasjon.

Det er her fordelene med GS18I kommer til anvendelse. Roveren er konstruert til å motta korrigeringsignal både fra bakkestasjoner og smartnet som bruker internett til å sende korrigeringssignalet til antennen. Innkjøpsprisen på produktet er rett i underkant av 400 000 NOK oppgitt fra Leica noe som er høyt, men ikke høyest av produktene som er med i denne sammenlikningen. Det medfører noen løpende kostnader ved å velge denne løsningen og den første er en korrigeringsjeneste som koster rundt 10 000 hvert år som man uansett ikke kommer unna ved bruk av GNSS løsninger. Det andre er tilgang til programvare for å lage punktsky ut av bildegruppene. Programmet vi snakker om her er Leica Infiniti.

Det tredje instrumentet i sammenlikningen er DJI Phantom RTK dronen som koster rundt 70 000 NOK i innkjøp. Produktet er forholdsvis billig i innkjøp og krever lite forberedelser for å starte med målingene. For å georeferere denne punktskyen krever det at man har tilstrekkelig med ground controll points på bakken. Disse er raske og lage og krever bare en GNSS løsning som gir god nøyaktighet. Med god nøyaktighet i GNSS – sammenheng snakker vi om nøyaktighet på 1-3 cm i beste fall. Punktene er på bakkenivå noe som gjør at vi ikke behøver tilt kompensator for at kjentpunktet skal kunne måles inn det tillater oss å bruke den billigste løsningen levert av Emlid. Her krever det på linje med de andre GNSS løsningene en korrigeringsjeneste som krever et abonnement. I tillegg krever det tilgang på et bildebehandlingsprogram som for eksempel PIX4D mapper. Prosesseringen av bildegruppen og georefereringen gjøres i samme program noe som er veldig praktisk.

Det fjerde instrumentet er Apple iPhone Pro. Instrumentet er rimeligst innkjøp i skrivende stund. Telefonen er som nevnt tidligere ikke et genuint landmålingsinstrument, men det er integrasjonen i instrumentet som vi har testet for industriell bruk.

Instrumentet krever at man har kjentpunkter i skyen som tillater oss å georeferere objektet i et program som for eksempel Cloudcompare som er gratis. Vi erfarte at punktskyen i kapittel 4.3 lot seg georeferere med GCP punkter på bakken, her var terrenget grovt og her spekuleres det i om det var ruheten på objektet som gjorde at punktskyen fikk et så godt resultat som det gjorde. I motsetning til resultatet på teglstensbygget i Bergen hvor 4 av 6 GCP punkter ikke var synlige i punktskyen. Her eksperimenterte vi ved å bruke en GNSS løsning med tiltkompensator for å georeferere punktskyen basert på et kjent punkt i skyen. Løsningen ved å bruke tilt kompensatoren til å måle inn et punkt på veggen er etablert, men også her er det utfordringer. Utfordringene med denne metoden er å få fix- løsning nært objektet som vi måler på. Objektet som denne metoden ble testet på var teglstensbygget i Bergen. Bygget er et rundt 5 meter høyt med noe vegetasjon i form av høye trær rundt. Dette resulterte i utfordringer med å få til en fix-løsning på store deler av objektet.

Produkt	Veiledende pris på produkt oppgitt fra leverandør	Nødvendig støttetjeneste for bruk av produkt	Pris på tjenester for bruk av produkt
Leica RTC360 med	600.000 NOK	Leica Cyclone 360 for behandling av punktsky	5904 NOK for 4 ukers lisens. Oppgitt pris på produkt er med ett års lisens i dette tilfellet 19.700 NOK årspris for Leica Cyclone Register 360 1.650 NOK pr. mnd
		Totalstasjon for georeferering	Pris avhengig av valg av stasjon
Leica GS18i med stang, målebok CS20 og batteri	340.000 - 390.000 NOK	Hexagon Smartnet eller liknende korrigerings-tjeneste	10.000 NOK pr. år. 833 NOK pr.mnd (Hexagon, 2021)
		Leica Infiniti for databehandling av bildegruppe	21.845 NOK pr. år 1.850 NOK pr.mnd
DJI Phantom RTK drone	65.000 NOK (AS, 2021)	Pix4DMapper for fotogrammetri	2299.56 NOK pr. mnd. (Pix4D, 2021)
		CPOS korrigerings-tjeneste fra kartverket	11.000 NOK (CPOS, 2021) 950 NOK pr. mnd.
		GNSS system Spectra SP60 med TDC600 målebok	150.000 NOK veiledende pris fra Norgeodesi
		GNSS system Emlid Reach RS2	33.000 NOK (Emild, 2021)

		Android mobil som målebok for Emlid GNSS	3.000 NOK (POWER, 2021)
--	--	---	-------------------------

Apple iphone 12 pro med lidar 128 GB lagring uten mobilabonnement	13.000 NOK (Inc, 2021)	Cloudcompare for rydding og visualisering/ georeferering	Gratis
		Pix4DCatch eller liknende tjeneste for datafangst	Gratis
		Pix4DCloud for prosessering av rådata fra datafangsten	1804.24 NOK pr. mnd. (Pix4D, 2021)
		GNSS system med tilt kompensator Leica GS18T med CS20 målebok	Ca. 280.000 NOK avhengig av lisenser
		GNSS korrigeringstjeneste	Hexagon Smartnet 10.000 NOK pr. år (Hexagon, 2021) 833 NOK pr. mnd

Tabell 12: Tabellen er veiledende priser på objektet. Noen av prisene er innhentet direkte fra leverandør av produktet i Norge og andre er innhentet direkte fra nettsiden til leverandøren. Prisene fra Leica er hentet fra Leica fra Ida -Fuhr på mail.

Totalkostnad for hver instrumentløsning		
Instrument	Innkjøpspris	Løpende kostnader (pr. mnd.)
GS18I	390.000 NOK	2.750 NOK
Apple	292.000 NOK	1.805 NOK
RTC360	600 000 NOK	1.650 NOK
Drone	101.000 NOK	2.300 NOK ved valg av Emlid løsning uten CPOS

Tabell 13: Totalkostnader ved valg av hver løsning. Prisene er veiledende.

5.4 Utfordringer

Under arbeidet møtte vi på problematikk og vanskelige situasjoner som vi helst skulle ha unngått. I hovedsak har vi hatt problemer med iPhone 12 Pro og skulle ønske vi hadde skaffet oss en mulighet til å bli bedre kjent med denne før vi startet målingene i Mandal. I størst grad var det med hensyn til georefereringen og behandlingen av punktskyen vi støtte på problemer, men det er også en sjanse for at målingene som ble gjort i felt er grunnen til at vi opplevde dette som vanskelig. For eksempel er det mulig at telefonen har mistet GPS signalene på vei igjennom betongkonstruksjonen og dette har resultert i at resultatet ble manglende. Det er også mulig at det er noen innstillinger som ikke er optimalisert og at resultatene av den grunn har vært forringet.

I tillegg til å ha problemer med iPhonen var det også litt tøft å få til gode målinger ved kulverten. Grunnen til dette er mange, men det kunne vært flere løsninger. Vi kunne og burde ha tatt flere målinger med forskjellige metoder og avstander for å ha et bredere utvalg av rådata. Dette kunne ført til at vi hadde fått mer innsikt i hvordan disse metodene egner seg i bruk og vi hadde fått dypere innsikt i instrumentenes begrensninger.

Alt tatt i betraktning er det planleggingen som helst skulle vært gjort grundigere, spesielt med tanke på områdene som ble målt. Vi har i ettertid skjønt at oppgaven kunne ha vært mer interessant og illustrert bedre hva instrumentene er i stand til dersom vi hadde valgt en mindre ferdigstilt fjellskjæring. Av ulike grunner ble ikke dette gjort, blant annet av hensyn til tid.

6 Konklusjon

GNSS med visuell posisjonering leverte på alle områdene. Målemetoden var enkel i bruk og krevde lite forberedelser for å starte målingen. Instrumentet fikk dannet punktsky og georeferert denne problemfritt ved alle målingene som ble utført i oppgaven. Det ble erfart at øverst på punktskyen ble noe av skjæringen ikke med, men jevnt over var resultatet veldig bra for dette måleinstrumentet. Det må påpekes at vinklingen på kameraet gjorde at det var nødvendig å holde GNSS staven ganske høyt med en ganske skrå vinkel noe som gjorde at tilt kompensatoren slo inn om man ikke var observant på dette.

Laserskanning med håndholdt lidar fra Apple var utfordreren i dette prosjektet. Det ble bevist at det var mulig å skanne inn et objekt og få det inn i rett koordinatsystem ved å bruke ground control points. Punktskyen som ble georeferert var bergskjæringen, men også her var det noen utfordringer. Grunnet rekkevidden på lidar sensoren ble bare halve skjæringen med i punktskyen noe som gjør at på høye objektet er ikke metoden egnet. Måleinstrumentet ble testet ved to tilfeller på en kulvert og på et teglstensbygg. Det ble etablert flere ground controll points men ved begge tilfellene var det færre enn tre stykk som var synlige i punktskyen. Objektene hadde begge vinkelfeil noe som i praksis gjorde at punktskyen ikke kan brukes. Det ble spekulert i om muligheten å bruke tilt kompensatoren i en GNSS løsning som GS18 T fra Leica direkte på objektet ville fungere. Risikoen for at man ikke får fix- løsning øker ved denne løsningen og innkjøp av en sånn GNSS løsning er høy.

Konklusjonen er at dette måleinstrumentet ikke er klart for kommersielt bruk i anleggsvirksomhet. Instrumentet gav et resultat som ikke var godt nok til målinger i denne skalaen.

Laserskanning med RTC360 gav et bra resultat i alle forsøkene i dette prosjektet. Skanneren er dyr i innkjøp, men innkjøpspris svarer på brukervennlighet og kvalitet på resultat. Det som trekker mest ned ved valg av denne løsningen er at det må brukes totalstasjon for å få punktskyen over i rett koordinatsystem. Har man utviklet en integrasjon som kombinerer GNSS og laserskanning har dette kunne gjort hverdagen til landmåleren enklere.

Den siste løsningen for dokumentasjon av asbuilt konstruksjoner er droneløsningen. Dette er også den løsningen som viste seg å være den billigste løsningen. Instrumentet er rimelig i innkjøp og det er i tillegg mulig å bruke den billigste GNSS løsningen som er Emlid for å etablere ground controll points for georeferering. Det var svake sider med denne løsningen og det som opplevdes som den største utfordringen er at ved innmåling av objekter som for eksempel kulverten så er det ikke mulig å skape punktsky inni objektet.

På bakgrunn av de tre områdene som effektivitet, kostnad og kvalitet som har blitt studert i dette prosjektet er det GS18I som kommer best ut. Instrumentløsningen er den nest dyrest blant utfordrerne, men instrumentet svarer på prisen i form at det er enkelt og komme i gang med målingene og det krever lite rigging av for eksempel blinker som er nødvendig med for eksempel RTC360. Instrumentet er i tillegg mulig å bruke til andre landmålingsjobber som ikke innebærer å skape punktsky.

