



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2022 30 stp
Fakultet for realfag og teknologi

Bruken av droneskanning til å kvalitetssikre arbeidet til grunnentreprenøren

The use of drone scanning to ensure the quality of
work of the ground contractor

Ajanth Kumaralingam
Byggeteknikk og arkitektur

Forord

Denne masteroppgaven er en avsluttende oppgave på studiet innen Byggeteknikk og arkitektur med spesialisering innen bygningsplanlegging ved Norges Miljø og Biovitenskapelige Universitet (NMBU). Denne oppgaven og min arbeidserfaring har gitt meg et bilde på hvordan det kan utføres gode kvalitetssikringer ute på byggeplassen og hvordan teknologien har utviklet seg slik at det kan bli utnyttet til kvalitetssikring.

På leting etter tema til oppgaven fikk jeg hjelp av BIM- teknikker i HENT AS. Med samtaler med BIM- teknikere kom det frem til hvordan droner kan brukes til å kvalitetssikre arbeidet utført av grunntrepreneren på byggeplassen. Jeg vil takke Niklas Gisle fra HENT AS for veiledning for bruken av droneskannings programmene og hvordan det vil være til hjelp for kvalitetssikring.

Jeg vil takke min hovedveileder Gabrielle Bergh for god oppfølging og veiledning gjennom dette semesteret. Til slutt en stor takk til min forlovede og min søster, med familie og venner for støtte gjennom oppgaven.

Sammendrag

Byggenæringen digitaliserer mer og mer av byggeprosessen og bygningsinformasjonsmodellering (BIM) har blitt en viktig del av den daglige driften ute på byggeplass. Droneteknologi kan blant annet brukes til droneskann av byggeplass som så kan bli benyttet som grunnlag for å utføre kvalitetssikring av byggeprosjekt. I denne oppgaven ble to prosjekter gjennomgått på hvordan droneskanningen ble benyttet i byggeprosjekter. Oppgaven sentrer seg rundt problemstillingen: **«Hvordan kan totalentreprenøren bruke droneskanning til å kvalitetssikre arbeidet til grunnentreprenøren?»**

Oppgaven har tatt for seg en kvalitativ studie ved å se på to nybyggprosjekter som casestudier. Droneskanningene har blitt utført regelmessig i prosjektene med hovedfokus på grunnarbeider. Her ble droneskanningene sammenlignet mot det prosjekterte underlaget gitt av rådgiverne. Det teoretiske grunnlaget kom frem gjennom litteratursøk relatert til funnene i en tidlig fase av analysen. Litteraturstudiet bygger opp grunnleggende teori om hvordan droneskann fungerer, samt hvordan det kan bidra til å utføre kontroll og kvalitetssikring av utført arbeid på byggeplass. Det blir presentert hvordan droneskanningen vil være til hjelp med tanke på dokumentasjon over hvordan byggeprosessen har vært og hvordan byggingen har blitt utført. Resultatene blir presentert og drøftet mot det teoretiske grunnlaget.

Analysen tar for seg hvordan dataen fra droneskanningen blir behandlet og benyttet for å komme frem til en modell som så brukes til kvalitetssikring. Modellen fra droneskanningen blir sammenlignet mot det prosjekterte underlaget fra de ulike rådgiverne for å kvalitetssikre utførelsen til grunnentreprenører, og finne eventuelle avvik i utført arbeid. Modellen kan også bli brukt til å lage fremdriftsplanen for driften videre i prosjekter for grunnentreprenøren.

Resultatene blir veid opp mot litteraturstudiet, hvor fordeler og ulemper blir drøftet. Droneskanningen tillater totalentreprenøren å kontrollere utførelsen mot det prosjekterte underlaget, og utføre kvalitetssikring av grunnentreprenørens arbeid. Droneskanning skaper dokumentasjon på hvordan arbeidet har blitt utført på byggeplassen. Droneskanningen har fortsatt noen ulemper for brukeren, deriblant værforhold, regler rundt droneflyvning og støy på byggeplass.

Summary

The construction industry is evolving in digitizing the construction process, and building information modeling (BIM) has become a primary part of the daily operations on the construction site. Drone technology can among other things, be used for drone scans of construction sites, and further used as a basis for performing quality assurance of the construction project. In this thesis, two projects were analyzed on how drone scanning can be used on construction projects. The thesis centers around the problem statement: "**How can the turnkey contractor utilize drone scanning to ensure the quality of the work of the ground-contractor?**"

The thesis has addressed a qualitative study by studying two new construction projects as case studies. The drone scans have been carried out regularly in the projects, centering on groundwork. Here, the drone scans were compared to the projected surface provided by the consultants. The theoretical basis emerged through literature searches related to the findings at the early stage of the analysis. The literature study builds on the basic theory about how drone scanning works, and how it can contribute to performance control and quality assurance of work performed on a construction site. How the drone scan will be helpful in terms of documentation, how the construction process has been, and how construction has been executed is presented. The results are presented and discussed against the theoretical basis.

The analysis addresses how the data from the drone scan is processed and used to make a model, which then used for quality assurance. The model from the drone scan is compared to the projected surface from the various consultants to ensure the quality of the work done by ground-contractors and to find any discrepancies in the work performed. The model can also be used to create the progress plan for the operation further in projects for the ground-contractor.

The results are weighed against the literature study, where advantages and disadvantages are discussed. The drone scan allows the turnkey contractor to check the execution against the projected surface and perform quality assurance of the ground-contractor's work. Drone scanning create documentation of how the work has been accomplished on the construction site. The drone scan still has some disadvantages for the user, including weather conditions, rules regarding drone flying and noise at the construction site.

INNHOLDSFORTEGNELSE

FORORD	2
SAMMENDRAG	3
SUMMARY	4
INNHOLDSFORTEGNELSE	6
FIGUR LISTE	8
TABELL LISTE	9
1 INTRODUKSJON	10
1.1 BAKGRUNN	10
1.2 PROBLEMSTILLING	11
1.3 ORDLISTE.....	11
2 TEORI	12
2.1 DRONER	12
2.2 DRONESKANNING	13
2.2.1 <i>Punktsky</i>	15
2.2.2 <i>Geo referering</i>	16
2.3 REGLER RUNDT DRONE- FLYVNING OG SKANNING.....	18
2.4 DRONESKANNING PÅ BYGGEPLASS	20
2.5 BIM	22
2.5.1 <i>Digital tvilling og defekt deteksjon</i>	23
2.6 PROGRAMVARER SOM BENYTTES I OPPGAVEN.	24
3 METODE	27
3.1 DRONESKANN DATA	27
3.2 LITTERATURSTUDIE OG FORSKNINGSMETODE.....	28
3.3 DYBDEINTERVJUER.....	29
3.4 DATA INNHENTING.....	30
4 RESULTAT	32
4.1 UTFØRELSE AV DRONESKANNINGEN	32
4.1.1 <i>Gjennomgang av droneskanningen vs. Prosjektert underlag</i>	36
4.2 KVALITETSSIKRING	37
4.2.1 <i>Kontroll av utført arbeid mot tegning</i>	40
4.3 FREMDRIFT.....	42
4.4 AVVIKSHÅNDTERING.....	43
4.5 UTFORDRINGER VED DRONESKANNING	45
4.5.1 <i>Støy i bakgrunnen</i>	45
4.5.2 <i>Nøyaktigheten ved droneskanningen</i>	46
4.5.3 <i>Tidsperioden hvor droneskanningen ikke vil være til hjelp</i>	47
5 DISKUSJON	48
5.1 KVALITETSSIKRING	48
5.2 FREMDRIFTSSTYRING	51
5.3 AVVIKSHÅNDTERING.....	52
6 KONKLUSJON	55
7 VEIEN VIDERE	57
8 KILDER	58

Figur liste

Figur 1 - Fotogrammetri. I illustrasjonen er det mulig å se hvordan dronen behandler objektet(A), fra posisjonene 1 og 2, resulterer i bildene a1 og a2 (Girod, 2022).....	14
Figur 2 - Overlapp mellom bilder(Girod, 2022).....	15
Figur 3 - Oversikt over UTM sonene sammenlignet med NTM sonene som dekker Norge(Goderstad, 2021).....	17
Figur 4 - Endring fra NN1954 til NN2000. Figuren viser til hvordan høyden har endret seg mellom høydesystemene(2021).....	18
Figur 5 – Illustrasjon for hva BIM kan benyttes til (Lodplanner, 2022).....	23
Figur 6 – Digital tvilling av et bygg. Den modellerte versjonen blir slått sammen med det som har blitt bygd og sammen blir det en digital tvilling av bygget (Merriman, 2018).	24
Figur 7 – Hvordan databehandlingsprosessen fungerer. Drone -> Agisoft Metashape -> BIMcollab Zoom/Pix4d.....	25
Figur 8 - Nye Fjerdingby Skole.....	27
Figur 9 - Aker Tech House	28
Figur 10 – Prosess for gjennomgang av datainnhenting. Dronen flyr på byggeplassen, bildene lastes opp i Agisoft Metashape, 3D modell dannes fra bildene og det blir sammenlignet mot prosjektert grunnlag.....	30
Figur 11 - Rute for droneflyvning. Bildet har blitt tatt med en Ipad som benyttes til GPS koordinering av dronen.	32
Figur 12 – Oversiktsbildet med kontrollpunkter. Hentet ut fra Agisoft Metashape.....	33
Figur 13 – Bilde skanning fra Agisoft Metashape.....	34
Figur 14 – Align photos menyvalg for å slå sammen bilder- Hentet fra Agisoft Metashape.....	35
Figur 15 – Hvordan finne 3D- modell og punktsky funksjonen i Agisoft Metashape	35
Figur 16 – Innstillingen for å lage 3D modell i Agisoft Metashape.....	36
Figur 17 – Graveplanen visualisert i BIMcollab Zoom.....	36
Figur 18 – Droneskanning lagt over graveplanen i BIMcollab Zoom	37
Figur 19 – Området som har blitt gravd ut vs. Prosjektert underlag – hentet fra BIMcollab Zoom	38
Figur 20 – Grøfter AkerTech- hentet fra Pix4d. Til høyde på figuren vises det X, Y og Z aksene til punktet.....	39
Figur 21 – Hvor mye graveren har gravd ut på Aker Tech– Hentet fra Pix4d. Til høyde på figuren vises det X, Y og Z aksene til punktet	39
Figur 22 – Graveplanen til grunnentreprenøren – Hentet fra BIMcollab Zoom Nye Fjerdingby Skole.....	40
Figur 24 - Terreng etter graving og plassering av overvannsledning – Hentet fra BIMcollab Zoom.....	41
Figur 23 - Terreng før graving – Hentet fra BIMcollab Zoom	41
Figur 25 – Perle plassering – Hentet fra Pix4d.....	41
Figur 26 – Mengder som skal graves ut. – Hentet fra Pix4d.....	42
Figur 27 -Rør plassert annerledes fra originalt tiltenkt plassering – Hentet fra Nye Fjerdingby skole BIMcollab Zoom.....	44
Figur 28 – Plassering av fundament Aker Tech – Hentet fra Pix4d.....	45
Figur 29 – Støy i bakgrunnen i droneskanninger. Det røde representerer eldre skanning – Hentet fra BIMcollab Zoom	46
Figur 30 – Unøyaktigheter ved skanning vist i kolonne «Accuracy» – Hentet fra Agisoft Metashape.....	47

Tabell Liste

Tabell 1: Ordliste for oppgaven.....	11
Tabell 2: utfordringer ved å benytte droner (Li & Liu, 2019).....	19
Tabell 3: Programmer som benyttes i oppgaven	25
Tabell 4: Oversikt over Case studie.....	28
Tabell 5: Søkeord og søkemotorer brukt under oppgaven	28

1 Introduksjon

Digitalisering av byggeplass har blitt en større del av byggeplass produksjonen for kvalitetssikring. Utviklingen i droneteknologien har gjort det mulig å utføre skanninger av byggeplasser. Droner bruker fotogrammetri for å hente ut punktskyer og lage 3D- modeller av byggeplassen. Totalentreprenøren(TE) kan bruke dataen som blir hentet ut fra punktskyer som gjør det mulig for kvalitetssikring ved å sammenligne det prosjekterte underlaget mot arbeidet som er utført av underentreprenøren på byggeplassen.

Droner har en del fordeler samt ulemper. Fordelene er at fotogrammetri kan bli benyttet til å hente ut data og få frem en fremdriftsoversikt over hva som har blitt utført. Dronen har muligheter til å skanne områder som kan anses som å være vanskelig/utrygt å befare, og gir muligheten til å hente ut data som er nødvendig for prosjektet. Ulempene kan bli knyttet til hindringer, som vil skape støy for bildene. Droneflyvninger har blitt mer tilgjengelig for privat bruk, men det er fortsatt noen regler som begrenser flyvningen og hvordan dataen skal behandles.

Oppgaven fokuserer på hvordan droner kan bli brukt til å kvalitetssikre utførelsen av produksjonen til grunnentreprenøren. Litteraturstudiet fokuserer på grunnleggende teori rundt droneteknologi og droneskanning, og gir også en introduksjon til BIM. Videre blir metoden for litteraturstudiet og dataanalyse presentert. Til slutt blir resultatene presentert og drøftet mot teorien.