7 Referanseliste

AG, L. G. (2020). *Leica GS18I Data sheet*. <https://leica-geosystems.com/nn-no/products/gnss-systems/smart-antennas/leica-gs18i>

Anjin Liu, P. W., James A. Lott, and Dieter Bimberg. (2019). Vertical-cavity surface-emitting lasers for data communication and sensing. 7(2), 15.
<https://www.osapublishing.org/prj/fulltext.cfm?uri=prj-7-2-121&id=403722###> (sist besøkt 18.05.2021)
<https://www.osapublishing.org/prj/fulltext.cfm?uri=prj-7-2-121&id=403722###> (sist besøkt 18.05.2021)

Apple: *iPhone 12 Pro and Pro Max*. (2020). Apple. Retrieved 20-05 from <https://www.apple.com/iphone-12-pro/>

Arcgis: Ukjent. *What is lidar data?* Retrieved 23 march from <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/what-is-lidar-data-.htm> (sist besøkt 18.05.2021)

Avinor. (2021). *LUFTFARTSTILSYNETS DRONEGUIDE*. Avinor. Retrieved 21.04 from <https://avinor.no/konsern/pa-flyplassen/droner/generelt>

Dick 2020: Øystein B. Dick, L. M. (2020). *fotogrammetri*. SNL. Retrieved 05.01 from <https://snl.no/fotogrammetri>

DJI. (2021). *PHANTOM 4 RTK*. Retrieved 13.05 from <https://www.dji.com/no/phantom-4-rtk>

dji. (2021). *PHANTOM 4 RTK Specs*. Retrieved 13.05 from <https://www.dji.com/no/phantom-4-rtk/info>

Dronegenuity. (2020). *Aerial Photogrammetry Explained - Create 3D Models With Drone Photos*. Youtube. Retrieved 05.01 from <https://www.youtube.com/watch?v=Blr3suSQt-Q>

Ferntech. (2019). *DJI Phantom 4 RTK | Specs | Setup | Mission Planning Tutorial | New Zealand*. Retrieved 05.01 from <https://www.youtube.com/watch?v=bokMWmP1nnI>

George Vosselman, H.-G. M. (2010). *Airborne And Terrestrial Laser Scanning*. Whittles Publishing.

Geosystems, L. (2020). Leica Nova TS60 data sheet. 2. <https://leica-geosystems.com/nn-no/products/total-stations/robotic-total-stations/leica-nova-ts60>

Geosystems, L. (2020) Leica Nova TS60 data sheet. 2

Heliguy. (2019). *IS RTK THE FUTURE OF DRONE MAPPING?* Retrieved 24.01 from <https://www.heliguy.com/blogs/dji/is-rtk-the-future-of-drone-mapping>

J. Sanz Subirana, J. M. J. Z. a. M. H.-P. (2013). GNSS DATA PROCESSING, European Space Agency.

Leica GS18 I GNSS RTK-rover. (2021). Leica Geosystems. <https://leica-geosystems.com/nn-no/products/gnss-systems/smart-antennas/leica-gs18i>

Lovdata. Forskrift om luftfartøy som ikke har fører om bord mv., § 6 a) (2021). <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2015-11-30-1404>

Norberg, T. S. D. (2014). *Grunnleggende Landmåling* (3 ed.). Gyldendal

Pix4D. *Quality Report Help.* Pix4D. Retrieved 13.05 from <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202558689-Quality-Report-Help>

Rangwala, S. (2020). The iPhone 12 - LiDAR At Your Fingertips. *Forbes*. <https://www.forbes.com/sites/sabbirrangwala/2020/11/12/the-iphone-12lidar-at-your-fingertips/?sh=5183cdeb3e28&fbclid=IwAR2GdMfOe8XSIrNMIWFX3fswrsq4ZYovrTR3SxcdcWDaxMptQ3W9xW03P4> (sist besøkt 18.05.2021)

Regjeringen (2019). Instruks for Vegvesenet. Samferdselsdirektoratet. Vegvesen.no: 9.

Stefan Schaufler, M. F., Geo Boffi, Xiaoguang Luo, Zoltán Török (2020). "An Innovative Image-Based Surveying Approach for Globally Referenced Remote Point Measurements." 13.

Stein, S. (2021). Lidar is one of the iPhone and iPad's coolest tricks, and it's only getting better. *CNET*. <https://www.cnet.com/how-to/lidar-is-one-of-the-iphone-ipad-coolest-tricks-its-only-getting-better/> (sist besøkt 18.05.2021)"

Sylvie Soudarissanane, R. L., Massimo Menenti, Peter Teunissen. (2011). Scanning geometry: Influencing factor on the quality of terrestrial laser scanning points. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*

Trafikksikkerhet, m.-o. t., Bruseksjonen (2014). Rekkverk og vegens sideområde. Vegdirektoratet, Vegvesenet: 77.

Trimble. *Critical factors affecting RTK accuracy*. Trimble. Retrieved 13.05 from https://www.trimble.com/OEM_ReceiverHelp/V4.44/en/PositionModes_CriticalFactorsRTK.html

Unknown. *What's a SPAD?* Politecnico. Retrieved 07.05 from <http://www.everyphotoncounts.com/spad.php> (sist besøkt 18.05.2021)

Vegdirektoratet (2015). Modellgrunnlag V770. Vegdirektoratet. www.vegvesen.no: 197.

Vegvesen, S. (2018). Vegbygging. In (pp. 308). Vegvesen.no: Vegdirektoratet.

Wasser, L. A. (2020). The Basics of LiDAR - Light Detection and Ranging - Remote Sensing. <https://www.neonscience.org/resources/learning-hub/tutorials/lidar-basics> (sist besøkt 18.05.2021)

Wilson, M. (2020). What is a LIDAR scanner, the iPhone 12 Pro's camera upgrade, anyway? *Techradar*. <https://www.techradar.com/news/what-is-a-lidar-scanner-the-iphone-12-pros-rumored-camera-upgrade-anyway> (sist besøkt 18.05.2021)

Ørstavik, L. M. o. E. (2020, 22.03.2020). "Totalstasjon." from <https://snl.no/totalstasjon>

(2020). Bergskjæringer V225. Vegdirektoratet. www.vegvesen.no, Statens Vegvesen: 58.

Kostnader:

Emild. (2021). *Reach RS2 Survey Kit*. Retrieved 20.05.2021 from <https://store.emlid.com/product/reachrs2-survey-kit/>

AS, D. N. (2021). *DJI Phantom 4 RTK*. Retrieved 20.05.2021 from https://www.dustinhome.no/product/5011188036/phantom-4-rtk?ssel=false&gclid=Cj0KCQjws-OEBhCkARIsAPhOkIbYA6LoO-3OCU6JEdqqcGnOWKJ6F6b5p8JGI0XEyqfSjB-0bNvMhHwaAnkBEALw_wcB

Inc, A. (2021). *iPhone 12 PRO*. Retrieved 20.05.2021 from <https://www.apple.com/no/shop/buy-iphone/iphone-12-pro>

Hexagon. (2021). *Nærmeste RTK base*. Retrieved 20.05.2021 from <https://hxgnsmartnet.com/nn-no/services/naermeste-rtk-base>

Pix4D. (2021). *Pricing A variety of tools and solutions to power applications across industries*. Retrieved 20.05.2021 from <https://www.pix4d.com/pricing>

CPOS, K. (2021). *Prisliste på posisjonstjenester*. Retrieved 20.05.2021 from <https://www.kartverket.no/til-lands/posisjon/prisliste-pa-posisjonstjenester>

POWER. (2021). *HUAWEI P40 LITE 128 GB MIDNIGHT BLACK*. Retrieved 20.05.2021 from <https://www.power.no/mobil-og-foto/mobiltelefon/huawei-p40-lite-128-gb-midnight-black/p-1065467/?q=huawei%20mobil>

8 Tabeller

Tabell 1: Utdrag fra databladet til Leica GS18I. _____	13
Tabell 2: Tabell som viser spesifikasjonene til RTC360 (AG, 2020). _____	19
Tabell 3: Viser hvilken nøyaktighet vi kan oppnå ved bruk av totalstasjon (Geosystems, 2020). ____	26
Tabell 4: Avstander kulvert GS18I. _____	69
Tabell 5: Avstander målt i punktskyen til Apple lidaren _____	70
Tabell 6: Avvik i mm teglstensbygg. _____	71
Tabell 7: Avvik fra prosjektert modell mot punktsky RTC360. _____	72
Tabell 8: Tabell som viser avviket til punktskyen til droneskyen over betongkonstruksjonen ____	73
Tabell 9: Samling av avvikene fra de forskjellige punktskyene. _____	73
Tabell 10: Sammenlikning av GS18i og RTC360. _____	77
Tabell 11: Sammenlikning av Iphone og drone. _____	78
Tabell 12: Tabellen er veiledende priser på objektet. Noen av prisene er innhentet direkte fra leverandør av produktet i Norge og andre er innhentet direkte fra nettsiden til leverandøren. ____	82
Tabell 13: Totalkostnader ved valg av hver løsning. Prisene er veiledende. _____	83

9 Figurliste

Figur 1: Til venstre ser vi et bilde av GNSS roveren med målebok; til høyre ser vi et nærbilde av kameraet i roveren. _____	10
Figur 2: Til venstre ser vi et eksempel på god satellittgeometri; til høyre ser vi et eksempel på dårlig satellittgeometri (Norberg, 2014, s.67) _____	14
Figur 3: Flytdiagram som representerer optimaliseringsprosessen til kameraets posisjoneringsestimering (Stefan Schaufler, 2020) _____	15
Figur 4: Til venstre ser vi et bilde av en RTC360 skanner; til høyre ser vi en iphone 12 med lidarintegrasjon. _____	16
Figur 5: Til venstre ser vi et bilde av dronen; til høyre ser vi en nærmere illustrasjon av kameraet til dronen _____	21
Figur 6: Nøyaktigheten til posisjoneringen av dronen (DJI, 2021). _____	21
Figur 7: Illustrasjon som viser hvordan kommunikasjonen mellom dronen, basestasjonen og satellittene _____	22
Figur 8: Til venstre ser vi en Leica TS12 som vi brukte i prosjektet; til høyre ser vi en moderne Leica Nova TS60 totalstasjon. _____	24
Figur 9: Figur 222.1 vegvesenet sin standard N200 om hvordan skjæringer skal utformes. _____	28
Figur 10: Illustrasjon av dypsprenkning under veg. _____	29
Figur 11: Bildet viser hvordan en boreplan kan se ut. Her vist sammen med prosjektert veimodell. Bildet er fokusert ned i fallgrøften ved foten av skjæringen. Kilde Zenith Survey. _____	30
Figur 12: Illustrasjon av boreavvik ("Bergskjæringer V225," 2020, s.47). _____	31
Figur 13: Til venstre ser vi et eksempel på markeringer av knøler på en Leica FZ-M1 målebok; til høyre ser vi en skjæring som er to paller høy med rosa spraymarkeringer for hvor noe stikker ut som må fjernes. Bildene er tatt ute på anlegget ved et tidligere tidspunkt. _____	32
Figur 14: Måleplan som viser hvordan målingene med visuell posisjonering ble utført. Metoden viser hvordan retning kameraet i roveren er vinklet mot betongkonstruksjonen for å samle inn bildegruppe. _____	34
Figur 15: Illustrasjon av hvordan datainnsamling med GNSS rover med integrert kamera gjøres i praksis. _____	35
Figur 16: Bilde av punktskyen sammen med bildegruppen som ble brukt til å skape punktskyen. ____	36
Figur 17: Her ser vi resultatet presentert i programmet Infiniti etter bildebehandlingen er fullført. Vi ser at bildegruppen har klart å skape punktsky øverst i skjæringen. _____	37
Figur 18: Til venstre ser vi hvordan datafangsten ble utført på skjæringen; til høyre ser vi hvordan datafangsten ble utført på kulverten med håndholdt lidar. _____	38
Figur 19: Skjerm bilde fra iphone som ble tatt under datafangst. Bildet viser hvordan et slags triangelnett som viser hvor skanneren har samlet inn data. _____	39

Figur 20: Bilde som viser georeferert punktsky. _____	40
Figur 21: Til høyre ser vi en oversikt over koordinatene som er med i georefereringen. Koordinatene under rød linje øverst er opprinnelige koordinater. Gul linje er koordinatene vi ønsker å transformere til. Error er avviket i det punktet; til høyre er feilmatriksen til koordinattansformasjonen. _____	40
Figur 22: Illustrasjon som viser hvordan spredningen av GSP rundt objektet. _____	41
Figur 23: Til venstre ser vi en skisse som viser størrelsene på objektet som ble målt inn; til høyre ser vi hvordan målingene i punktskyene ble gjort i Cloudcompare. _____	41
Figur 24: Måleplan ved fjellskjæring. _____	43
Figur 25: Måleplan totalstasjon. _____	44
Figur 26: Illustrasjon som viser hvordan targets er spredt rundt objektet. _____	46
Figur 27: Illustrasjon som viser innmåling av fastmerker og targets rundt objektet _____	48
Figur 28: Kontroll fil _____	50
Figur 29: Illustrasjon av kartlegging av flyveplanen på kontrolleren til dronen (Ferntech, 2019). ____	51
Figur 30: Punktskyen sammen med flyveplanen i Pix4dmapper. _____	52
Figur 31: Punktskyen presentert i Pix4dmapper. _____	53
Figur 32: De fire georefereringspunktene i Pix4dmapper. _____	53
Figur 33: Til venstre er punktskyen presentert i Gemini terreng; til høyre er funksjonen realistisk visning i Gemini terreng brukt. _____	54
Figur 34: Et utvalg av punkter som er utenfor interesseområde valgt ved velg punkt med polygon funksjonen _____	54
Figur 35: Fjellskjæringen kommer mye tydeligere frem etter at overflødige punkter fjernes. _____	55
Figur 36: Georeferert punktsky av fjellskjæringen med prosjektert veg og fastmerker (røde prikker). _____	55
Figur 37: Punktsky av kulvert fra drone. _____	56
Figur 38: Til venstre ser vi et bilde av punktskyen av betongkonstruksjonen; til høyre ser vi et nærmere bilde av inn åpningen til kulverten _____	57
Figur 39: Bildet viser punktskyen som er skapt i Leica Infiniti av bildene fanget med GS18i antennen sammen med prosjektert veimodell i Gemini Terreng. _____	58
Figur 40: Bildet viser en nærmere detalj av punktskyen. Vi ser at skjæringen ligger godt innenfor prosjektert modell. _____	58
Figur 41: Georeferert Apple punktsky sammen med prosjektert veimodell. _____	59
Figur 42: Bildet viser en nærmere detalj av bergskjæringen. Vi ser at lidarskanneren ikke har fått til en tett punktsky øverst på skjæringen _____	59
Figur 43: To punktskyer ble slått sammen for å skape denne modellen; bildet til høyre viser åpningen i kulverten. _____	60

Figur 44: Til venstre ser vi resultatet til første skann; til høyre ser vi resultatet etter andre skann. ___	61
Figur 45: Til venstre ser vi første punktsky fra skanneren ovenfra; til høyre ser vi andre punktsky sett ovenfra. _____	61
Figur 46: Til venstre ser vi vinkelfeilen på objektet; til høyre ser vi feil plassering av vegg på objektet.	62
Figur 47: Fjellskjæring, bearbeidet i Cyclone. _____	63
Figur 48: Kulvert, bearbeidet i Cyclone. _____	64
Figur 49: Kulvert, bearbeidet i Cyclone. _____	64
Figur 50: Kulvert, bearbeidet i Cyclone _____	65
Figur 51: Sluttresultat er en ferdig georeferert punktsky av fjellskjæring og kulvert over prosjektert veg modell. _____	65
Figur 52: Utdrag fra kvalitetssjekk i fjellskjæringsrapporten. _____	66
Figur 53: Utdrag fra kvalitetssjekk i kulvertrapporten. _____	66
Figur 54: Bildet t.v. er hentet fra fjellskjæringsrapporten; bilde t.h. er en illustrasjon fra pix4D for å vise hvordan et dårlig resultat ser ut. _____	66
Figur 55: Bildet t.v. er utdrag fra kvalitetsrapporten for fjellskjæringen, t.h. er en illustrasjon over hvordan et dårlig resultat ville sett ut {Pix4D}. _____	67
Figur 56: Illustrasjon av hvordan avstandene er målt i punktskyen. _____	68
Figur 57: Til venstre ser vi en detalj i en punktsky; til høyre ser vi zoomet inn mot detaljen i punktskyen. _____	74

10 Vedlegg

Vedlegg A: Rapport om tett punktsky – bergskjæring

Leica Geosystems AG
Heinrich Wild Strasse
CH-9435 Heerbrugg
St. Gallen, Switzerland

Phone: + 41 71 727 3131
Fax: + 41 71 727 4674

- when it has to be **right**



Bildebehandling - Rapport om tett punktsky

Rapport laget: 09.03.2021 14:29:55

Prosjektdetaljer

Generelt		Kundedetaljer		Master-koordinatsystem	
Prosjektnavn:	Skjaaring	Kundenavn:	-	Navn på koordinatsystem:	NTM Sone 07
Eier:	-	Kontaktperson:	-	Transformasjonstype:	Klassisk 3D
Oppmålingsleder:	-	Antall:	-	Restfeilfordeling:	Ingen
Dato laget:	09.03.2021 12:05:10	Epost:	-	Ellipsoide:	WGS 1984
Siste brukt:	09.03.2021 12:05:11	Skype:	-	Projeksjonstype:	Transverse Mercator
Programvare:	Infinity 3.4.0	Website:	-	Geoidmodell:	HREF2018B_NN2000_EUREF89
				CSCS-modell:	-
Sti:	C:\Users\eskil\Documents\Leica Geosystems\Infinity\Projects\Skjaaring\Skjaaring.iprj				
Størrelse:	282,7 MB				
Kommentarer:	-				

Punktsky-ID: Skjaaring-DPC

Beskrivelse:	-	Beregningsoppløsning:	Full
Dato/tid:	09.03.2021 12:10:56	Grenseverdi:	0,1000 m
Bildegruppe:	Skjaaring (04.03.2021 10:00:52)	Minste antall samsvar per punkt:	3
Orientering:	03/09/2021 12:10:56	Punkter:	7 471 852
		Maks. høyde:	90,4607 m
		Min. høyde:	69,7872 m

Vedlegg B: Rapport om tett punktsky – kulvert

Leica Geosystems AG
Heinrich Wild Strasse
CH-9435 Heerbrugg
St. Gallen, Switzerland

Phone: + 41 71 727 3131
Fax: + 41 71 727 4674

- when it has to be **right**



Bildebehandling - Rapport om tett punktsky

Rapport laget: 09.03.2021 16:57:17

Prosjektdetaljer

Generelt		Kundedetaljer		Master-koordinatsystem	
Prosjektnavn:	Kulvert_test_3	Kundenavn:	-	Navn på koordinatsystem:	NTM Sone 07
Eier:	-	Kontaktperson:	-	Transformasjonstype:	Klassisk 3D
Oppmålingsleder:	Eskil Sørensen	Antall:	-	Restfeilfordeling:	Ingen
Dato laget:	08.03.2021 13:18:49	Epost:	-	Ellipsoide:	WGS 1984
Siste brukt:	09.03.2021 14:32:05	Skype:	-	Projeksjonstype:	Transverse Mercator
Programvare:	Infinity 3.4.0	Website:	-	Geoidmodell:	HREF2018B_NN2000_EUREF89
				CSCS-modell:	-
Sti:	C:\Users\eskil\Documents\Leica Geosystems\Infinity\Projects\Kulvert_test_3\Kulvert_test_3.iprj				
Størrelse:	174,4 MB				
Kommentarer:	-				

Punktsky-ID:

Beskrivelse:	-	Beregningsoppløsning:	Full
Dato/tid:	09.03.2021 14:34:07	Grenseverdi:	0,1000 m
Bildegruppe:	Image_Group_001 (04.03.2021 10:48:14)	Minste antall samsvar per punkt:	3
Orientering:	03/09/2021 14:34:07	Punkter:	6 320 862
		Maks. høyde:	46,2078 m
		Min. høyde:	37,6504 m

Vedlegg C: GS18I datablad

Leica GS18 I



GNSS TECHNOLOGY

Self-learning GNSS	Leica RTKplus SmartLink (worldwide correction service) SmartLink fill (worldwide correction service)	Adaptive on-the-fly satellite selection Remote precise point positioning (3 cm 2D) ¹ . Initial convergence to full accuracy typically 18 min, Re-convergence < 1 min Bridging of RTK outages up to 10 min (3 cm 2D) ¹
Leica SmartCheck	Continuous check of RTK solution	Reliability 99.99%
Signal tracking	GPS / GLONASS Galileo / BeiDou	L1, L2, L2C, L5 / L1, L2, L2C, L3 ² E1, E5a, E5b, AltBOC, E6 ³ / B1I, B1C, B2I, B2a, B3I
	QZSS / NavIC	L1, L2C, L5, L6 ² / L5 ³
	SBAS / L-Band	WAAS, EGNOS, MSAS, GAGAN / TerraStar
Number of channels		555 (more signals, fast acquisition, high sensitivity)
Tilt compensation	Increased measurement productivity and traceability	Calibration-free, immune to magnetic disturbances

IMAGING

Camera	Sensor / Field of view (Hz, V) / Frame rate	Global shutter with 1.2 MP / 80°, 60° / 20 Hz
Image group capture	2 Hz capturing rate	Max. capturing time: 60 s, size of an image group appr. 50 MB
Point cloud	Leica Infinity software	Derive point cloud from an image group