1.1 Bakgrunn

Droner blir i dag brukt til å skanne byggeplassen for å gi bedre oversikt. Denne oppgaven har tatt for seg et perspektiv om hvordan droneskanning vil være til hjelp for driften i produksjonen på byggeplassen. Formålet var å se hvordan droneskanning vil være til hjelp for kvalitetssikring av utførelsen, samt mulighetene til å kontrollere og hente ut målinger på utført arbeid. Det var interessant å se hvordan droneskanning vil være til hjelp for å få en fremdriftsoversikt av produksjonen på byggeplassene.

Denne oppgaven har blitt skrevet i samarbeid med HENT AS. HENT benytter droneskanninger på alle sine prosjekter for å dokumentere hvordan utførelsen og fremdriften er på prosjektet.

1.2 Problemstilling

I denne oppgaven ble to case studium utført. Case studiene ble gjennomført for å se hvordan droneskanning var til hjelp, og for å analysere de positive og negative funnene ved droneskanning som verktøy for kvalitetssikring. Oppgaven har fokusert på hvordan droneskanning vil være til hjelp for å kvalitetssikre utførelsen av grunnentreprenøren mot det prosjekterte underlaget. Kvalitetssikringen fokuserer på utførelsen, hvordan avvik blir håndtert og fremdriftsstyring. Problemstillingen formuleres som følgende:

«Hvordan kan totalentreprenøren bruke droneskanning til å kvalitetssikre arbeidet til grunnentreprenøren?»

For å kunne besvare problemstillingen og avgrense oppgaven er det følgende underspørsmål:

- Hvordan kan totalentreprenøren benytte droneskanning til å kontrollere utførelsen av grunnarbeidet?
- Hvordan kan droneskanningen bli benyttet til å styre fremdriften?
- Hvordan kan totalentreprenøren håndtere avviksfunn fra prosjektert underlag til utførelse?

1.3 Ordliste

Tabell 1: Ordliste for oppgaven

Ord	Forklaring
<i>Prosjekterende</i>	Prosjekterende vil være rådgivere som modellerer prosjekteringsgrunnlaget for hva som kommer til å bli utført på byggeplass.
<i>Grunn entreprenøren</i>	En entreprenør som har blitt hentet inn for å utføre grunnarbeidet på en byggeplass
<i>BH</i>	Byggherre
<i>Pilot</i>	Personen som kontroller dronen ved flyvning
<i>UE</i>	Underentreprenør. Dette er en entreprenør som har blitt kontrahert av en totalentreprenør eller byggherre
<i>TE</i>	Totalentreprenør

2 Teori

Dette kapittelet gir en introduksjon på hva droner er og hvordan utførelsen av droneskanning er på byggeprosjekter. Teorien omhandler hvordan teknologien rundt droneskanning fungerer med fokus på fotogrammetri, punktsky og georeferering. Datainnsamlingens prosess gjennom droneskanning blir gjennomgått, og reglene rundt databehandling blir trukket frem. Flyvning av droner har mye frihet, men det er fortsatt noen regler som må følges ved flyvning. Regelverket spiller en viktig rolle for hvor mye data i form av bilder og videoer som kan bli samlet inn. Det blir også gitt en kort introduksjon til data programmene som blir benyttet for behandling av dataen. Videre blir Bygningsinformasjonsmodellering(BIM) introdusert med hensikt for å dra frem 3D- modellen av byggeplassen og danner en digital tvilling av byggeplassen som brukes for kvalitetssikring.

2.1 Droner

Droner er et ubemannet luftfartøy som kan kontrolleres med fjernstyring ved hjelp av programvare, sensorer og GPS. Droner har lenge blitt brukt til militære formål, men har utviklet seg i de siste årene og blitt mer egnet til sivile formål også (Jarslett, 2020). Små droner kan kontrolleres av mobiltelefon og er utstyrt med kamera. Tal og Altschuld (2021) trekker frem hvordan bruken av droner hjelper til med å vurdere løsninger, fyller informasjonsmangel og få brukeren til å tenke på prosjektområdet og nærområdet på en helt ny måte(Tal & Altschuld, 2021). Ved å ta i bruk denne teknologien er det mulig å skape et realitetsbilde av hvordan situasjonen er på byggeplassen. Gjennom bruk av fotogrammetri vil dronen ha evnen til å hente ut data fra byggeplassen, og danne en modell av hvordan situasjonen er.

Droner er effektive og har sine gode sider, men det er fortsatt noen utfordringer rundt bruken av droner. Li og Liu (2019) trekker frem noen utfordringer ved bruken av droner på byggeplass. Den største utfordringen er sentrert rundt lokale reguleringer av dronens bruk. Dronebruken er avhengig av profesjonelle operatører for bruken av dronen på byggeplass, som kan være vanskelig å få tak i.

Værforholdet er også en viktig faktor for at dronen vil ha evnen til å fly kontrollert og ta kvalitetsbilder (Li & Liu, 2019). Værforhold har et viktig aspekt for datafangst som hentes inn og vil påvirke resultatene. Mengde lys og kontrast påvirker hvor mange fellespunkter i bildematerialet programvaren klarer å automatisk detektere. Mengden lys påvirker og hvor lav

ISO – verdi og hvor høy lukketid kameraet kan ha. Dette vil si at ved lyse dager kan man oppnå bilder som er skapere og med mindre støy enn på dager med dårlige lysforhold. Når det er sterk vind, kan man ikke operere dronen forsvarlig og flyvning bør unngås. Sterkt vindkast kan bety at dronen ikke klarer å oppnå overlapping av bilder.

Batterikapasitet er en annen viktig faktor for droneflyvning. Ved bruken av dronen er det viktig at operatøren forutser hvor dronen skal fly og hvor mye kapasitet dronen har. Værforholdet har også noe å si for batterikapasiteten. Ved kuldegrader vil batteriet bli brukt mye raskere enn når det er varmegrader (Li & Liu, 2019).

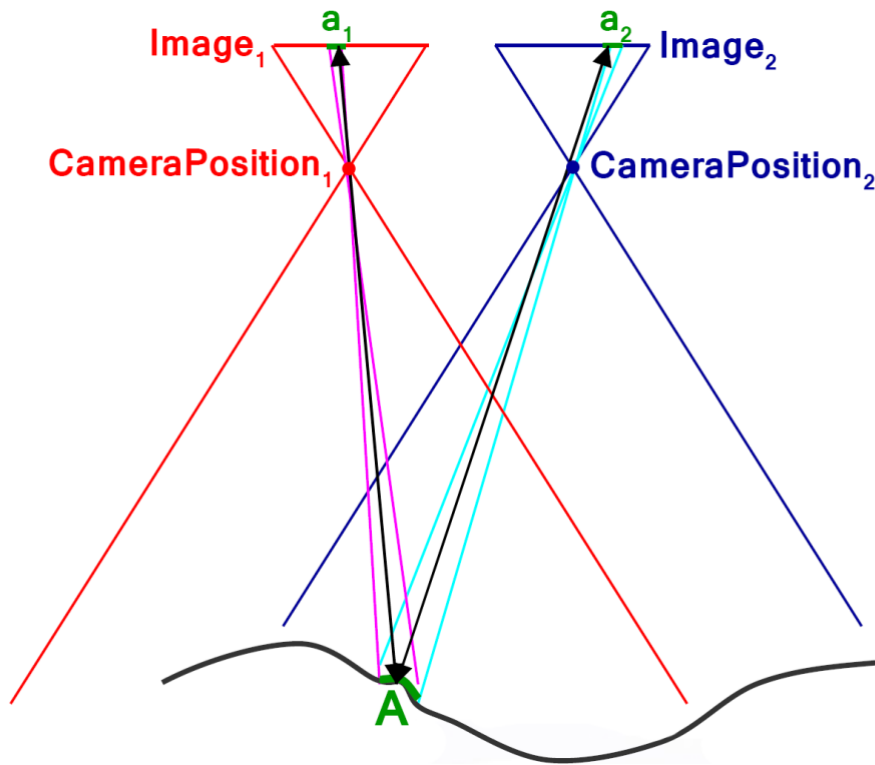
2.2 Droneskanning

Droneskanning har to ulike teknologier for innhenting av data: Lidar og fotogrammetri. Lidar bruker lader og måler tiden på reisen til en laserstråle for å danne en punktsky. Fotogrammetri kan brukes til å dokumentere profiler, flater, strukturer og gjenstander. Metoden viser seg frem i 3D- dokumentasjon. Det skapes imidlertid store mengder bildefiler som kan kreve stor plass, og brukeren bør derfor være bevisst på hva som ønskes å dokumentere og hvorfor (Mæhlum, 2020). Denne oppgaven benytter fotogrammetri.

Light Detection and Ranging Technology (Lidar) har blitt brukt siden 1960-tallet (Mehendale & Neoge, 2020). Metoden går ut på å sende ut laser stråle mot et objekt og beregne bølgelengden og tiden det tar for hver laserstråle å komme tilbake til detektoren. Dette danner nøyaktige målinger som blir benyttet for å danne tredimensjonale kart av området som blir skannet. Fordelene med Lidar sentrer seg rundt fleksibiliteten ved bruk bruket og lav flyhøyde ved skanning. Ulempene sentrer seg rundt prisen, batterikapasiteten, størrelse på arealet som skannes og siktlinje mellom droneoperatør og dronen. Dette begrenser effektiviteten når det gjelder kartlegging av store områder (Risbøl & Gustavsen, 2018).

Fotogrammetri er læren om måling i fotografiske bilder for å bestemme geometriske egenskaper som form, størrelse, og beliggenhet av fotografert objekt (Mæhlum, 2020). Dette resulterer i kart, koordinater og terrengmodeller. Andersen et al. (1991) forklarer at fotogrammetri kommer fra en sammensetning av ordene *photos* som betyr lys, *gramma* som betyr noe som er tegnet og *metri* som betyr måling.

Figur 1 viser hvordan måleteknikken fungerer. Teknikken går ut på å benytte bilder fra dronen i posisjon a_1 og a_2 . Dette er bilder fra forskjellige perspektiver av samme motiv(A). Ved å bruke denne metoden er det mulig å rekonstruere en tredimensjonal modell av det som har blitt fotografert (Girod, 2022).



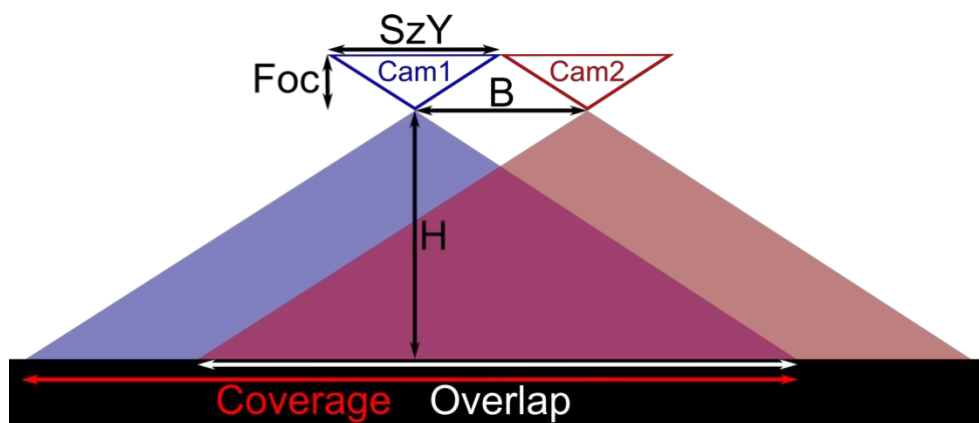
Figur 1 - Fotogrammetri. I illustrasjonen er det mulig å se hvordan dronen behandler objektet(A), fra posisjonene 1 og 2, resulterer i bildene a_1 og a_2 (Girod, 2022)

Fotogrammetri teknologien har utviklet seg over tid. Det har vært utvikling i kvaliteten på bilder som blir tatt og flere tidskrevende metoder har blitt byttet ut med fleksible metoder gjort mulig av mer datakraft. Før ble stereofotogrammetri brukt for å avgjøre elementer ved det fotogrammetriske objektet. Stereofotogrammetrien rekonstruerte fotograferingssituasjonen ved å bruke den indre- og ytre orienteringen til kameraet og analyserte bilder som har blitt tatt fra forskjellige vinkler (Mæhlum, 2020).

For å kunne vite de geometriske egenskapene til et objekt ved målinger i bilder, er det viktig å vite om den indre- og ytre- orienteringen til kameraet. Indre orientering tar for seg geometrien i det øyeblikket bildet blir tatt og det rekonstrueres i kameraet, mens ytre orientering representerer kameraets posisjon og fotograferingsretning i et koordinatsystem (Dick, 2020).

Fotogrammetri er avhengig av god planlegging på forhånd med tanke på vær- og vindforhold. Disse forholdene kan påvirke dronens orientering og kvaliteten på bildene. Hvis lysforholdet er skiftene, vil det slå negativt ut med lav kvalitet på bildene. Sterk vind vil kunne gjøre det vanskelig å ta stabile bilder og resulterer i unøyaktige bilder.

Det er viktig at fototaking til fotogrammetri har en god overlapp på over 67% mellom bildene. En god overlapp vil si når dronen får flere vinkler av et objekt og de bildene har en overlapp av objektet. I Figur 2 kommer det frem hvordan overlappene bør være. Overlappene må dekke et godt stykke av det samme arealet slik at flest mulig detaljer blir tatt med under skanningen. God overlapp fører til gode data og det er mye bedre å ta for mange bilder enn for få. Det er essensielt at dronene jobber systematisk i den forstand at den kjører en retning under flyvning og arbeider rundt, spesielt når større flater skal dokumenteres. Gangretning og orientering av kamera vil være avhengig av lokale forhold på området droneskanningen blir utført(Girod, 2022).



Figur 2 - Overlapp mellom bilder(Girod, 2022)

2.2.1 Punktsky

En punktsky består av en stor mengde enkeltstående punkt uten noen relasjon til hverandre. I et koordinatsystem med XYZ -akse kan hvert punkt ha en rekke attributter som gjør det mulig å sette punktet i sammenheng (Sosi.Geonorge, 2022). Ved fotogrammetri kan dronen skape punktskyer for å hente inn data som høyder og areal av området som ble skannet.

Ved snakk om droneskanning er det viktig å trekke frem nøyaktigheten ved skanningene.

Droner har innebygd GPS – system som gjør det mulig å flette sammen bildene og danne 3D – modeller. Det er viktig å tenke at systemet ikke har nok nøyaktighet til å plassere 3D- modellen nøyaktig nok på centimeter nivå. Med tanke på dette er det viktig å se på avstanden mellom to punkter på en rekonstruert modell og se at verdien er ganske nær verdien målt i felt. Virkeligheten kan være annerledes enn det som blir målt opp med dronen. Derfor er det viktig å se på forskjellen mellom relativ og absolutt nøyaktighet. Relativ nøyaktighet tar for seg mål av hvordan objekter plasseres i forhold til hverandre i en rekonstruert modell. Absolutt nøyaktighet referer til forskjellen mellom plasseringen av objektene på den rekonstruerte modellen og den virkelige posisjonen på jorden. (Kartverket, 2015)

Li og Liu (2019) trekker frem hvordan programmet tillater innovasjonen i droneprogramvaresystemer til å gi et nøyaktig konturkart og 3D- modeller basert på opptak og datasamling fra droneskanningen. Li og Liu (2019) nevner at prosessen av høyoppløselige luft-bilder gir muligheten for 3D- modellering i forskjellige formater og hvordan 2D bilder kan bli generert basert på kart-teknologien, og nøyaktige målinger og justeringer.

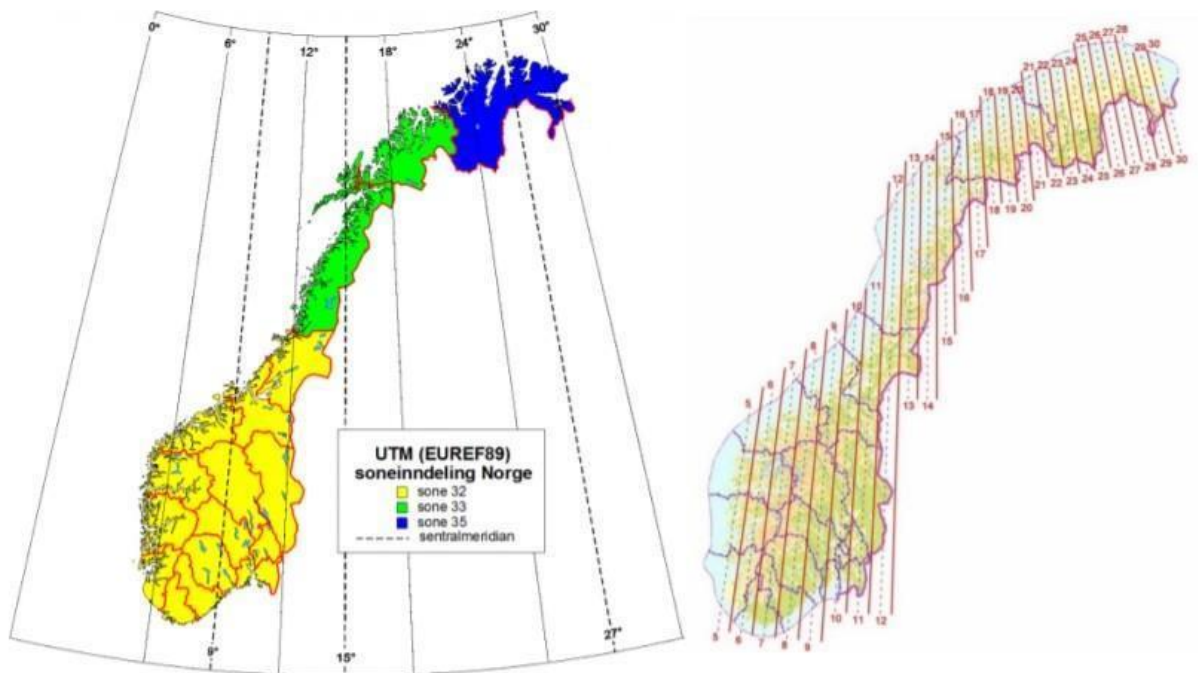
Droneskanningen vil gi informasjonsrikt og detaljert fotografi for å samle informasjon gjennom kun en enkel fly tur. Li og Liu (2019) trekker frem at med droneskanning trenger ikke en å være redd for at et punkt ikke har blitt målt opp i et område. Dette er fordi dronen vil få med seg det meste i området og gi mulighet for å måle inn den dataen brukeren skulle trenge.

2.2.2 Geo referering

«Nesten alle dronemodeller bruker Global Navigation Satellite Systems(GNSS) for posisjonering av dronen og georeferering av bilder du tar med den» (Haukedal, 2020). Geo refereringer er den geografiske posisjonen som bildet er tatt fra og det er en av parameterne som brukes av fotogrammetri-programvaren for å lage 3D-modeller. GNSS benytter EUREF89 for horisontal datum og NN2000 vertikal datum.

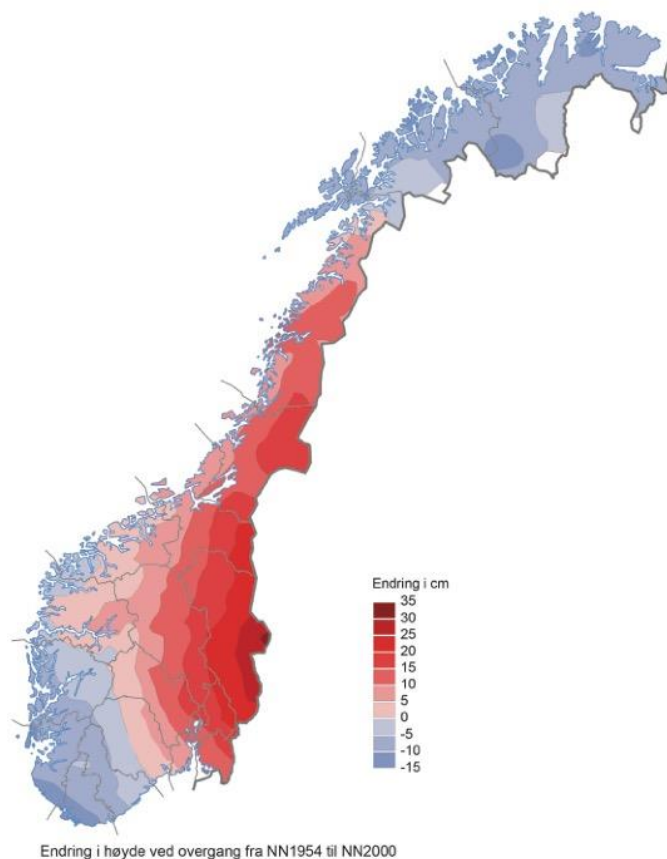
GNSS systemer kan enkelt bli forklart som måling av tiden det tar et signal å reise mellom satellitten og mottakeren på bakken (Haukedal, 2020). Den tiden signalet bruker til mottakeren blir regnet som avstanden mellom avsender og mottaker. Når mottakeren bruker flere satellitter, kan den bruke avstanden til å regne ut hvor på kloden den befinner seg. Den skiftende variasjonen i atmosfæren kan påvirke hastigheten på GPS signalet og da vil de tradisjonelle GNSS systemene ha en feilmargen på 1-10 meter med åpen himmel.

EUREF89 er den geodetiske referanserammen som blir brukt i Norge og andre europeiske land(Kartverket). EUREF89 UTM (Universal transversal mercator – projeksjon) ble innført som et offisielt datum og projeksjon i alle kommuner i Norge. Ved å bruke EUREF89 får plasseringer entydige koordinater. Derfor er dette grunnlaget for all kartlegging med geografiske informasjonssystem, landmåling, fysisk planlegging og prosjektering.



Figur 3 - Oversikt over UTM sonene sammenlignet med NTM sonene som dekker Norge(Goderstad, 2021)

Vertikal datum (Rød, 2020) er det offisielle høydesystemet som benyttes for Norge, Sverige og Finland. For å kunne angi en korrekt høyde for et punkt er det essensielt å ha en riktig høydereferansemodell. Det gamle høydesystemet NN1954 ble byttet ut med NN2000. NN2000 står for Normal Null. Figur 4 viser høydeendringer som følge av landhevning og skifte av nullnivå fra år 1994 til år 2000. Den tar også for seg store lokale forskjeller (Rød, 2020).



Figur 4 - Endring fra NN1954 til NN2000. Figuren viser til hvordan høyden har endret seg mellom høydesystemene(2021)

2.3 Regler rundt drone- flyvning og skanning

Droneskanning har en del regler som må følges både ved flyvning av drone og for bruken av dataen som blir samlet inn. Droneskanning har regler og anbefalinger som må følges ved innhenting av data. Droner som blir benyttet er utstyrt med kamera og kan samle inn personopplysninger. Det er viktig å kjenne til regelverket for dronebruk. Den som bruker dronen er ansvarlig for å holde seg informert om hvilke regler som til enhver tid gjelder. Datatilsynet (2018) har trukket frem noen anbefalinger. Noen av disse anbefalingene er listet under:

- **Minimer innsamling av informasjon:** Her skal kun nødvendig informasjon samles inn og informasjon som ikke trengs slettes.
- **Vær synlig når du bruker dronen:** Brukeren av dronen skal være synlig ved flyvning.

- **Ikke bruk bilder eller informasjon fra dronen til andre formål:** bildene/skannen skal kun bli benyttet til informasjonen den opprinnelig var samlet inn for.
- **Sørg for at informasjon du samler inn sikres på en tilstrekkelig måte:** bildene som har blitt samlet inn må lagres trygt og det er viktig med sikkerheten der en oppbevarer informasjonen etter flyving.
- **Ha klare avtaler:** Det er viktig at kunden (den som bestiller droneskanningen) vet om eier informasjonen og hvordan informasjonen skal behandles av de involverte partene.

Li og Liu (2019) trekker frem noen utfordringer knyttet til bruken av droner, som er listet opp i **Tabell 2**. Disse er knyttet til lokale regler rundt flyvning av droner. Det er ikke alltid det er enkelt å fly drone, for å utføre dette er det nødvendig med en profesjonell operatør. Det krever en profesjonell operatør for at dronen kan bli flydd trygt og at det ikke er en distraksjon for arbeiderne på byggeplassen.

Tabell 2: Utfordringer ved å benytte droner (Li & Liu, 2019)

Lokale regler	Regler rundt bruken av droneskanning kan variere fra område til område.
Profesjonell operatør	Det er behov at sertifiserte dronesjåfører benytter dronen. Navigering av droner kan være vanskelig hvis en ikke har trening på hva og hvor skanningene skal utføres.
Vær forhold	Drone flyvning er sterkt avhengig av hvordan vær tilstanden er for å kunne fly.
Distraksjoner	Drone flyvninger vil være distraherende for arbeidere på byggeplassen.
Batteri kapasitet	Droner har generelt dårlig batteri som krever at det planlegges godt om hva som skal utføres skanninger på.

2.4 Droneskanning på byggeplass

Droneskanning på byggeplass tar for seg hvordan droner blir benyttet til å utføre kontroller og hvordan en kan benytte det til å utføre skanninger. Tidligere har det blitt benyttet stikningsingeniør til å utføre kontroller av arbeidet på byggeplass.

Droner har blitt mer tilgjengelig for alle og utviklingen av teknologien har gjort det mulig å benytte dette til å utføre skanninger av byggeplasser. Ved store byggeprosesser vil det ofte være vanskelig å finne ut av hvor det har gått galt. Repeterende droneskanninger og gjennomgang av dataen gir muligheten for å finne avvik og hvor avviket har skjedd. Den gir også mulighet for bedre dokumentasjon, og datasamlingen kan bli benyttet til erfaringsoverføring til videre prosjekt. Droneskanninger gjør det mulig å ha bedre dokumentasjon av endring på byggeplass og raskere avstemming med underleverandører av utførelsen (Wingtra, 2018). Rask og repeterende skanning vil gi byggeplassen en komplett dokumentasjon gjennom byggeperiodens levetid.

Droneskanningen gir muligheten til at brukeren enkelt kan få et sanntids oversiktsbilde av prosjektet og hvordan det ser ut på dagen. Det gir muligheten til å spore arbeidsprosessen og ta nøyaktige valg basert på up-to-date data. Det er mulig å få oversikt over hva som har blitt utført og hva som må utføres. De nye dronesystemene vil gi anledning for overvåkning i sanntid og økt mulighet til øyeblikkelig evaluering, respons og planlegging. Dette gir produksjonen en ukentlig statusoppdatering mye raskere, enklere og rimeligere enn tradisjonelle måter. Den gir muligheten for å legge til rette for større og enklere informasjonsutveksling mellom relevante byggefirmaer. Droneskanning vil være til hjelp med effektiviteten og kommunikasjon.