MEASUREMENT PERFORMANCE & ACCURACY¹		
Time for Initialisation	Typically 4 s	
Real-time kinematic (Compliant to ISO17123-8 standard)	Single baseline Network RTK	Hx 8 mm + 1 ppm / V 15 mm + 1 ppm Hz 8 mm + 0.5 ppm / V 15 mm + 0.5 ppm
Real-time kinematic tilt compensated	Topographic points (not for control points)	Additional Hz uncertainty max 8 mm + 0.4 mm/° tilt down to 30° tilt
Post processing	Static (phase) with long observations Static and rapid static (phase)	Hx 3 mm + 0.1 ppm / V 3.5 mm + 0.4 ppm Hz 3 mm + 0.5 ppm / V 5 mm + 0.5 ppm
Code differential	DGNSS	Hx 25 cm / V 50 cm
Image point measurement	1-click measurement in field / office	Typically 2 cm – 4 cm (2D ¹), within the distance of 2 m to 10 m to the object
COMMUNICATIONS		
Communication ports	Lemo / Bluetooth® / WLAN	USB and RS232 serial / Bluetooth® v2.1 + EDR, class 1.5 / 802.11 b/g for field controller communication only
Communication protocols	RTK data protocols NMEA output Network RTK	Leica 4G, Leica, CMR, CMR+, RTCM 2.2, 2.3., 3.0, 3.1, 3.2 MSM NMEA 0183 v4.00 & v4.10 and Leica proprietary VRS, FKP, IMAX, MAC (RTCM SC 104)
Built-in LTE modem	LTE frequency bands UMTS frequency bands GSM frequency bands	Penta Band (20, 8, 3, 7, 1) / Penta Band (13, 17, 5, 4, 2) ⁴ Tri Band (900/1800/2100 MHz) / Tri Band (1700/1900/2100 MHz) ⁴ Dual Band (900/1800 MHz) / Quad Band (850/900/1800/1900 MHz) ⁴
Built-in UHF modem ⁵	Receive & transmit UHF radio modem	403 – 473 MHz, channel spacing 12.5 kHz, 20 kHz, 25 kHz, max. 1 W output power up to 28800 bps over air
GENERAL		
Field controller and software	Leica Captivate software	Leica CS20 LTE & BASIC field controller, Leica CS35 tablet
User interface	Buttons and LEDs Web server	On / Off and Function button, 8 status LEDs Full status information and configuration options
Data recording	Storage Data type and recording rate	Removable SD card, 8 GB Leica GNSS raw data and RINEX data at up to 20 Hz
Power management	Internal power supply External power supply Operation time ⁶	Exchangeable Li-Ion battery (2.8 Ah / 11.1 V) Nominal 12 V DC, range 10.5 – 26.4 V DC Typical operating time up to 8 h. Operating time depends on use of wireless communication devices.
Weight and dimensions	Weight Dimensions	1.25 kg / 3.55 kg standard RTK rover setup on pole 173 mm x 173 mm x 109 mm
Environmental	Temperature Drop Proof against water, sand and dust Vibration Humidity Functional shock	-30 to +50°C operating with camera, -40 to +65°C operating without camera, -40 to +85°C storage Withstands topple over from a 2 m survey pole onto hard surfaces IP66 / IP68 (IEC60529 / MIL STD 810G CHG-1 510.6 I / MIL STD 810G CHG-1 506.6 II, MIL STD 810G CHG-1 512.6 I) Withstands strong vibration (ISO9022-36-08 / MIL STD 810G 514.6 Cat.24) 95% (ISO9022-13-06 / ISO9022-12-04 / MIL STD 810G CHG-1 507.6 II) 40 g / 15 to 23 msec (MIL STD 810G 516.6 I)
1.	Measurement precision, accuracy, reliability and time for initialisation are dependent upon various factors including number of satellites, observation time, atmospheric conditions, multipath etc. Figures quoted assume normal to favourable conditions. A full BeiDou and Galileo constellation will further increase measurement performance and accuracy.	3. Support of NavIC L5 is incorporated and will be provided through future firmware upgrade.
2.	GLONASS L3, QZSS L6 and Galileo E6 will be provided through future firmware upgrade.	4. NMEA version only.
		5. Only UHF variant of GS18 I
		6. Might vary with temperature, age of battery, transmit power of data link device.

Copyright Leica Geosystems AG, 9435 Heerbrugg, Switzerland. All rights reserved. Printed in Switzerland – 2020.
Leica Geosystems AG is part of Hexagon AB. 900756en – 09.20


Leica Geosystems AG
Heinrich-Wild-Strasse
9435 Heerbrugg, Switzerland
+41 71 727 31 31

- when it has to be **right**

Leica
Geosystems

Vedlegg D: RTC360 datablad

Leica RTC360 Product Specifications

GENERAL		OPERATION	
3D laser scanner	High-speed 3D laser scanner with integrated HDR spherical imaging system and Visual Inertial System (VIS) for real time registration	On scanner	Touch-screen control with finger touch, full colour WGA graphic display 480 x 800 pixels
PERFORMANCE		Mobile devices	Leica Cyclone FIELD 360 app for iOS and Android tablet computers and smartphones including: - Remote control of scan functions - 2D & 3D data viewing - Tagging - Automatic alignment of scans
Data acquisition	< 2 mins for complete full dome scan and spherical HDR image at 6mm @ 10 m resolution	Wireless	Integrated wireless LAN (802.11 b/g/n)
Real time registration	Automatic point cloud alignment based on real time tracking of scanner movement between setups based on Visual Inertial System (VIS) by video-enhanced inertial measurement unit	Data storage	Leica MS256, 256 GB exchangeable USB 3.0 flash drive
Double scan	Automatic removal of moving objects	DESIGN & PHYSICAL	
Check & Adjust	Field procedure for targetless checking of angular parameters	Housing	Aluminium frame and sidecovers
SCANNING		Dimensions	120 mm x 240 mm x 230 mm / 4.7" x 9.4" x 9.1"
Distance measurement	High-speed, high dynamic time of flight enhanced by Waveform Digitising (WFD) technology	Weight	5.35 kg / 11.7 lbs, nominal (without batteries)
Laser class	1 (in accordance with IEC 60825-1:2014), 1550 nm (invisible)	Mounting mechanism	Quick mounting on 5/8" stub on lightweight tripod / optional tribrach adapter / survey tribrach adapter available
Field of view	360° (horizontal) / 300° (vertical)	POWER	
Range	Min. 0.5 - up to 130 m	Internal battery	2 x Leica GEB361 internal, rechargeable Li-Ion batteries. Duration: Typically up to 4 hours Weight: 340 g per battery
Speed	Up to 2,000,000 pts / sec	External	Leica GEV282 AC adapter
Resolution	3 user selectable settings (3/6/12 mm @ 10 m)	ENVIRONMENTAL	
Accuracy*	Angular accuracy 18" Range accuracy 1.0 mm + 10 ppm 3D point accuracy 1.9 mm @ 10 m 2.9 mm @ 20 m 5.3 mm @ 40 m	Operating temperature	-5° to +40°C
Range noise**	0.4 mm @ 10 m, 0.5 mm @ 20 m	Storage temperature	-40° to +70°C
IMAGING		Operating low temperatures****	-10° to +40°C
Camera	36 MP 3-camera system captures 432 MPx raw data for calibrated 360° x 300° spherical image	Dust/Humidity***	Solid particle/liquid ingress protection IP54 (IEC 60529)
Speed	1 minute for full spherical HDR image at any light condition		
HDR	Automatic, 5 brackets		
NAVIGATION SENSORS			
Visual Inertial System	Video enhanced inertial measuring system to track movement of the scanner position relative to the previous setup in real time		

Tilt	IMU based, Accuracy: 3' for any tilt
Additional sensors	Altimeter, Compass, GNSS

Leica Cyclone FIELD 360	Leica Cyclone REGISTER 360	Leica ScanStation P50
-------------------------	----------------------------	-----------------------

active»

Customer Care

Your Trusted Active Customer Care

Active Customer care is a true partnership between Leica Geosystems and its customers. Customer Care Packages (CCPs) ensure optimally maintained equipment and the most up-to-date software to deliver the best results for your business. The myWorld @ Leica Geosystems customer portal provides a wealth of information 24/7.

Illustrations, descriptions and technical specifications are not binding and may change.

All rights reserved. Printed in Switzerland - Copyright Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland 2018. 872750en - 06.20

All specifications are subject to change without notice.

All accuracy specifications are on a level of confidence of 68% according to the Guide of the Expression of Uncertainty in Measurement (JCGM100:2008) unless otherwise noted.

* At 89% albedo.

** For single shot measurements

*** For upright and upside down setups with a +/- 15° inclination




**** Extended low temperature operation is possible to -10°C if internal temperature is at or above -5°C when powered on. For extended low temperature measurement, it is recommended that QA procedures are followed.



Scanner: Laser class 1 in accordance with IEC60825:2014

iPhone and iPad are trademarks of Apple Inc.

Android is a trademark of Google.

Vedlegg E: Datablad Leica Viva TS12 totalstasjon

Technical Specifications TS12 Robotic		
Leica Viva TS12 Robotic		
Angular Measurement 	Accuracy Hz, V ¹	1" (0.3mgon) 2" (0.6 mgon), 3" (1 mgon), 7" (2 mgon)
	Display resolution	0.1" (0.1 mgon)
	Method	absolute, continuous, diametrical
	Compensation	Quadruple axis compensation
	Compensator setting accuracy	0.5" (0.2 mgon), 1.0" (0.3 mgon), 1.5" (0.5 mgon)
Distance Measurement 	Distance Measurement (Prism)	
	Range²	
	Round prism (GPR1)	3500 m (12000 ft)
	360° prism (GRZ4, GRZ122)	2000 m (7000 ft)
	Mini prism (GMP101)	2000 m (7000 ft)
	Accuracy^{3,4} / Measurement Time	
	Standard	1 mm + 1.5 ppm / 2.4 s
	Tracking	3 mm + 1.5 ppm / < 0.15 s
	Distance Measurement (Non-Prism)	
	Range⁵	
	PinPoint R400 / R1000	400 m (1310 ft) / 1000 m (3280 ft)
	Accuracy^{3,6} / Measurement Time	
	PinPoint R400 & R1000	2 mm + 2 ppm / typ. 3 s
	General	
	Display resolution	0.1 mm
Laser dot size (Non-Prism)	At 30 m: 7 mm x 10 mm, at 50 m: 8 mm x 20 mm	
General 	Telescope	
	Magnification	30 x
	Free objective aperture	40 mm
	Field of view	1° 30' (1.66 gon) / 2.7 m at 100 m
	Keyboard and Display	
	Display / Keyboard	1/4 VGA (320*240 px), color, illumination, touch screen / 28 keys
	Operation	
	Sensitivity of Circular Level	6' / 2 mm
	Centering accuracy of Laser plummet	1.5 mm at 1.5 m
	Power Management	
	Internal Battery / Voltage / Capacity / Operating Time	Lithium Ion / 7.4V / 4.4Ah / 5 – 8 h (GEB221)
	Weight and Dimensions	
	Weight of Total Station / Battery GEB221 / Tribrach GDF121	4.8 – 5.5 kg / 0.2 kg / 0.8 kg
	Environmental specifications	
	Working / Storage temperature range	-20° C to +50° C / -40° C to +70° C
	Dust / water (IEC 60529) / Humidity	IP54 / 95%, non-condensing
	Guide Light (EGL)	
	Working Range	5 – 150 m
Positioning accuracy	5 cm at 100 m	
Motorization		
Rotation speed	45° (50 gon) / s	

Leica Viva Robotic Surveying			
 Automatic Target Aiming (ATR)	Range	ATR Mode	Lock Mode
	Round prism (GPR1)	1000 m (3300 ft)	800 m (2600 ft)
	360° prism (GRZ4, GRZ122)	800 m (2600 ft)	600 m (2000 ft)
	Mini prism (GMP101)	500 m (1600 ft)	400 m (1300 ft)
	Shortest measuring distance to 360° prism	1.5 m	5 m
	Accuracy² / Measurement Time		
	ATR angle accuracy Hz, V	1" (0.3 mgon)	
	Measurement Time for GPR1	3 – 4 s	
	Maximum speed (Lock Mode)		
	Tangential (standard mode)	5 m / s at 20 m, 25 m / s at 100 m	
Radial (tracking mode)	5 m / s		
Searching			
Definable search windows / Search time in field of view			Yes / Typ. 1.5 s
 Power Search (PS)	Range		
	Round prism (GPR1)	300 m (1000 ft)	
	360° reflector ² (GRZ4, GRZ122)	300 m (1000 ft)	
	Mini prism (GMP101)	100 m (330 ft)	
	Shortest distance	1.5 m	
	Searching		
	Typical search time	5 – 10 s	
Definable search windows / Default search area			Yes / Hz: 360° (400 gon), V: 36° (40 gon)
<p>¹ Standard deviation ISO 17123-3 ⁵ Object in shade, sky overcast, Kodak Grey Card (90% reflective)</p> <p>² Overcast, no haze, visibility about 40 km; no heat shimmer ⁶ Distance >500 m 4 mm + 2 ppm</p> <p>³ Standard deviation ISO 17123-4 ⁷ Target perfectly aligned to the instrument</p> <p>⁴ To Round Prism GPR1</p>			



Total Quality Management – our commitment to total customer satisfaction.