Gjennom bruk av stikningsingeniør vil det være behov for flere timer med datainnsamling. I stedet for å bruke personell, tunge og dyre landmålings utstyr, så kan drone basert teknologi klare å produsere komplekse data med mindre kost og nøyaktighet. Droneskanningen vil gjøre det mulig å samle inn data kjapt og kjøre det gjennom droneskanningsprogrammer for å få ut punktskyer (Siebert & Teizer, 2014; Wingtra, 2018)

Droneskanning gir støtte for logistikk og forvaltning, og øker den generelle sikkerheten. Den vil også gi muligheten til å finne sikkerhetsbrudd som kan lede til tyveri osv. Siden dronen er liten og kan fly, gir den muligheten for å ferde i områder som anses til å være risikable for

personell. Li og Liu (2019) trekker frem hvordan enkle inspeksjoner kan bli utført av drone fremfor å sende ut en person for å utføre kontrollen. Dronen vil ta med seg flere punkter under skanningen. Kun ved en flyvning med dronen gis et komplett kart av byggeplassen med GPS posisjoner, i både 2D og 3D (Li & Liu, 2019; Wingtra, 2018).

Kim et al. (2020) trekker frem hvordan droneskanningen kan bli brukt for å kontrollere utførelsen på byggeplassen mot det modellerte underlaget. Denne artikkelen går detaljert inn på hvordan programmene fungerer og hvordan de kan gå frem for å finne avvik og kontrollere om det er innenfor toleransekravene.

Toleransekrav er intervallet for tillatt avvik i forhold til angitt lengde, retning eller form. Toleransekrav brukes til å bestemme grensen for hvor stor unøyaktighet som er akseptabel for en overflate/konstruksjon (Byggforsk, 2009). Forskriften trekker viktige punkter om strenge, ikke overholdte og optimale toleransenivå og hvordan man kan jobbe ut fra det. Forskriften nevner ikke overholdte- og strenge toleransekrav om hvordan det kan påvirke etterfølgende entrepriser. Den trekker også frem riktig og avveid toleransenivå som vil bidra til at summen av bygge- og kvalitetskostandene blir så liten som mulig. «Kvalitetskostnaden er summen av kostandene for feil forebyggende og kontrollerende virksomhet pluss feilkostnaden. Feilkostnaden er summen av kostnadene til å utbedre feil, vrakkostnad og verdiforringelse» (Byggforsk, 2009).

Kvalitetssikring er planlagte og systematiske aktiviteter som gjøres for å oppnå et produkt eller en tjeneste som vil oppfylle kravene til kvalitet (Trageton, 2022). Et kvalitetssystem er et middel som eksisterer for å etterleve uttalt politikk og oppnå fastsatte mål. Dette tar for seg alle aktiviteter og faser, som å fastlegge ansvar og myndigheter, og koordinere forskjellige aktiviteter. Dette er avhengig av dokumentasjon, registrering av resultater og revisjoner.

Kim et al. (2020) presenterer i sin konklusjon at droneskanningen tillater TE å enkelt spore prosjektfremdrift og identifisere nøyaktig status på når fremdriften ikke gikk som planlagt. Forfatteren trekker frem i sin forskning at droneskanning har vært en verifikasjon mot modell på hvor mye betong som har blitt benyttet og hvor mye det skulle ha vært i teorien. Droneskanningen i dette studiet viser hvordan det var mulig å få en «as-built» modell.

Zaychenko et al. (2018) går inn på måter droneskanningen vil være til hjelp i byggebransjen. De trekker frem både positive og negative aspekter ved bruken av dronen (Zaychenko et al., 2018):

Positive faktorer:

- Redusere kostnaden for bruken av stikningsingeniør
- Muligheten for å utføre skanninger i katastrofer
- Redusere kostnadene rundt resurser
- Raskere innsamling av data og høy kvalitet på data.

Negative faktorer:

- Det er viktig med planlegging av arbeider som dronen skal skanne
- Det er ingen to like byggeplasser og ulike forskjeller
- Må ha en god ide for hva som vil være nødvendig informasjon før det samles inn.
- Å utføre arbeidet i henhold til reglene rundt droneskanning.
- Ressurs som har sertifikat til å fly drone

2.5 BIM

Bygningsinformasjonsmodellering (BIM) er utvikling og bruk av dataprogramvare modell for å simulere bygging og drift av et anlegg. Den resulterende modellen er rik på data, objektorientert, intelligent og parametrisk digital representasjon av anlegget. Data og visninger av anlegget basert på ulike brukernes behov kan trekkes ut og analyseres for å generere informasjon som kan brukes til å ta beslutninger og forbedre prosessen med å levere anlegget. (Ernstrom et al., 2006)



Figur 5 – Illustrasjon for hva BIM kan benyttes til (Lodplanner, 2022)

2.5.1 Digital tvilling og defekt deteksjon

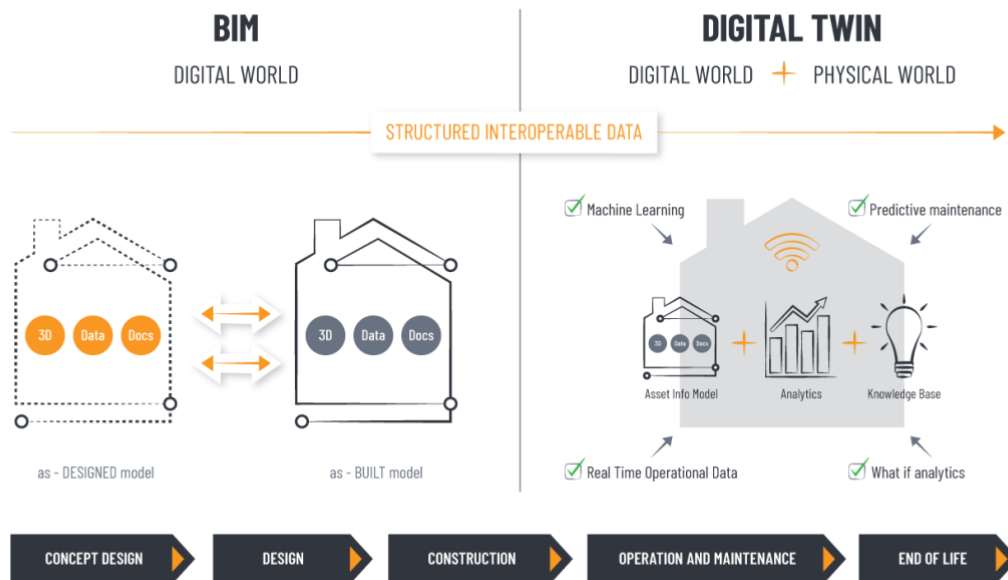
Digital tvilling er definert som en virtuell representasjon av en fysisk virkelighet gjort mulig gjennom data og simulatorer for sanntids beregninger, optimalisering, overvåking, kontroll og forbedret beslutningsstøtte (Rasheed et al., 2020).

Rasheed et al. (2020) trekker frem åtte punkter på hvordan man får verdi av å ha en digital tvilling av byggeplassen (Rasheed et al., 2020):

1. Sanntids fjernovervåking og kontroll
2. Større effektivitet og sikkerhet
3. Prediktivt vedlikehold og planlegging
4. Scenario og risikovurdering
5. Bedre intern drift og samarbeid
6. Mer effektivt og informert beslutningsstøttesystem
7. Bedre dokumentasjon og kommunikasjon

Den digitale tvillingen gir mulighet for å ta en visuell og effektiv måte for å inspisere og håndtere data med punktskyer, digitale bilder, termiske bilder og sensordata fra laser skannere,

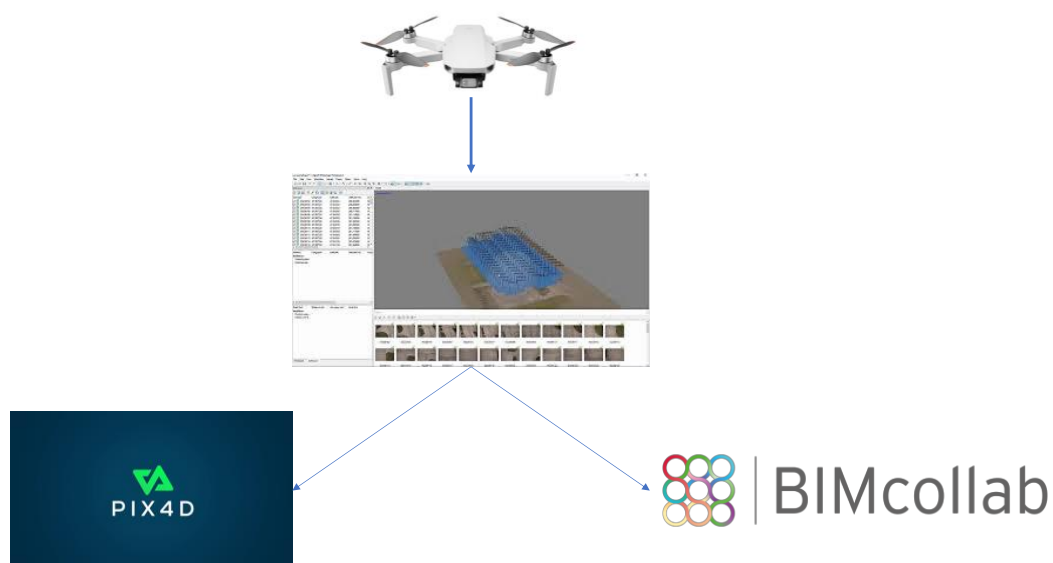
kameraer, termiske bildeenheter, sensorer og andre enheter. Den digitale tvillingen tillater de utførende å sammenligne den teoretiske modellen opp mot det skannede terrenget.



Figur 6 – Digital tvilling av et bygg. Den modellerte versjonen blir slått sammen med det som har blitt bygd og sammen blir det en digital tvilling av bygget (Merriman, 2018).

2.6 Programvarer som benyttes i oppgaven.

Figur 7 viser hvordan databehandlingen ved droneskanningen fungerer. Dronen kjører en skanning av byggeplassen. Bildene fra skanningen blir lastet opp i *Agisoft Metashape*. Her blir bildene behandlet og det blir dannet en punktsky og 3D- modell av skanningen som har blitt utført.



Figur 7 – Hvordan databehandlingsprosessen fungerer. Drone -> Agisoft Metashape -> BIMcollab Zoom/Pix4d.

Tabell 3: Programmer som benyttes i oppgaven

Navnet på programmet	Programmer
<i>Agisoft metashape</i>	<i>Agisoft metashape</i> er et program som tillater fotogrammetri behandling av digitale bilder og genererer romlig 3D-modell som gir GIS applikasjoner, kulturdokumentasjon og visuell effektproduksjon samt for indirekte målinger av objekter i ulike skalaer.
<i>BIMcollab zoom</i>	<i>BIMcollab zoom</i> tillater brukeren å slå sammen IFC modellen til rådgivere og sammenligne det mot droneskanninger som har blitt utført på byggeplasser. Programmet tillater brukeren å navigere gjennom modellen og sjekke kollisjonstesten. Kollisjonstesting blir gjerne brukt i en tidligfase av prosjektet for å kontrollere de ulike prosjekterende data og sjekke om det er noen kollisjoner som må regnes for. Om

	<p>det er noe avvik som eventuelt blir funnet, kan det bli løst allerede i prosjekteringsfasen.</p>
<i>Pix4D</i>	<p>Pix4D er et nettbasert program som tillater brukeren å gjennomgå fotogrammetri brukt gjennom droneskanningene.</p> <p><i>Pix4d</i> tillater brukeren å ha bedre kontroll over utførelsen av byggeplassen. Gjennom programmet kan brukeren hente ut volum og mengder fra utført arbeid. Dette gjør at brukeren kan sjekke hvor høyt terrenget skal være mot hva som faktisk har blitt utført.</p>

3 Metode

I metode kapittelet vil det bli gjennomgått hvordan problemstillingen ble funnet og hvordan relevant data ble samlet og analysert. Prosessen gjennom litteraturstudie og den kvalitative metoden blir også presentert. Det blir også gjennomgått hvordan man kan bruke programmene til å gjøre en analyse av droneskanningen.

3.1 Droneskann data

Ved starten av oppgaven var det en prosess å komme frem til et interessant tema og problemstilling. Her ble det gjennomgått flere temaer og problemstilling rundt hva som er interessant rundt BIM. HENT ble kontaktet for å undersøke hva som er interessant innenfor BIM hvor vi kom frem til interesse for hvordan droneskanning kan bli benyttet i bygg bransjen. HENT AS har benyttet droneskanninger til alle sine prosjekter og benytter det til å kvalitetssikre arbeidet som blir utført. I samarbeid med HENT ble det valgt ut to prosjekter med gode datamengder for å utføre kontroller.

Prosjektene som ble benyttet til oppgaven var følgende:

Nye Fjerdingby skole

Nye Fjerdingby skole bygges i Rælingen kommune. Dette er et BVP (Best Value procurement) prosjekt hvor Rælingen kommune har kontrahert HENT AS for å utføre byggeprosessen. Barneskolen skal ha plass til 790 elever hvor 20 er elever med spesielle behov. Arealet på 20 000Kvm rommer barneskolen og uteområder til skolen.

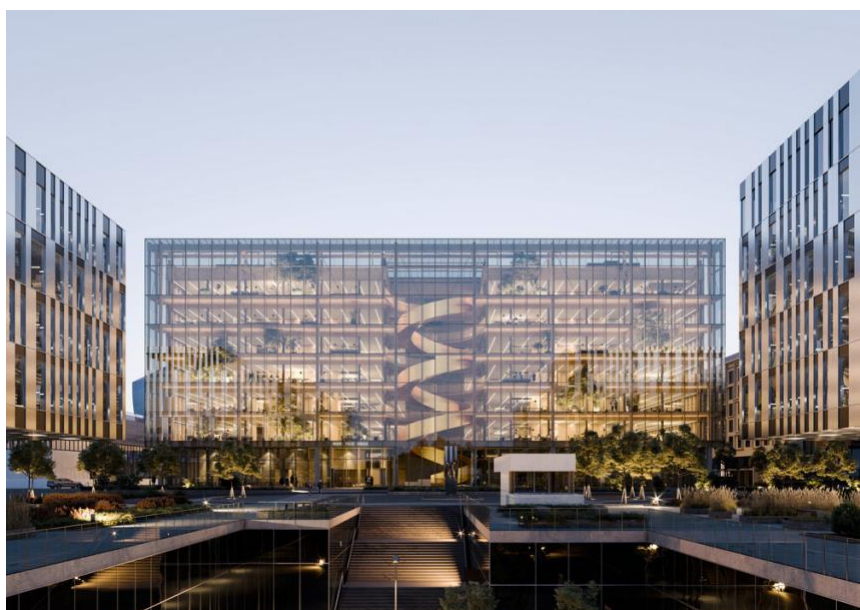


Figur 8 - Nye Fjerdingby Skole

Skolen bygges på en tomt hvor det tidligere har vært skog og fjell. Her har det blitt utført sprengningsarbeid og skogfelling for å klargjøre tomten for å utføre byggeprosessen.

Aker Tech House

Aker Tech house bygges på Fornebu i Bærum kommune. Prosjektet bygges rett ved Telenor arena. Dette er et kontor- og handselsbygg på 35 000kvm. Prosjektet har Aker solutions som byggherre og HENT AS som utbygger. Prosjektet er en totalentreprise. Prosjektet skal huse det ledende innovasjons- og teknologimiljøet Aker bygger opp innen IT og fornybar energi.



Figur 9 - Aker Tech House

Tabell 4: Oversikt over Case studie

Prosjekt	Nye Fjerdingby skole	Aker Tech Power house
BH	Rælingen kommune	Aker Solutions
Entrepriseform	Total Entreprenør	Total Entreprenør
Bruksområdet	Barneskole	Kontorbygg
Tidligere	Skog og fjell som har blitt sprengt ut for å bygge skolen.	Bygget blir bygget mellom Telenor arena og har tidligere vært en parkeringsplass.

3.2 Litteraturstudie og forskningsmetode

Tidlig i forskningen var det stor interesse om det var noe relevant av studie som hadde blitt utført tidligere. Her ble følgende søkemotorer og søkeord benyttet for å finne relevant litteratur:

Tabell 5: Søkeord og søkemotorer brukt under oppgaven

Søkeord	Søkemotorer
- Digitalisering av byggeplass	- Google scholar
- BIM drone	- Oria

<ul style="list-style-type: none"> - Droneskanning og BIM - Fotogrammetri - Kvalitetssikring - Programmene som ble benyttet - Toleransekrav - Digital tvilling 	<ul style="list-style-type: none"> - Brage - Google
--	---

Søkeordene ble benyttet på både norsk og engelsk. Det har vært tidligere forskninger med bruken av droner i forskjellige områder, men det ble ikke funnet noe som handlet direkte om å bruke droner til kvalitetssikring av utførelsen til grunnentreprenøren. Det som har vært relevant for oppgaven har blitt flettet inn i teori kapittelet.

Empirisk forskningsmetodikk går ut på at enhver forskning der konklusjonene av studien trekkes fra konkrete empiriske og «verifiserbare» beviser (Questionpro, 2022). Problemstillingens natur viser til at det er mest hensiktsmessig å benytte denne type metode. En casestudie er en empirisk undersøkelse som undersøker et moderne fenomen innenfor dets virkelige kontekst, spesielt når grensene mellom fenomen og kontakt ikke er tydelig. Casestudier er en måte å fokusere på å forklare, forstå, forstå og kontrollere forskningen som blir gjort (Woodside, 2010).

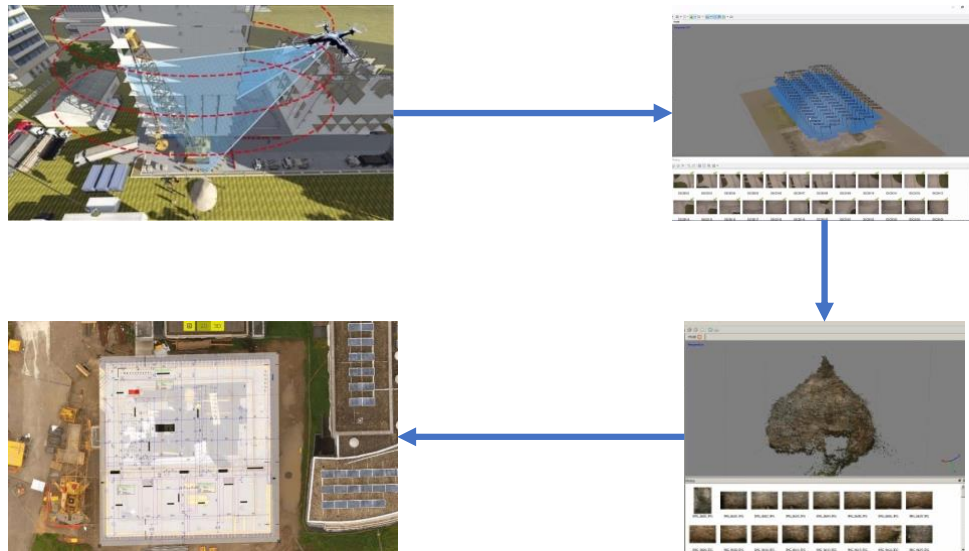
3.3 Dybdeintervjuer

Problemstilling ble funnet ved hjelp av å kontakte HENT AS. Her var Niklas Gisle, BIM koordinator i HENT AS, til stor hjelp for å lande problemstilling og benyttelsen av droner. I samarbeid med Niklas Gisle ble det utført droneskanninger, som er grunnlaget for oppgavens data. Det ble også utført et par dybdeintervju med andre relevante personer fra HENT AS.

Dybdeintervju går ut på at en person om gangen snakker om en forhåndsdefinert problemstilling. Dybdeintervjuer egner seg godt når det er ønskelig å gå inn i dybden på et bestemt tema. Denne metoden går ut på at det kun er to samtalepartnere for å bidra til å bryne synspunkter, åpne opp refleksjoner og identifisere sammenhenger (Lynne, 2022).

For denne oppgaven var det ikke skapt en intervjuguide. Niklas Gisle ble kontaktet for å hjelpe til med oppgaven, forklaringer, gjennomganger av programmene og hvordan det kan benyttes med droneskanning.

3.4 Data innhenting



Figur 10 – Prosess for gjennomgang av datainnhenting. Dronen flyr på byggeplassen, bildene lastes opp i Agisoft Metashape, 3D modell dannes fra bildene og det blir sammenlignet mot prosjektert grunnlag.

Prosessten for droneflyvning kan bli delt opp i fire steg. Disse er at dronen flyr på byggeplassen og bildene dronen tar blir lastet opp i Agisoft metashape. Programmet danner en 2D/3D modell, som brukes til å sammenligne med det teoretiske grunnlaget.

Dronen får en predefinert rute av hvor den skal fly. Her vil den bruke geo refererte punkter til å fly i det spesifikke området. Brukeren velger selv hvilke høyde dronen skal fly på og hvor mange bilder som skal bli tatt under flyvningen. Høyden er den som definerer hvor lenge dronen kommer til å fly. Batteriet vil bli påvirket av hvilken høyde dronen flyr på og antall bilder som blir tatt i den høyden. Alle bilder skal ha en viss andel overlapp av bilder. Her er det viktig å kalkulere hvor mye overlapp det skal være mellom bildene.

Bildene fra droneskanningen blir lagt inn i Agisoft metashape. Her blir bildene fra droneskanningen lastet opp for databehandling. Dette programmet tillater brukeren å gå

gjennom alle bildene og finne viktige kontrollpunkter. Etter å ha valgt ut noen kontrollpunkter er det mulig å få programmet til å kjøre en «gjenkjenningsfunksjon». Her vil programmet skanne alle bildene og finne kontrollpunktene i alle bildene. Dette gjør programmet istedenfor at brukeren skal gå gjennom alle bildene og finne samme kontrollpunkt. Her vil da alle bildene vise forslag på hvor kontrollpunktene er. Videre må brukeren gå gjennom relevante bilder og velge bort bilder som ikke vil ha noe funksjon.

Etter at bildene lastes inn i programmet, kan brukeren danne punktsky og 3D- modell fra bildene. Programmet danner et grunnlag for høyder og formen til det som har blitt utført skanning på. Etter at 3D- modellen har blitt dannet kan brukeren ta i bruk *Pix4d* eller *BIMcollab Zoom* for å sammenligne droneskanningen mot det prosjekterte grunnlaget.

Med bruk av *Pix4d* kan brukeren ta frem 2D tegninger og kjøre en sammenligningsprosess med et detaljert oversiktsbilde av prosjektet, hentet fra droneskanningen. Her kan prosjektorganisasjon bruke dette til å kontrollere plasseringer og hvor det har blitt utført arbeid.

BIMcollab Zoom og *Pix4d* tillater brukeren å koble opp modellen mot droneskanningen. Dette gjør det mulig å kontrollere avvikene fra faktisk utførelse opp mot det teoretiske grunnlaget. Gravplanen kan for eksempel bli lastet opp og koblet opp mot punktskyene fra droneskanningen.

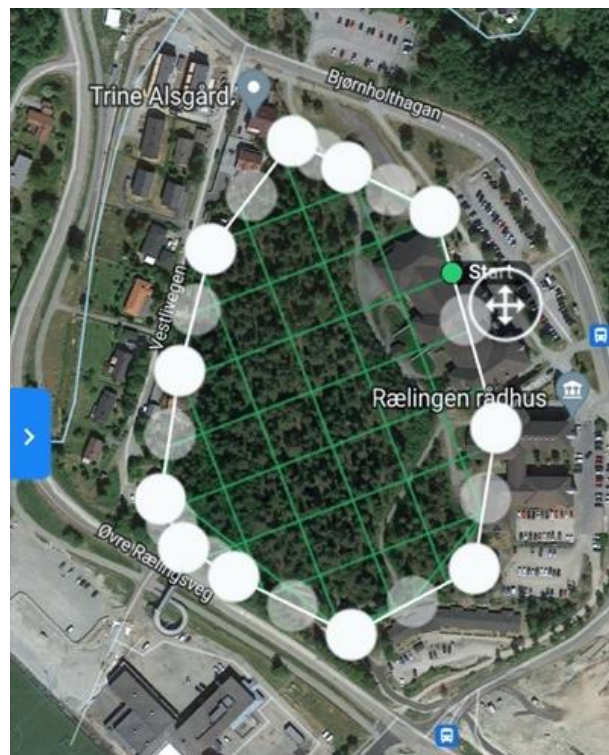
Gravplanen legger grunnlag for hvor grunnentreprenøren må ned i terrenget for plassering av for eksempel fundamenter og rør i bakken. Under gjennomgangen av skanningene kan man gå gjennom områdene hvor det har blitt utført graving.

4 Resultat

Case studiet av de to prosjektene har gode eksempler på fordeler og utfordringer ved å benytte droneskanning til kvalitetssikring av byggeplassen. Prosessen for analysen går fra droneskanning, til opplasting av bilder til ulike aspekter for kvalitetssikring. Droneskanning gjør det mulig å sammenligne høyder og terreng som har blitt endret, og sammenligning av punktskyer og IFC modeller.

4.1 Utførelse av droneskanningen

Dronen flyr i en predefinert rute når droneskanningen blir utført. På Figur 11 er det synlig hvilken rute dronen kommer til å fly. Nye Fjerdingby skole brukes for å vise hvordan droneskanningsprosessen blir utført. Droneflyvningen blir utført på dagen hvor det er godt med dagslys for at bildene som hentes inn har best kvalitet. TE velger hvilke områder som droneflygeren skal markere og så velger flygeren hvilken høyde dronen skal fly på for å ta best mulig bilder. Høyden og tidsperioden dronen skal fly på vil ha en påvirkning på hvor mange bilder som blir tatt.