The Bluetooth® word mark and logos are owned by Bluetooth SIG, Inc. and any use of such marks by Leica Geosystems AG is under license.

Other trademark and trade names are those of their respective owners.

Distance meter (Prism), ATR and PowerSearch:
Laser class 1 in accordance with IEC 60825-1 resp. EN 60825-1

Laser plummet:
Laser class 2 in accordance with IEC 60825-1 resp. EN 60825-1

Distance meter (Non-Prism):
Laser class 3R in accordance with IEC 60825-1 resp. EN 60825-1



Illustrations, descriptions and technical data are not binding. All rights reserved. Printed in Switzerland – Switzerland, 2012. 788288en – VI.13 – galledia

Leica Geosystems AG
Heerbrugg, Switzerland
www.leica-geosystems.com

- when it has to be **right**



Vedlegg F: Datablad Leica NovaTS60 totalstasjon

Leica Nova TS60 Total Station

ANGLE MEASUREMENT

Accuracy ¹ Hz and V	■ Absolute, continuous, quadruple	0.5" (0.15 mgon)
--------------------------------	-----------------------------------	------------------

DISTANCE MEASUREMENT

Range ²	■ Prism (GPR1, GPH1P) ³ ■ Non-Prism / Any surface ⁴	0.9m to 3,500m 0.9m to >1,000m
Accuracy / Measurement time	■ Single (prism) ^{2,5} ■ Single (any surface) ^{2,4,5,6}	0.6mm + 1ppm / typically 2.4s 2mm + 2ppm / typically 2s ⁷
Laser dot size	At 50m	8mm x 20mm
Measurement technology	System analyser	Coaxial, visible red laser

IMAGING

Overview and telescope camera	■ Sensor ■ Field of view (overview / telescope) ■ Frame rate	5 megapixel CMOS sensor 19.4° / 1.5° Up to 20 frames per second
-------------------------------	--	---

MOTORISATION

Direct drives based on Piezo technology	Rotation speed / Time to change face	Maximum 200 gon (180°) per s / typically 2.9s
---	--------------------------------------	---

AUTOMATIC AIMING - ATRplus

Target aiming range ² / Target locking range ²	■ Circular prism (GPR1, GPH1P) ■ 360° prism (GRZ4, GRZ122)	■ 1,500m / 1,000m ■ 1,000m / 1,000m
Accuracy ^{1,2} / Measurement time	ATRplus angle accuracy Hz, V	0.5" (0.15 mgon) / typically 3-4s

POWERSEARCH

Range / Search time	360° prism (GRZ4, GRZ122)	300m / typically 5s
---------------------	---------------------------	---------------------

GUIDE LIGHT (EGL)

Working range / Accuracy		5-150m / typically 5cm @ 100m
--------------------------	--	-------------------------------

GENERAL

Operating System / Field Software	Windows EC7 / Leica Captivate with apps	
Processor	TI OMAP4430 1GHz Dual-core ARM® Cortex™-A9 MPCore™	
Autofocus telescope	Magnification / Focus Range	30 x / 1.7m to infinity
AutoHeight Module	■ Distance accuracy ■ Distance range	1.0 mm (1 Sigma) 0.7 m to 2.7 m
Display and keyboard	5" (inch), WVGA, colour, touch, both faces	37 keys, illumination
Operation	3x endless drives, 1x Servofocus drive, 2x Autofocus keys, user-definable SmartKey	
Power management	Exchangeable Lithium-Ion battery	Up to 9h, internal charging capability
Data storage	Internal memory / Memory card	2 GB / SD card 1 GB or 8 GB
Interfaces	RS232, USB, Bluetooth®, WLAN	
Weight	Total station including battery	7.7kg
Environmental specifications	■ Working temperature range ■ Dust & Water (IEC 60529) / Blowing rain ■ Humidity	-20°C to +50°C IP65 / MIL-STD-810G, Methods 506.5 I and 507.5 95%, non-condensing

¹ Standard deviation ISO 17123-3² Overcast, no haze, visibility about 40 km, no heat shimmer³ 1.5m to 2000m for 360° prisms (GRZ4, GRZ122)⁴ Object in shade, sky overcast, Kodak Gray Card (90% reflective)⁵ Standard deviation ISO 17123-4⁶ Distance > 500m: Accuracy 4mm+2ppm, Measurement time typ. 6s⁷ Up to 50m, max. measurement time 15s

Integrate with LOC8 – Lock & Locate
For more information visit: leica-geosystems.com/LOC8



Laser radiation, avoid direct eye exposure.
Class 3R laser product in accordance with IEC 60825-1:2014.

The Bluetooth® trademarks are owned by Bluetooth SIG, Inc. Windows is a registered trademark of Microsoft Corporation. Other trademarks and trade names are those of their respective owners. Copyright Leica Geosystems AG, 9435 Heerbrugg, Switzerland. All rights reserved. Printed in Switzerland - 2020. Leica Geosystems AG is part of Heerbrugg AB, 914506en - 02.20

Leica Geosystems AG
Heinrich-Wild-Strasse
9435 Heerbrugg, Switzerland
+41 71 727 31 31

- when it has to be **right**

Leica
Geosystems

Vedlegg G: Kvalitetsrapport fjellskjæring - Drone

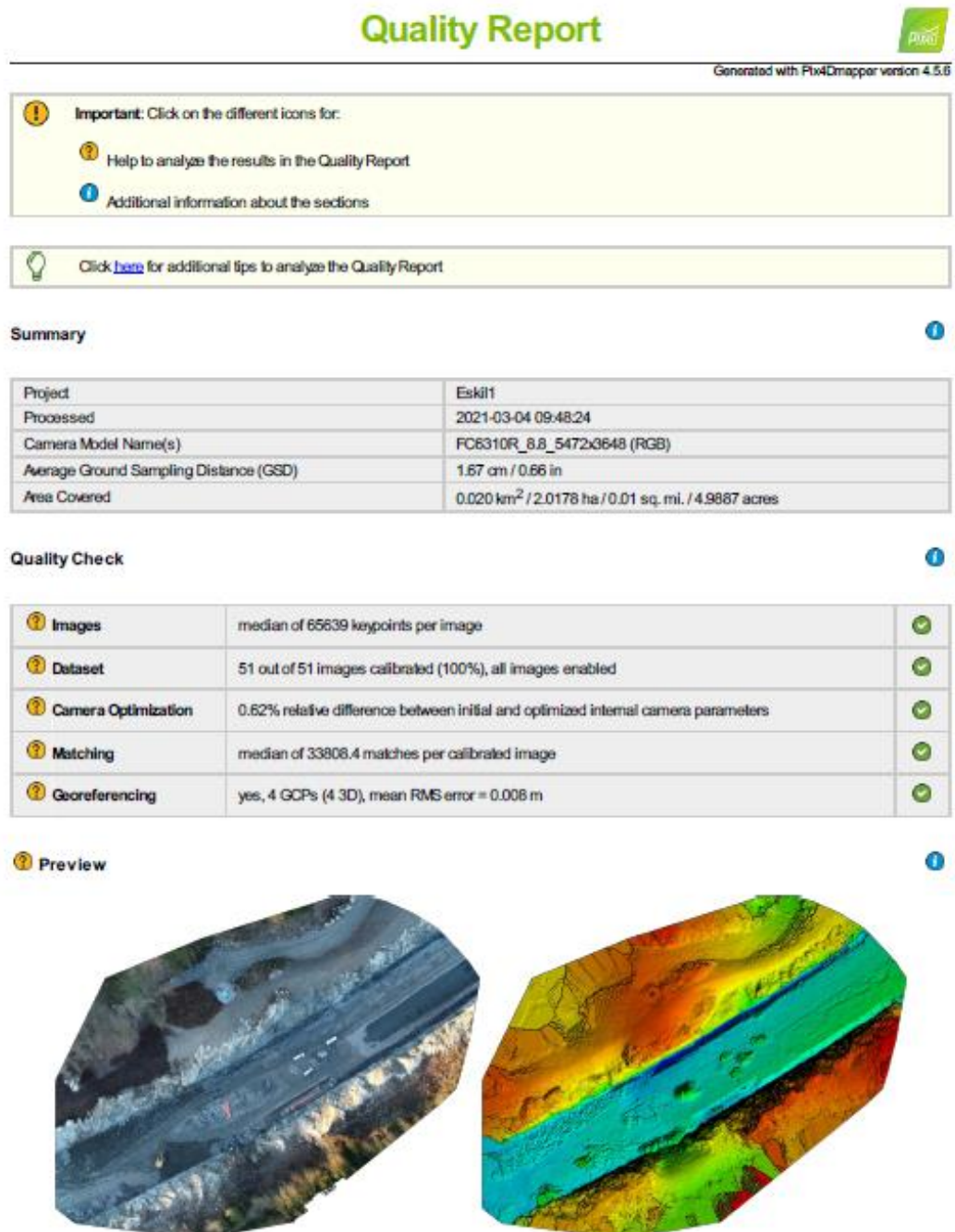


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Initial Image Positions

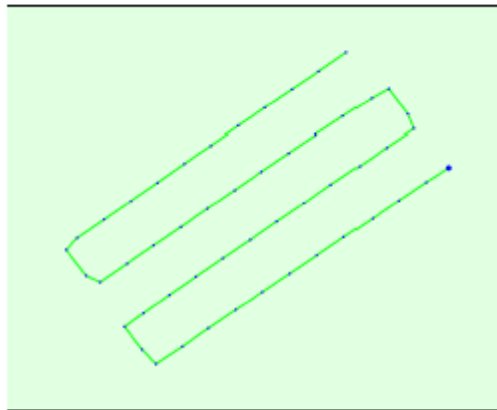
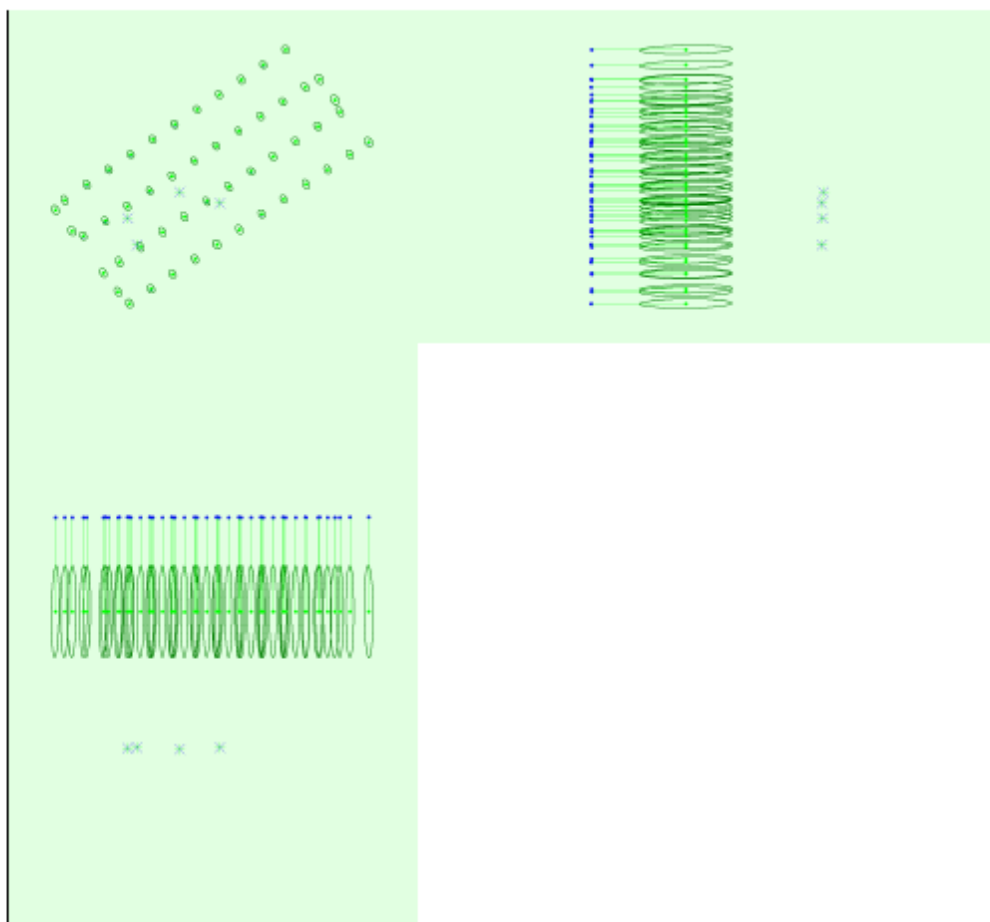


Figure 2: Top view of the Initial Image position. The green line follows the position of the Images in time starting from the large blue dot.

Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions



Uncertainty ellipses 1000x 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	0.002	0.002	0.020	0.002	0.002	0.001
Sigma	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Overlap

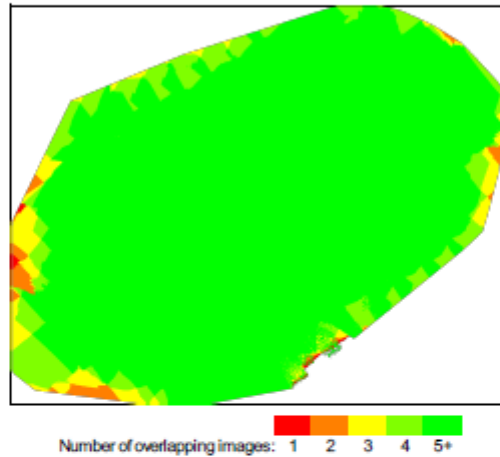


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint 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	1594694
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	480028
Mean Reprojection Error [pixels]	0.153

Internal Camera Parameters

FC6310R_8.8_5472x3648 (RGB). Sensor Dimensions: 12.833 [mm] x 8.556 [mm]

EXIF ID: FC6310R_8.8_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	3658.300 [pixel] 8.580 [mm]	2722.500 [pixel] 6.385 [mm]	1835.100 [pixel] 4.304 [mm]	-0.269	0.112	-0.033	0.000	-0.001
Optimized Values	3635.585 [pixel] 8.526 [mm]	2719.293 [pixel] 6.377 [mm]	1850.336 [pixel] 4.340 [mm]	-0.263	0.107	-0.031	0.000	-0.001
Uncertainties (Sigma)	1.224 [pixel] 0.003 [mm]	0.051 [pixel] 0.000 [mm]	0.057 [pixel] 0.000 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

In 24 Images	93
In 25 Images	84
In 26 Images	27
In 27 Images	10
In 28 Images	5
In 29 Images	1

2D Keypoint Matches

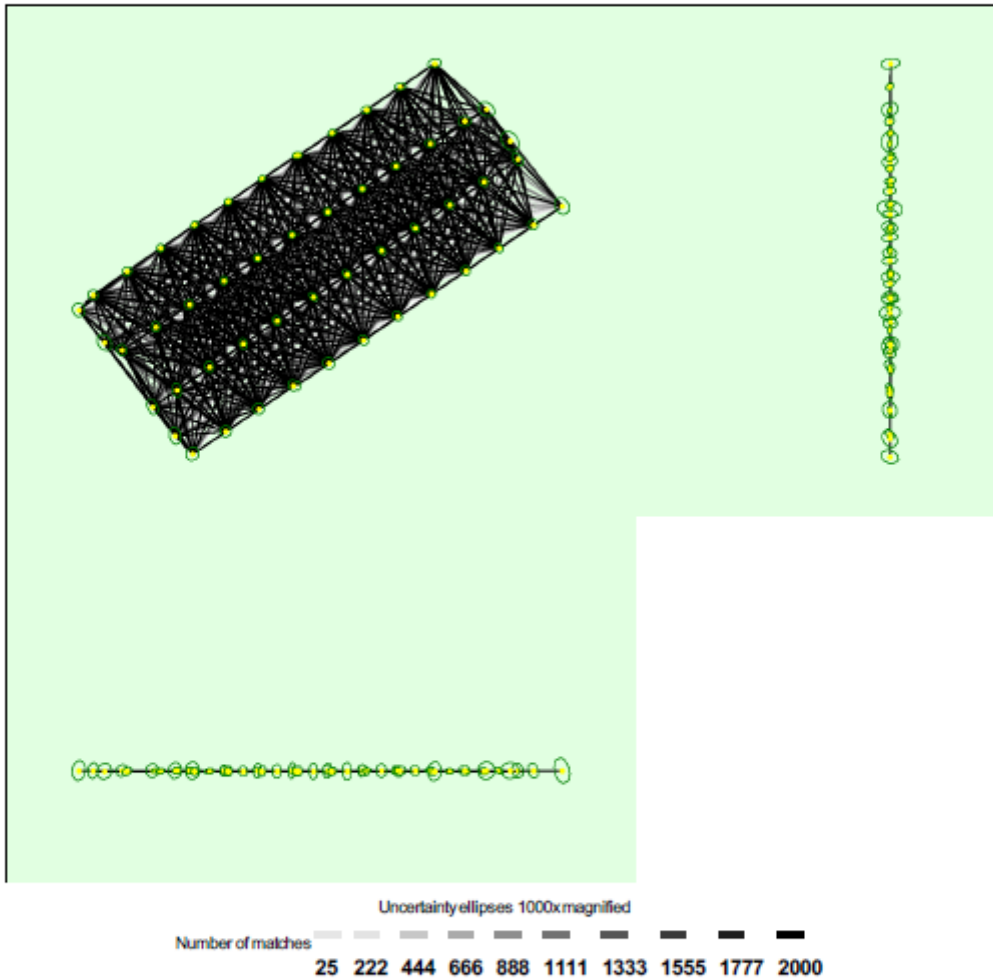


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty 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	0.001	0.002	0.002	0.004	0.004	0.001
Sigma	0.000	0.000	0.001	0.002	0.002	0.000

Geolocation Details

Ground Control Points

GCP Name	Accuracy XYZ [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
0001 (3D)	0.020/ 0.020	0.001	-0.002	-0.002	0.725	9 / 9
0002 (3D)	0.020/ 0.020	-0.000	-0.000	0.005	1.083	9 / 9
0003 (3D)	0.020/ 0.020	0.005	0.003	0.020	0.497	9 / 9
0004 (3D)	0.020/ 0.020	-0.006	-0.002	-0.032	1.122	9 / 9
Mean [m]		-0.000017	-0.000178	-0.002075		
Sigma [m]		0.004098	0.001981	0.019019		
RMS Error [m]		0.004098	0.001989	0.019131		

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

Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-0.08	0.00	0.00	0.00
-0.08	-0.06	0.00	0.00	0.00
-0.06	-0.05	0.00	0.00	0.00
-0.05	-0.03	0.00	0.00	0.00
-0.03	-0.02	0.00	0.00	0.00
-0.02	0.00	56.86	47.06	50.98
0.00	0.02	43.14	52.94	45.10
0.02	0.03	0.00	0.00	3.92
0.03	0.05	0.00	0.00	0.00
0.05	0.06	0.00	0.00	0.00
0.06	0.08	0.00	0.00	0.00
0.08	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		0.006695	-0.034220	41.581434
Sigma [m]		0.003242	0.003176	0.007710
RMS Error [m]		0.007438	0.034367	41.581435

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]	0.006700	-0.034073	41.581472

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]	0.016818	0.016818	0.040830
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000734	0.000734	0.002612

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

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	1.369
Phi	0.540
Kappa	5.181

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) Xeon(R) CPU E5-2690 v4 @ 2.60GHz RAM: 256GB GPU: NVIDIA Tesla M10 (Driver: 24.21.14.1181)
Operating System	Windows Server 2016 Datacenter, 64-bit

Coordinate Systems

Image Coordinate System	WGS 84
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	ETRS89 / NTMzone 7
Output Coordinate System	ETRS89 / NTMzone 7

Processing Options

Detected Template	 Runde 2"
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, yes

Point Cloud Densification details

Processing Options

Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes
3D Textured Mesh Settings:	Resolution: Medium Resolution (default) Color Balancing: no
LOD	Generated: no
Advanced: 3D Textured Mesh Settings	Sample Density Divider: 1
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes

Results

Number of Generated Tiles	1
Number of 3D Densified Points	6323940

Average Density (per m ³)	678.83
---------------------------------------	--------

DSM, Orthomosaic and Index Details i

Processing Options i

DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (1.67 [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

Vedlegg H: Kvalitetsrapport kulvert – Drone

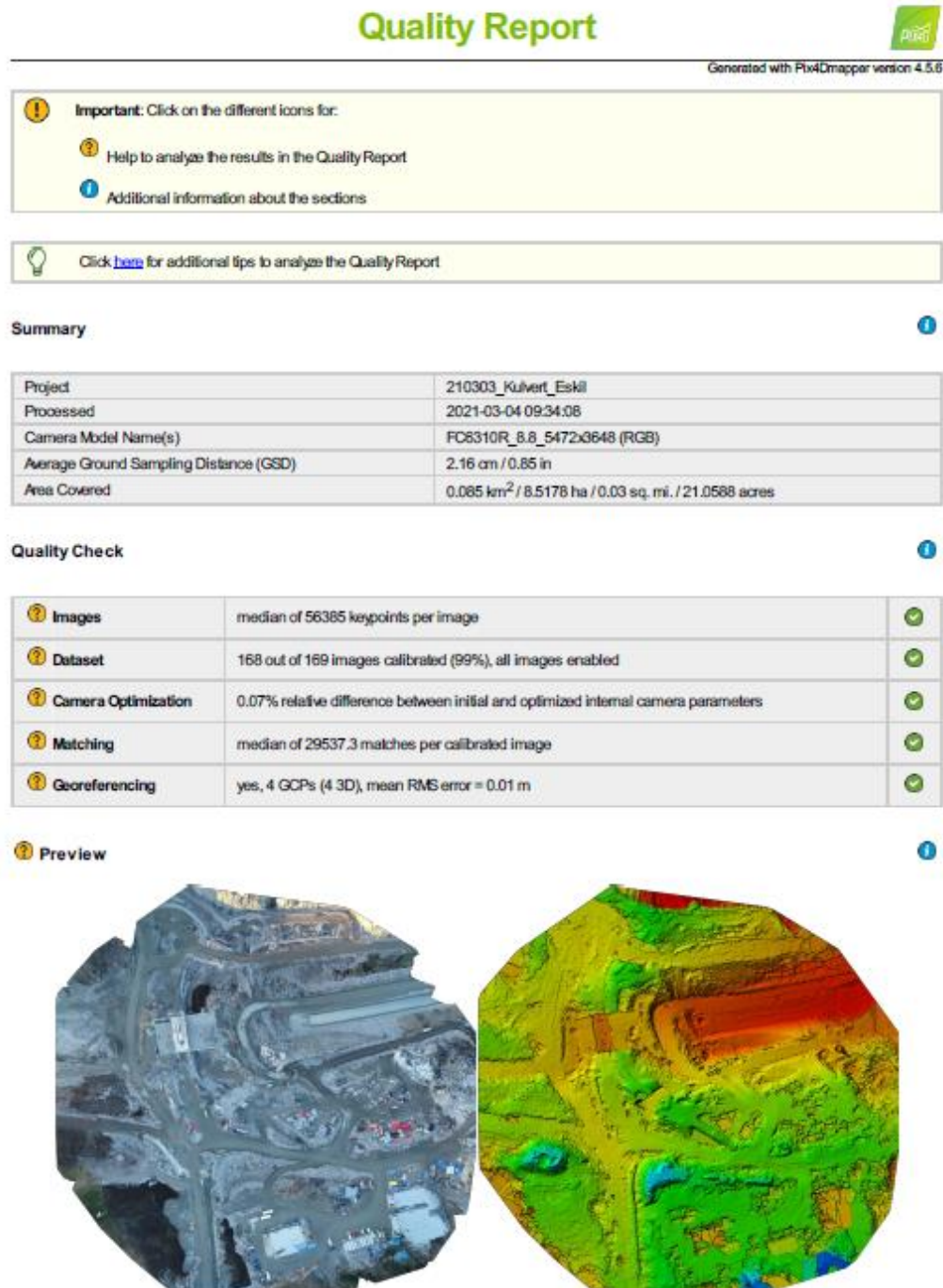


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before denification.