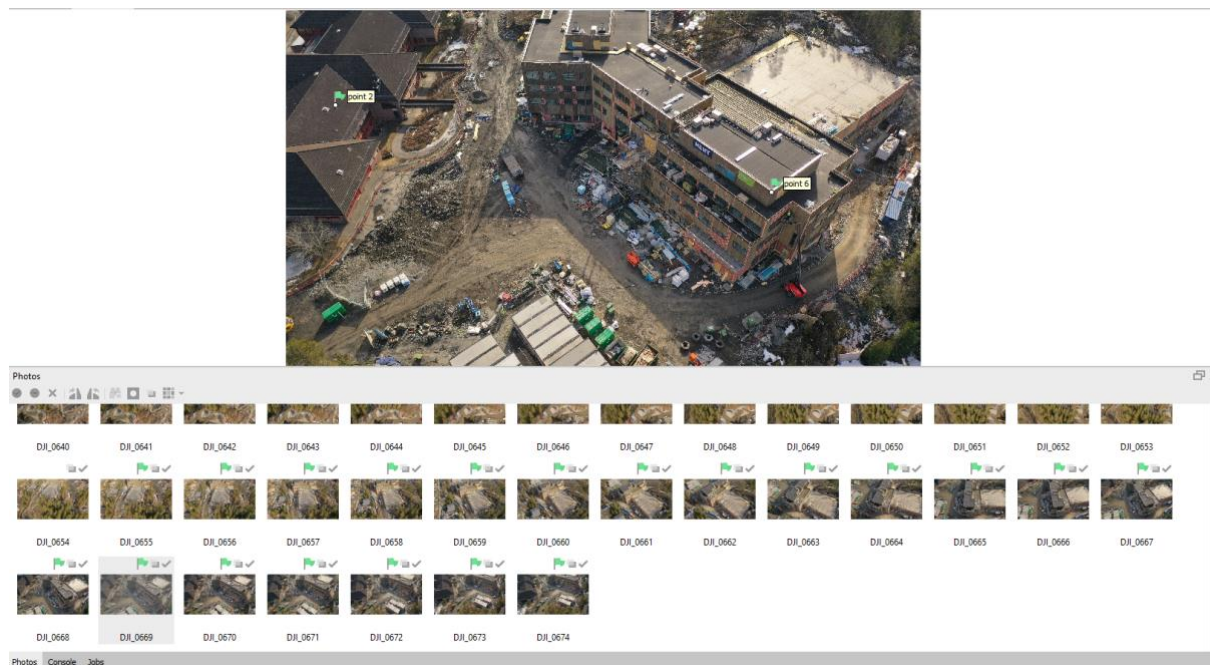
Figur 11 - Rute for droneflyvning. Bildet har blitt tatt med en Ipad som benyttes til GPS koordinering av dronen.



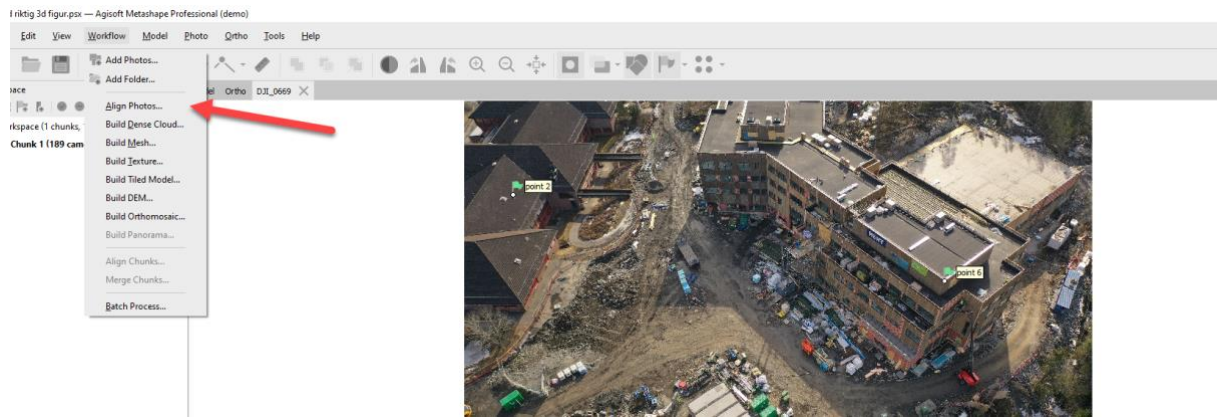
Figur 12 – Oversiktsbildet med kontrollpunkter. Hentet ut fra Agisoft Metashape

Figur 12 viser et oversiktsbilde av området som har blitt skannet og kontrollpunktene som har blitt brukt under skanningen.

Etter at dronen har flydd ruten, blir bildene lastet inn i *Agisoft Metashape* for databehandling. Bildene lastes inn og det blir tatt en gjennomgang av alle bildene fra droneskannen. Her blir noen få bilder valgt ut med kontrollpunkter, og 3-4 bilder per kontrollpunkt. Etter at bildene med kontrollpunktene har blitt valgt ut, kan *Agisoft Metashape* ta en skanning av alle bildene og finne de samme kontrollpunktene i andre bilder, se Figur 14. I Figur 13 er det mulig å se to kontrollpunkter valgt ut. Når programmet har samlet inn alle bilder vil den vise til alle bilder som har samme kontrollpunkter. Her vil brukeren ta en gjennomgang av bildene som har like kontrollpunkter og velge bilder som er nyttig for å lage punktskyene og 3D- modellen. Dette er en tidskrevende jobb for gjennomgangen av alle bildene for å sikre seg at alle bildene har blitt plassert riktig.

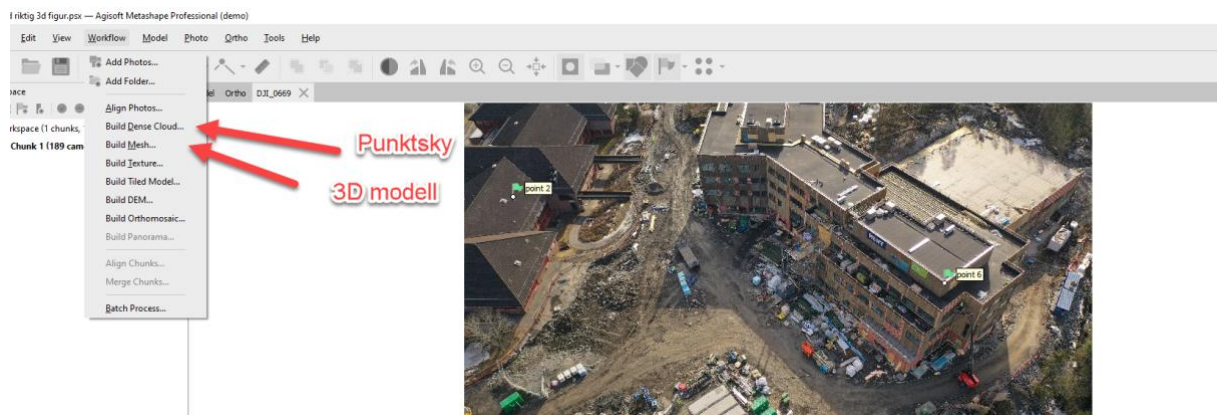


Figur 13 – Bilde skanning fra Agisoft Metashape

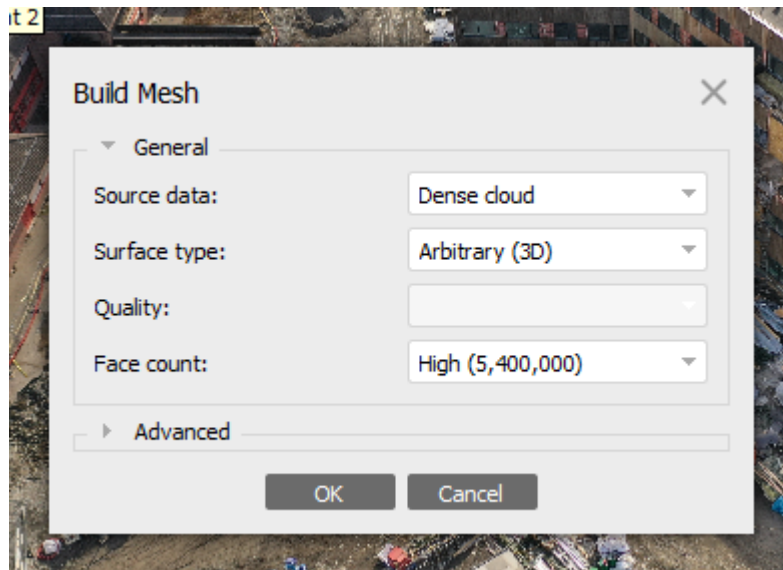


Figur 14 – Align photos menyvalg for å slå sammen bilder- Hentet fra Agisoft Metashape

Figur 13 viser hvordan det vil se ut etter at brukeren har tatt en gjennomgang og valgt ut alle bilder og knyttet til kontrollpunktene. Etter at kontrollpunktene har blitt valgt starter prosessen med å lage punktskyer og 3D- modell av prosjektet utfra bildene. *Agisoft Metashape* kjører et program som går gjennom bildene med kontrollpunkter og danner en 3D- modell ut fra det. Figur 16 viser hvilket detaljnivå som ble valgt for best mulig kvalitet på 3D- modell.



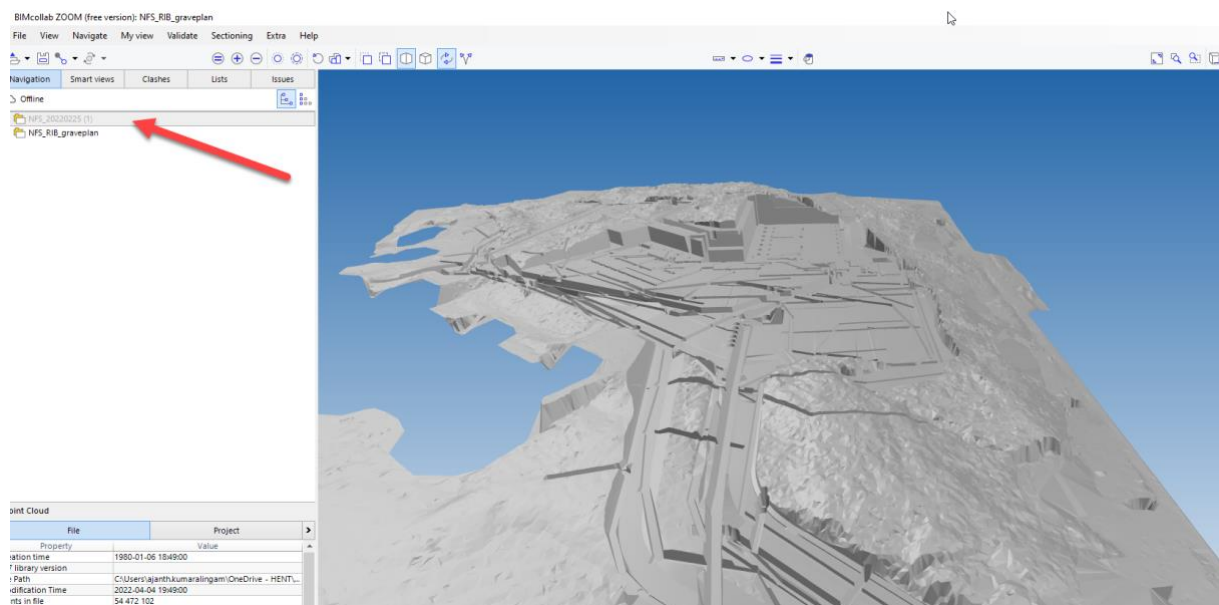
Figur 15 – Hvordan finne 3D- modell og punktsky funksjonen i Agisoft Metashape



Figur 16 – Innstillingen for å lage 3D modell i Agisoft Metashape

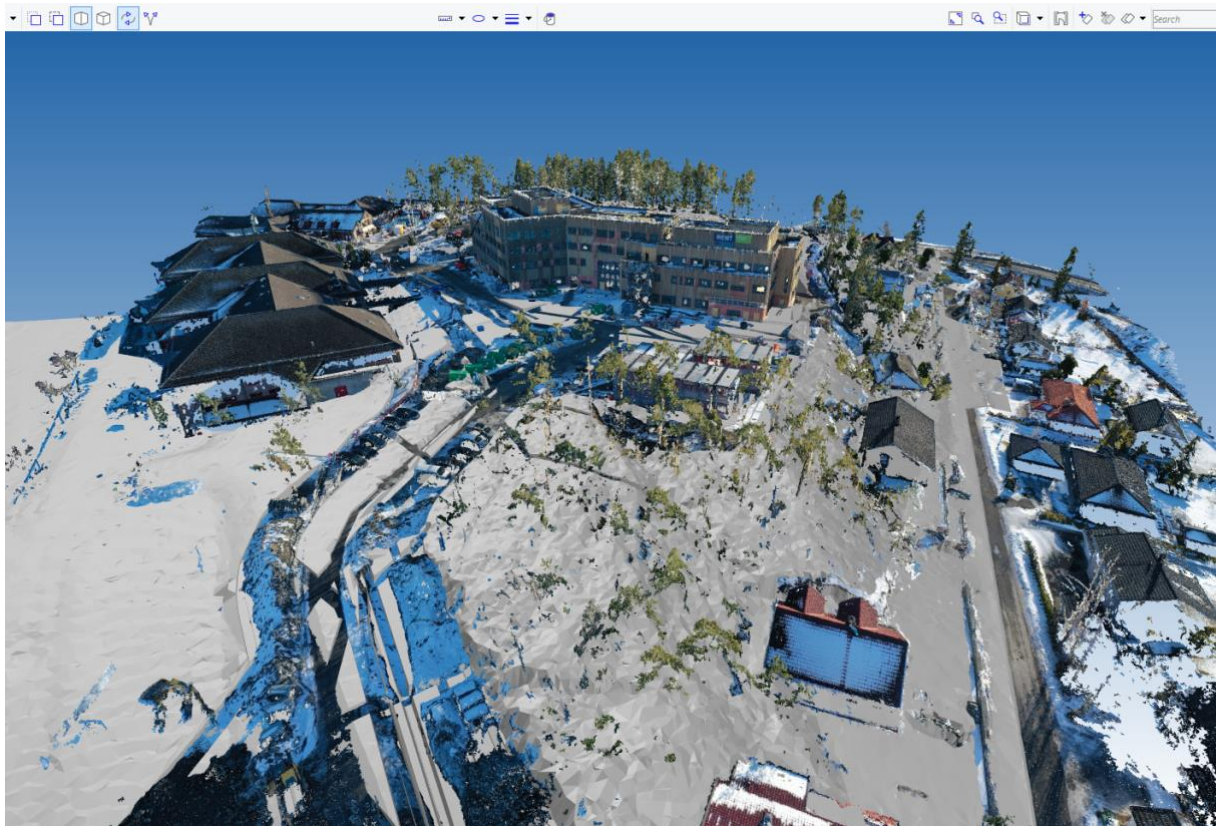
4.1.1 Gjennomgang av droneskanningen vs. Prosjektert underlag

Etter at droneskanningen har blitt gjort om til en 3D- modell og punktsky, er det mulig å sammenligne det opp mot det prosjekterte underlaget. Figur 17 viser frem graveplanen som blir brukt som grunnlag for grunnentreprenøren for utførelse av gravingen. Droneskanningen ble lastet inn i *BIMcollab Zoom* og sammenlignet mot graveplanen. Figur 17 viser hvordan droneskanningen blir visualisert i *BIMcollab Zoom*.



Figur 17 – Graveplanen visualisert i BIMcollab Zoom

Figur 18 viser hvordan arbeidsprosessen starter for gjennomgangen av underlaget. Etter at dette har blitt utført kan brukeren sammenligne 3D- modellen mot det prosjekterte underlaget. Her kan man finne eventuelle avvik som TE og grunnentreprenøren kan ta stilling til.

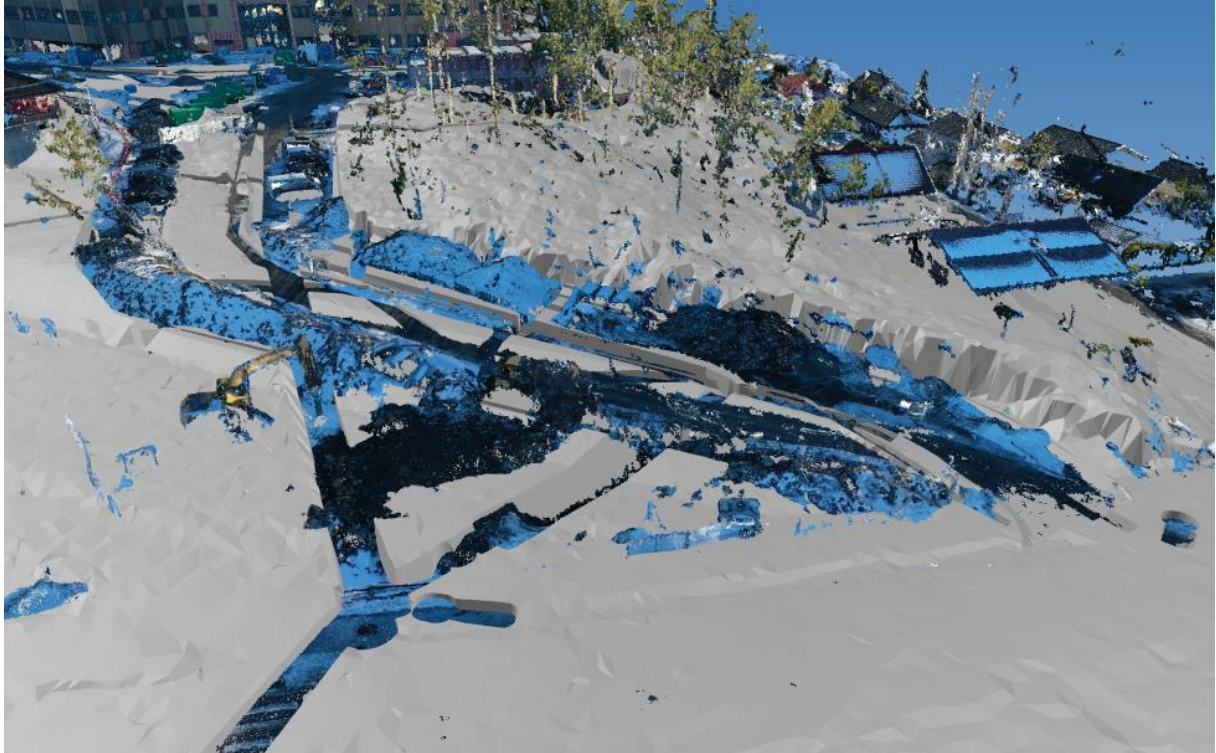


Figur 18 – Droneskanning lagt over graveplanen i BIMcollab Zoom

4.2 Kvalitetssikring

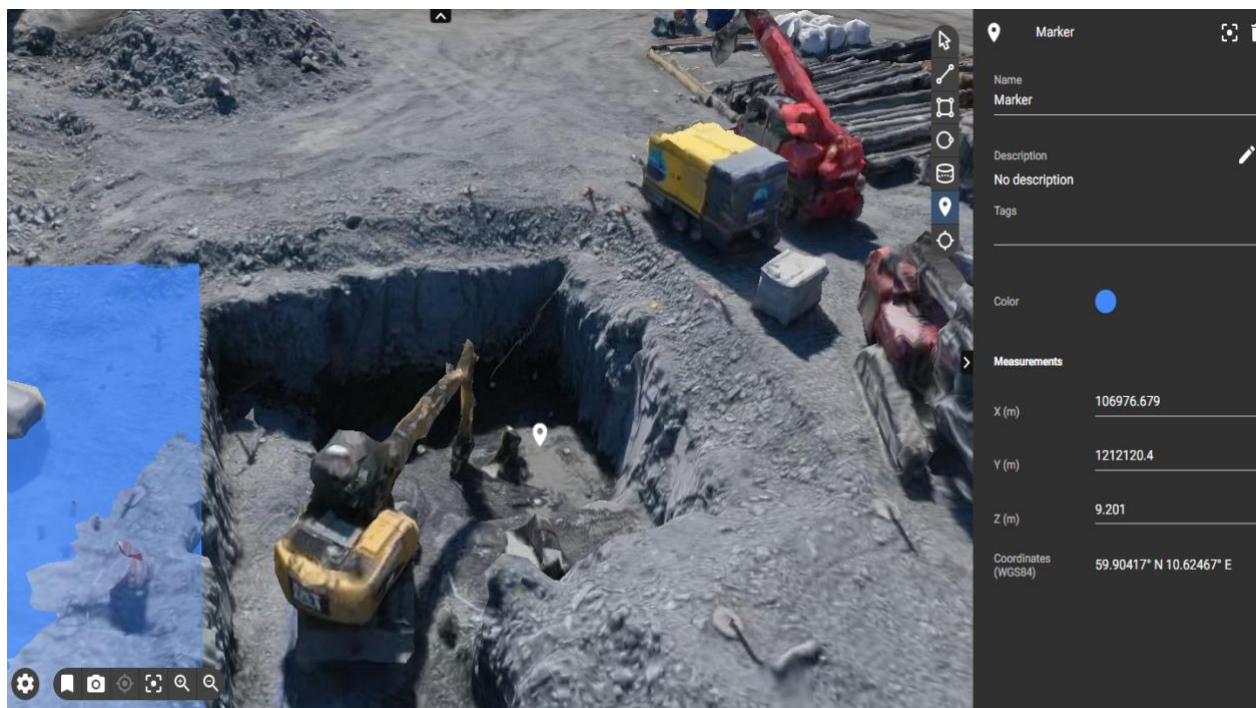
Kvalitetssikring tar for seg utførelsen visualisert gjennom droneskanningen mot det prosjekterte grunnlaget. Det ble viktig å sjekke hvordan man kan hente ut underlaget fra byggeplassen. Kapittel 4.1.1 tar frem hvordan dataen blir hentet frem. Under gjennomgang var det mulig å koble opp 3D- modellen mot tegningsunderlaget som har blitt prosjektert av rådgiverne. Figur 18 viser hvordan det ser ut når droneskanning og prosjektert underlaget har blitt lagt over hverandre. Ting som blir kontrollert er grøfter, fundament og overvannledninger.

Figur 19 viser hvor grunnentreprenøren har gravd ut og sammenligner mot prosjektert underlag. Det som er grått på figuren er graveplanen som stikker opp og det som kommer frem er jord/stein masser som er i veien, som må graves ut. Her kan entreprenøren utføre kontroll om hvor dypt graveren har gravd og sjekke det mot det teoretiske. Dette gir muligheten for å kontrollere høyden og bredden til grøfter som en del av kvalitetssikringen.

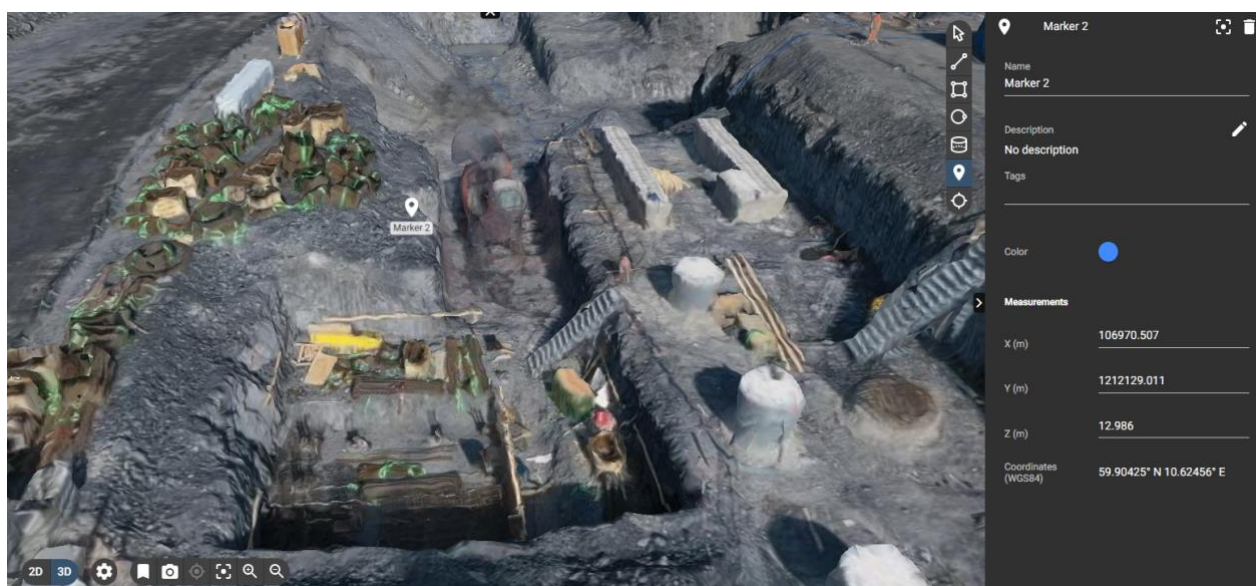


*Figur 19 – Området som har blitt gravd ut vs. Prosjektert underlag – hentet fra BIMcollab
Zoom*

Droneskanning gjør det mulig å sjekke hvilke høyder grøftene har blitt lagt på. På Aker Tech prosjektet blir *Pix4d* benyttet for å utføre kontroller. Figur 20 viser hvordan *Pix4d* blir benyttet for å kontrollere høyden på grøfter. På figuren er det ett hvitt punkt som markerer lokasjonen brukeren ønsker info om. Da vil programmet regnet ut X, Y og Z koordinatene til punktet. X og Y aksene vil fortelle om hvilke posisjon punktet er på, og Z aksen markerer hvilken høyde punktet er på i forhold til satt nullnivå. Figur 20 og Figur 21 viser hvor stor forskjellen er før og etter graving. Siden området var på samme område og samme høydenivå før graving, så kan punktene bli brukt for å finne ut hvor mye masse som har blitt hentet ut.



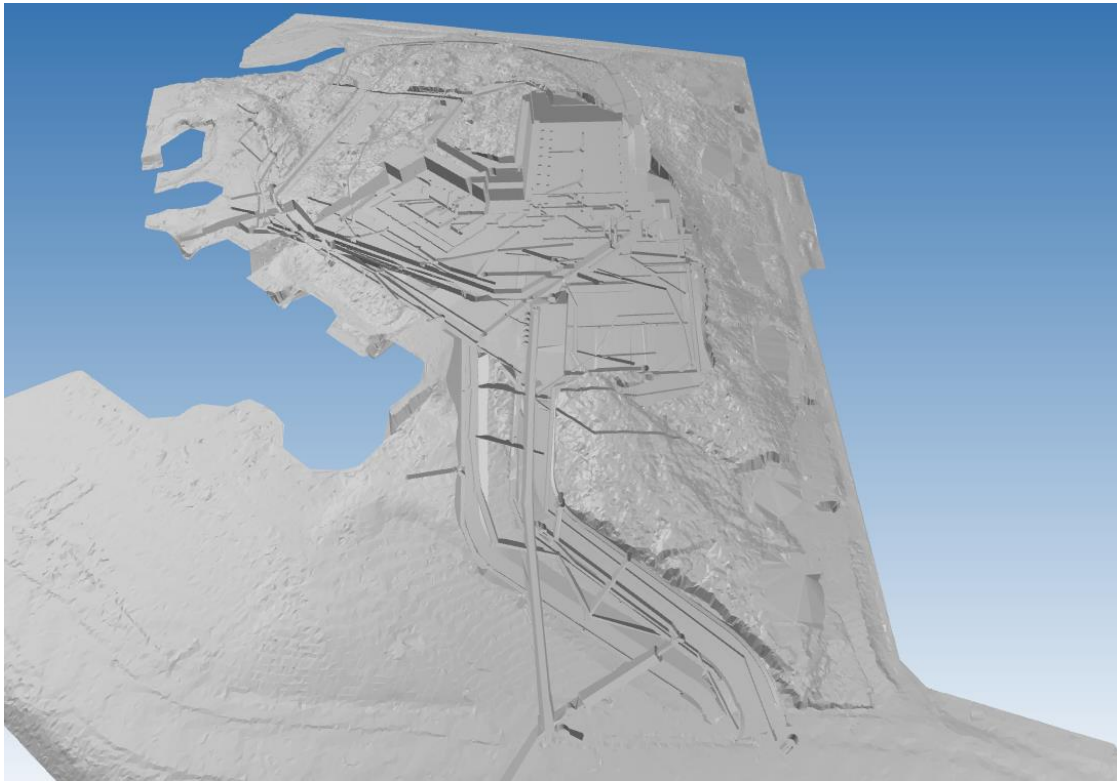
Figur 20 – Grøfter AkerTech- hentet fra Pix4d. Til høyde på figuren vises det X, Y og Z aksen til punktet.