Number of Calibrated Images	168 out of 169
Number of Geolocated Images	169 out of 169

Initial Image Positions

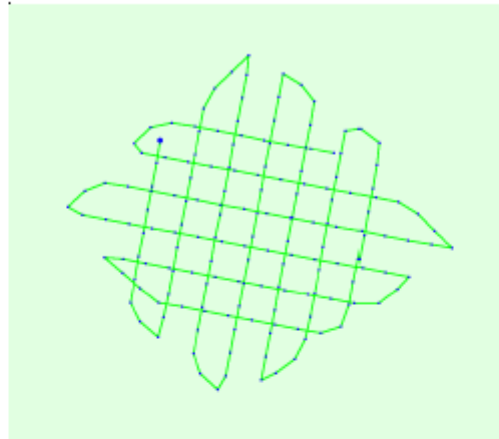
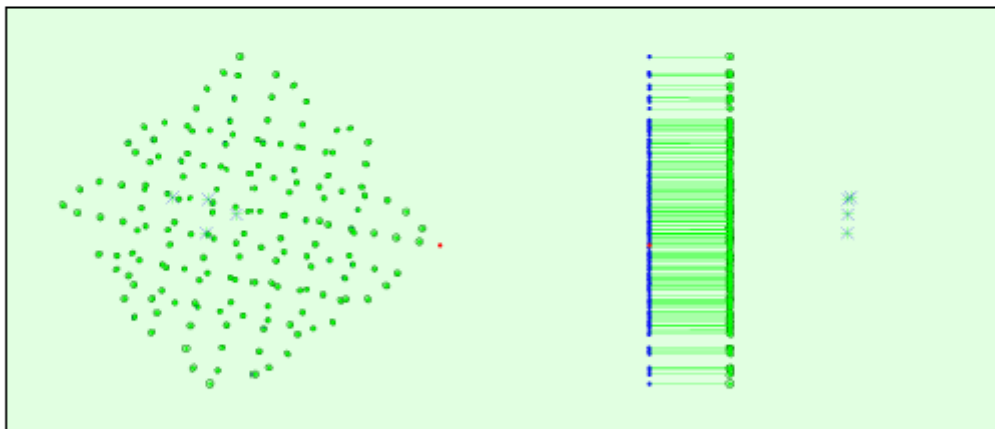


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions



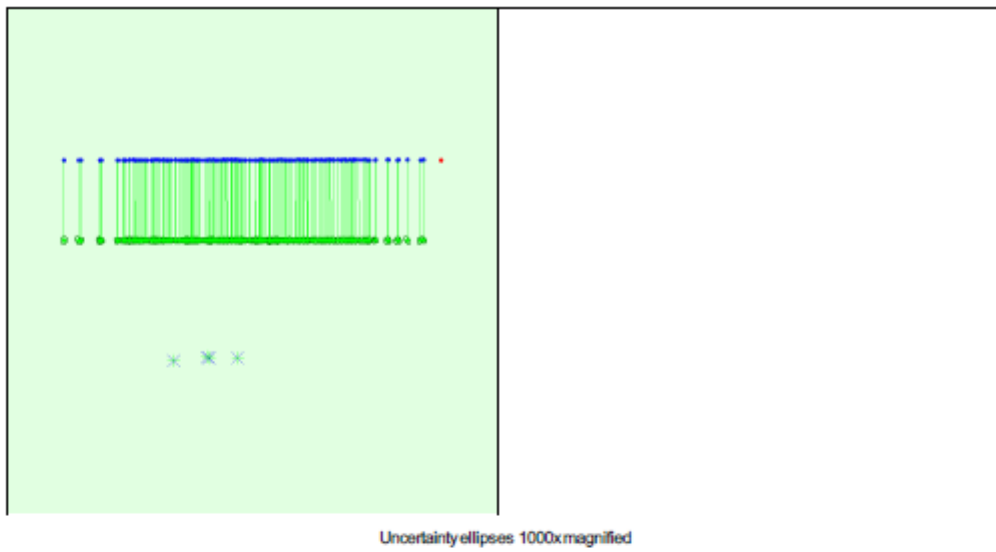


Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Red dots indicate disabled or uncalibrated images. 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	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001
Sigma	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Overlap

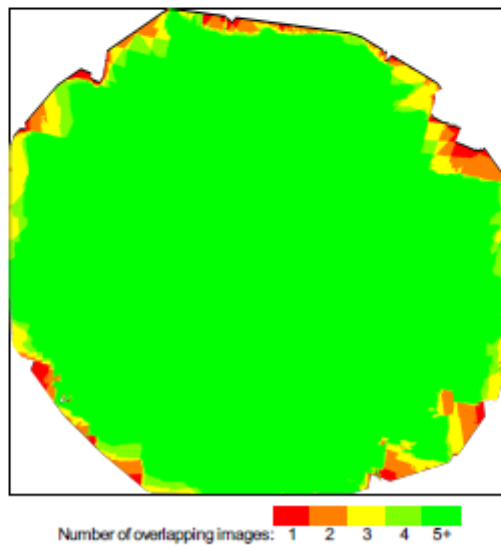


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint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

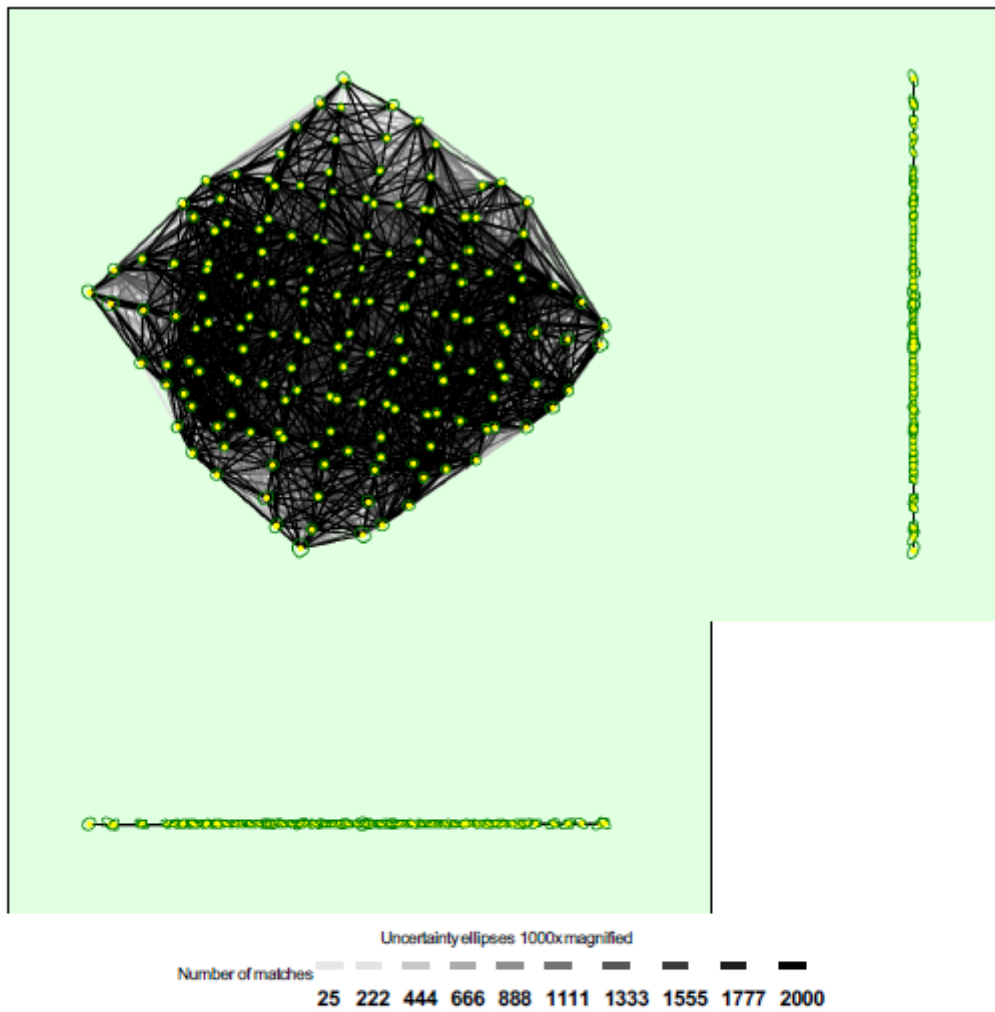


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty 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	0.002	0.002	0.001	0.002	0.002	0.001
Sigma	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Geolocation Details

Ground Control Points

GCP Name	Accuracy XYZ [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
0001 (3D)	0.020/ 0.020	-0.002	-0.009	0.013	0.963	9 / 9
0002 (3D)	0.020/ 0.020	-0.007	0.000	-0.000	0.821	9 / 9

0003 (3D)	0.020/0.020	-0.002	-0.003	0.005	0.939	9/9
0004 (3D)	0.020/0.020	0.012	0.013	-0.030	0.776	9/9
Mean [m]		0.000334	0.000562	-0.003134		
Sigma [m]		0.007182	0.008093	0.016436		
RMS Error [m]		0.007190	0.008113	0.016732		

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.

③ Absolute Geolocation Variance

①

Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X[%]	Geolocation Error Y[%]	Geolocation Error Z[%]
-	-0.05	0.00	0.00	0.00
-0.05	-0.04	0.00	0.00	0.00
-0.04	-0.03	0.00	0.00	0.00
-0.03	-0.02	0.00	0.00	1.19
-0.02	-0.01	0.60	0.60	10.71
-0.01	0.00	45.24	50.60	39.29
0.00	0.01	54.17	44.64	36.31
0.01	0.02	0.00	4.17	12.50
0.02	0.03	0.00	0.00	0.00
0.03	0.04	0.00	0.00	0.00
0.04	0.05	0.00	0.00	0.00
0.05	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		-0.018995	0.009127	41.234933
Sigma [m]		0.003909	0.005283	0.008555
RMS Error [m]		0.019393	0.010546	41.234934

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]	-0.018942	0.009041	41.235313

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

③ Relative Geolocation Variance

①

Relative Geolocation Error	Images X[%]	Images Y[%]	Images Z[%]
[-1.00, 1.00]	100.00	99.40	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]	0.014561	0.014561	0.029570
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000429	0.000429	0.001504

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

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	2.079
Phi	2.114
Kappa	6.013

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) Xeon(R) CPU E5-2690 v4 @ 2.60GHz RAM: 256GB GPU: NVIDIA Tesla M10 (Driver: 24.21.14.1181)
Operating System	Windows Server 2016 Datacenter, 64-bit

Coordinate Systems

Image Coordinate System	WGS 84
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	ETRS89 / NTMzone 7
Output Coordinate System	ETRS89 / NTMzone 7

Processing Options

Detected Template	 Runde 2*
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, yes

Point Cloud Densification details

Processing Options

Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes
3D Textured Mesh Settings:	Resolution: Medium Resolution (default) Color Balancing: no
LOD	Generated: no
Advanced: 3D Textured Mesh Settings	Sample Density Divider: 1
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes

Results

Number of Generated Tiles	1
Number of 3D Densified Points	16598276
Average Density (per m ³)	385.88


DSM, Orthomosaic and Index Details

Processing Options

DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (2.16 [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

Vedlegg I – Rapport Cyclone Kulvert

Cyclone REGISTER 360 Registration Report



Kulvert, E39 Mandal

mar 12, 2021

Certified by:
Emil Mikael Naustheller

Overall Quality

Error Results for Bundle 1

Setup Count: 6
Link Count: 8
Strength: 54 %
Overlap: 63 %

Bundle Error 0.003 m ✓	
Overlap 63 % ✓	Strength 54 % ✓
Cloud-to-Cloud 0.003 m ✓	Target Error 0.003 m ✓

■ Max error of 0.015 m.
 ■ Max error of 0.020 m.
 ■ Error greater than 0.020 m.

Link-Quality Matrix (1 of 1) -



Survey Report

Abs. Mean Error of Control to 'Bundle 1': **0.016 m**

Bundle Name	Setup	Label	Error
Bundle 1	Job 005- Setup 001	P1	0.012 m
	Job 005- Setup 002	P1	0.012 m
	Job 005- Setup 003	P1	0.011 m
	Job 005- Setup 001	P2	0.006 m
	Job 005- Setup 002	P2	0.007 m
	Job 005- Setup 003	P2	0.004 m
	Job 005- Setup 004	P2	0.006 m
	Job 005- Setup 001	P3	0.015 m
	Job 005- Setup 002	P3	0.015 m
	Job 005- Setup 003	P3	0.010 m
	Job 005- Setup 004	P3	0.012 m
	Job 005- Setup 001	P4	0.049 m
	Job 005- Setup 002	P4	0.046 m

Link Error Results

1 Overview

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 1	Job 005- Setup 001	Job 005- Setup 002	87 %	0.003 m
Link 2	Job 005- Setup 002	Job 005- Setup 003	74 %	0.004 m
Link 3	Job 005- Setup 003	Job 005- Setup 004	43 %	0.003 m
Link 4	Job 005- Setup 004	Job 005- Setup 005	62 %	0.001 m
Link 5	Job 005- Setup 005	Job 005- Setup 006	59 %	0.001 m
Link 6	Job 005- Setup 001	Job 005- Setup 003	91 %	0.003 m
Link 7	Job 005- Setup 001	Job 005- Setup 004	58 %	0.004 m
Link 8	Job 005- Setup 002	Job 005- Setup 004	32 %	0.005 m

2 Details

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 1	Job 005- Setup 001	Job 005- Setup 002	87 %	0.003 m
		Cloud to Cloud		0.004 m
		Target	Mean Target Error:	0.002 m
		Target (Setup 1)	Target (Setup 2)	Error
		P3	P3	0.002 m
		P4	P4	0.003 m
		P2	P2	0.001 m
		P1	P1	0.001 m
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 2	Job 005- Setup 002	Job 005- Setup 003	74 %	0.004 m
		Cloud to Cloud		0.004 m
		Target	Mean Target Error:	0.004 m
		Target (Setup 1)	Target (Setup 2)	Error
		P1	P1	0.003 m
		P3	P3	0.005 m
		P2	P2	0.003 m

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 3	Job 005- Setup 003	Job 005- Setup 004	43 %	0.003 m
		Cloud to Cloud		0.002 m
		Target	Mean Target Error:	0.003 m
		Target (Setup 1)	Target (Setup 2)	Error
		P3	P3	0.002 m
		P2	P2	0.004 m
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 4	Job 005- Setup 004	Job 005- Setup 005	62 %	0.001 m
		Cloud to Cloud		0.001 m
		Target	Mean Target Error:	--
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 5	Job 005- Setup 005	Job 005- Setup 006	59 %	0.001 m
		Cloud to Cloud		0.001 m
		Target	Mean Target Error:	--
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 6	Job 005- Setup 001	Job 005- Setup 003	91 %	0.003 m
		Cloud to Cloud		0.003 m
		Target	Mean Target Error:	0.003 m
		Target (Setup 1)	Target (Setup 2)	Error
		P1	P1	0.002 m
		Target 4	Target 13	0.003 m
		Target 5	Target 14	0.003 m
		P3	P3	0.005 m
		P2	P2	0.003 m

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 7	Job 005- Setup 001	Job 005- Setup 004	58 %	0.004 m
		Cloud to Cloud		0.003 m
		Target	Mean Target Error:	0.004 m
		Target (Setup 1)	Target (Setup 2)	Error
		P3	P3	0.003 m
		P2	P2	0.005 m
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 8	Job 005- Setup 002	Job 005- Setup 004	32 %	0.005 m
		Cloud to Cloud		0.005 m
		Target	Mean Target Error:	0.004 m
		Target (Setup 1)	Target (Setup 2)	Error
		P3	P3	0.003 m
		P2	P2	0.005 m

Vedlegg J – Rapport Cyclone Fjellskjæring

Cyclone REGISTER 360 Registration Report



Fjellskjæring, E39 Mandal

mar 13, 2021

Certified by:

Emil Mikael Naustheller



Job 004-1

Overall Quality

Error Results for Bundle 1

Setup Count: 4
Link Count: 3
Strength: 78 %
Overlap: 54 %

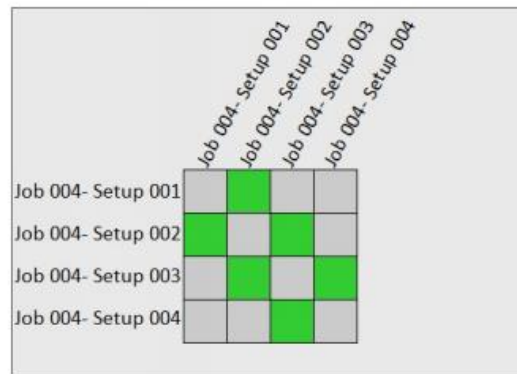
Bundle Error 0.003 m ✓	
Overlap 54 % ✓	Strength 78 % ✓
Cloud-to-Cloud 0.003 m ✓	Target Error --

■ Max error of 0.015 m.

■ Max error of 0.020 m.

■ Error greater than 0.020 m.

Link-Quality Matrix (1 of 1) -



Survey Report

Abs. Mean Error of Control to 'Bundle 1': **0.002 m**

Bundle Name	Setup	Label	Error
Bundle 1	Job 004- Setup 001	BWT1	0.002 m
	Job 004- Setup 001	BWT2	0.002 m
	Job 004- Setup 001	BWT3	0.003 m
	Job 004- Setup 001	BWT4	0.003 m

Link Error Results

1 Overview

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 1	Job 004- Setup 001	Job 004- Setup 002	42 %	0.003 m
Link 2	Job 004- Setup 002	Job 004- Setup 003	62 %	0.003 m
Link 3	Job 004- Setup 003	Job 004- Setup 004	58 %	0.003 m

2 Details

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 1	Job 004- Setup 001	Job 004- Setup 002	42 %	0.003 m
		Cloud to Cloud Target	Mean Target Error:	0.003 m --

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 2	Job 004- Setup 002	Job 004- Setup 003	62 %	0.003 m
		Cloud to Cloud Target	Mean Target Error:	0.003 m --

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 3	Job 004- Setup 003	Job 004- Setup 004	58 %	0.003 m
		Cloud to Cloud Target	Mean Target Error:	0.003 m --

Vedlegg K – Comparison Chart, Leica Geosystems

Leica Geosystems Terrestrial Laser Scanners

Which 3D laser scanner is right for me?

	ScanStation P50	ScanStation P40	ScanStation P30	RTC40	RTC40 LT	RTC40
DISTANCE MEASUREMENT SYSTEM	1-1 km	270 m	120 m	120 m	120 m	120 m
Maximum scan rate	1 m/s pulse	1 m/s pulse	1 m/s pulse	2 m/s pulse	1 m/s pulse	360 000 pulse/s
Resolvable sensitivity (meters)	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional
Resolution settings	User definable	User definable	7 024 mm to 50 mm @ 10 m	3 126/32 mm @ 30 m	3 126/32 mm @ 30 m	3 126/32 mm @ 10 m
Laser class	1	1	1	1	1	1
Laser wavelength	1550 nm (available)	1550 nm (available)	1550 nm (available)	1550 nm (available)	1550 nm (available)	905 nm (available)
RT detector	Dual axis compensator	Dual axis compensator	Dual axis compensator	90°	90°	90°
2σ accuracy	4.4 mm @ 50 m / 1.1 mm (model)	4.4 mm @ 50 m / 0.8 mm @ 100 m	7 mm @ 50 m / 0.8 mm @ 100 m	4.4 mm @ 50 m / 1.5 mm @ 200 m	4.4 mm @ 50 m / 1.5 mm @ 200 m	4 mm @ 10 m / 2 mm @ 20 m
IMAGING SYSTEM						
Internal camera	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional
HD camera	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional
External camera	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional
OPERATIONAL						
Operating temperature	-30°C to +50°C	-30°C to +50°C	-30°C to +50°C	-30°C to +50°C	-30°C to +50°C	+5°C to +40°C
Solid particulate ingress protection	IP54	IP54	IP54	IP54	IP54	IP54
SAFETY/STATUS FUNCTIONALITY						
Quick orientation	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional
Set azimuth	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional
Known back-sight	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional
Intersection	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional
Auto resection	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional
Trimline	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional
REGISTRATION						
Onsite pre-registration (LeicaS FBLO 3d)	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional
Cloud to cloud post-processing	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional
Target based post-processing	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional
GENERAL FUNCTIONALITY						
Onboard target acquisition	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional
Check & Adjust	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional
One button scan control	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional
Scan area definition from video or scan	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional
Batch job scanning	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional
Double scan for modeling objects removal	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional
Remote control	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional
UPGRADE OPTIONS						
Upgrade options	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional
ADDITIONAL SENSORS						
IMU	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional
GNSS	Optional/External	Optional/External	Optional/External	Optional/External	Optional/External	Optional/External
Altimeter	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional
Compass	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional
Visual Inertial System (VIS)	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional



leica-geosystems.com

Available * Not available

Copyright © Leica Geosystems AG, 2021. All rights reserved. Published in Switzerland - 2020

when it has to be right