Figur 21 – Hvor mye graveren har gravd ut på Aker Tech– Hentet fra Pix4d. Til høyde på figuren viser det X, Y og Z aksen til punktet

Brukeren kan laste inn IFC modellen til graveplanen, dette er samme graveplan som graveren har i sitt GPS-system for driften på byggeplassen. Dermed var det mulig å kontrollere at vannledninger for eksempel har blitt plassert i henhold til graveplanen. På Figur 22 er det mulig å se hvor grøftene og vannledninger kommer til å bli plassert. Brukeren får kontrollert om

grøftene blir riktig plassert og om det er plassert i riktig høyde. Det prosjekterte underlaget blir kontrollert imot det som er faktisk utført.



Figur 22 – Graveplanen til grunnentreprenøren – Hentet fra BIMcollab Zoom Nye Fjerdingby Skole

4.2.1 Kontroll av utført arbeid mot tegning

Mellom skanninger blir det viktig å kunne se hvordan ting har endret seg i tidsperioden fra skanning til skanning, med et bestemt tidsintervall mellom droneskanningene. I **Error! Reference source not found.** er det mulig å se hvordan terrenget var før utgraving. I Figur 23 er det mulig å se rørene som har blitt plassert ned i grøften som har blitt gravd ut. I **Error! Reference source not found.** er det mulig å se at modellen «kolliderer» med rørene som har blitt lagt ned, og dette er fordi graveren har gravd ned dypere for å forsikre seg at de ligger godt under.



Figur 24 - Terreng før graving – Hentet fra BIMcollab Zoom



Figur 23 - Terreng etter graving og plassering av overvannsledning – Hentet fra BIMcollab Zoom

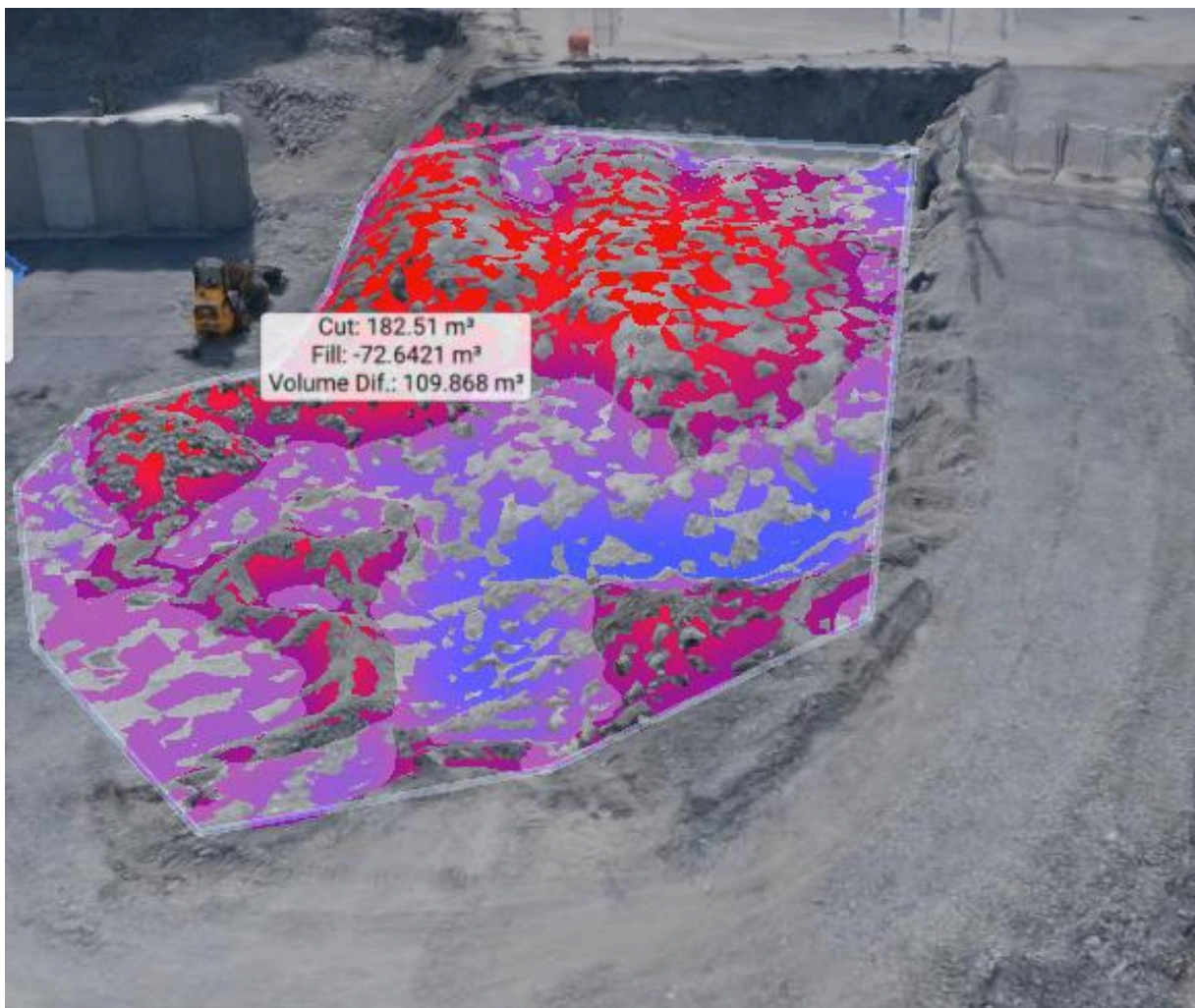
Før perlene ble boret ned var det en stikningsingeniør som markerte hvor det skulle bores, se Figur 25. Droneskanningen kan gi en dobbel kvalitetssikring på at det har blitt plassert riktig. På bildet under har arbeidstegningen for perle plasseringen blitt lagt over droneskanningen. Den tynne røde linjen viser hvordan perlene må bli plassert. Ut i fra bildet kan brukeren se at perlene har blitt plassert i henhold til tiltenkt plassering og kan dermed kontrollere utførelsen.



Figur 25 – Perle plassering – Hentet fra Pix4d

4.3 Fremdrift

Droneskanning åpner opp muligheten for å legge fremdriftsplaner for grunnentreprenøren. Med droneskanning er det mulig å hente ut mengder som grunnentreprenøren har gravd ut. Figur 26 viser hvordan droneskanning gjør det mulig å hente ut volum av mengder. Ved å gjøre dette har TE muligheten til å hente ut hvor mye mengder som skal bli hentet ut, og estimere hvor lang tid det vil ta for å utføre arbeidet. Figur 26 viser hvordan brukeren kan markere ut området til volum som hentes ut. Figur 26 viser forskjellige farger på området. Høyeste punktet vil være rødt og laveste vil være blått. Det er nyanser for høyder imellom høyeste og laveste punkt. Fargene representerer hvor mye som må bli gravd ut og rødt er områder hvor det må fjernes mest.



Figur 26 – Mengder som skal graves ut. – Hentet fra Pix4d

Figur 19 viser hvor mye som har blitt gravd ut mot det modellerte underlaget. Dette gjør det igjen mulig for TE å planlegge driften for hvordan graveren kan fortsette arbeidet sitt videre. Videre kan man estimere hvordan graveren jobber og sette opp en realistisk fremdrift for

graveren. Figur 19 og Figur 26 viser hvordan en kan sjekke hvor lang tid som er estimert for at arbeidet skal bli gjort og gir TE muligheten til å kontrollere hvor lang tid det tar i realiteten.

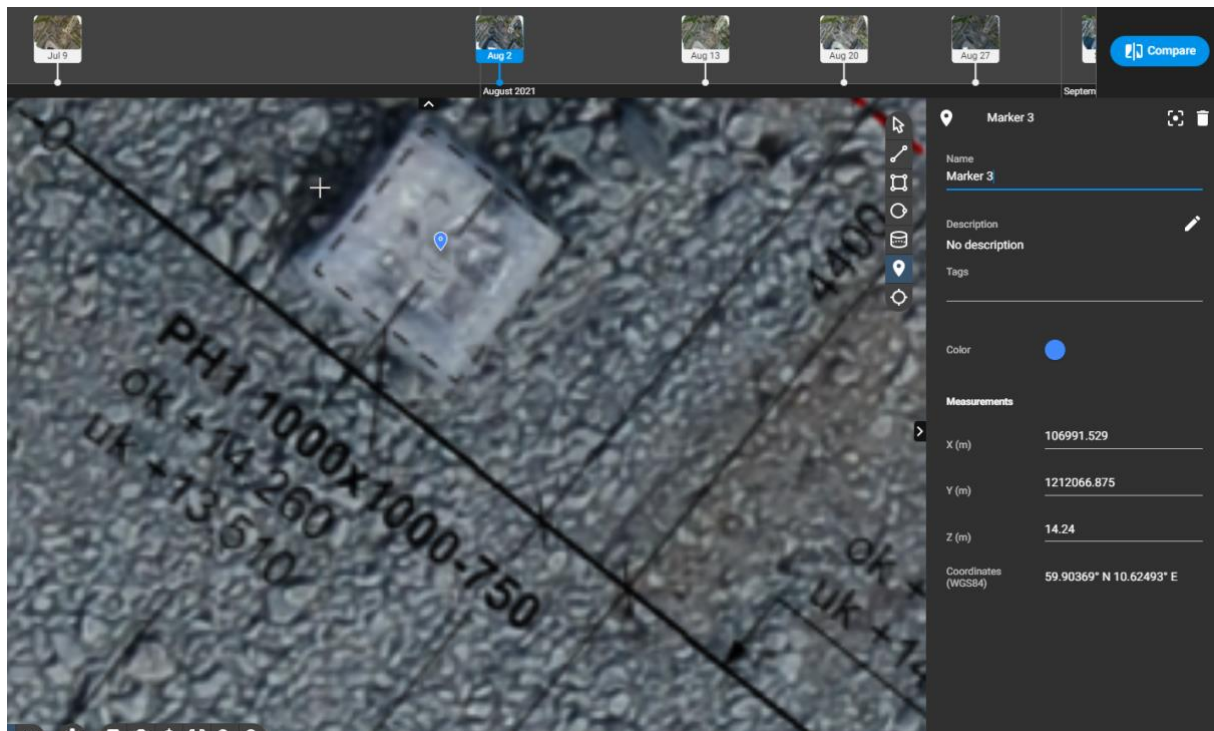
4.4 Avvikshåndtering

Droneskanning vil være til hjelp for kvalitetssikring, men det er også viktig å se på hvordan avvikene blir håndtert. Det er ikke alltid graveren kan følge gravplanen til punkt og prikke. På grunn av dette er det viktig at det kan dokumenteres hvordan det faktisk har blitt utført. På Figur 27 er det mulig å se hvordan rørene har blitt lagt imot hvordan det har blitt prosjektert til å være for NFS prosjektet. Graveren har gjort en tilpasning i dette området som kommer frem i modellen. Dette vil være en sak for grunnentreprenøren siden rørene har blitt plassert forskjellig fra original tiltenkt plassering. Her vil droneskanningen hjelpe med å legge det mot graveplanen og sjekke hvordan videre drift på plassen vil være og sjekke om noen rør kolliderer med noe annet som skal komme i bakken. Dette er fordi grunnentreprenøren må gjøre tilpasninger i grunnen for at det logisk blir bedre på byggeplassen og utførelsen går lettest frem. Her kan droneskanningen hjelpe til med å lage et grunnlag for de utførende over hvor det kan være behov for enkel løsning.



Figur 27 -Rør plassert annerledes fra originalt tiltenkt plassering – Hentet fra Nye Fjerdingby skole BIMcollab Zoom

I gjennomgangen av skanningen fra Aker Tech er det mulig å sette inn tegninger av for eksempel fundamenter og kontrollere det imot faktisk utført produksjon. Her ser man om det er noe avvik. Figur 28 viser at det er avvik fra original tiltenkt plassering av fundamentet og hvor det faktisk er plassert. Man kan se i Z-aksen at høyden er plassert på 14,24m og Figur 28 refererer til at fundamentet skulle vært plassert i 14,26m. Her kan brukeren se et avvik på 4cm. Her må man kontrollere om det er innenfor toleransekravene, som er satt av prosjekterende, for videre drift.



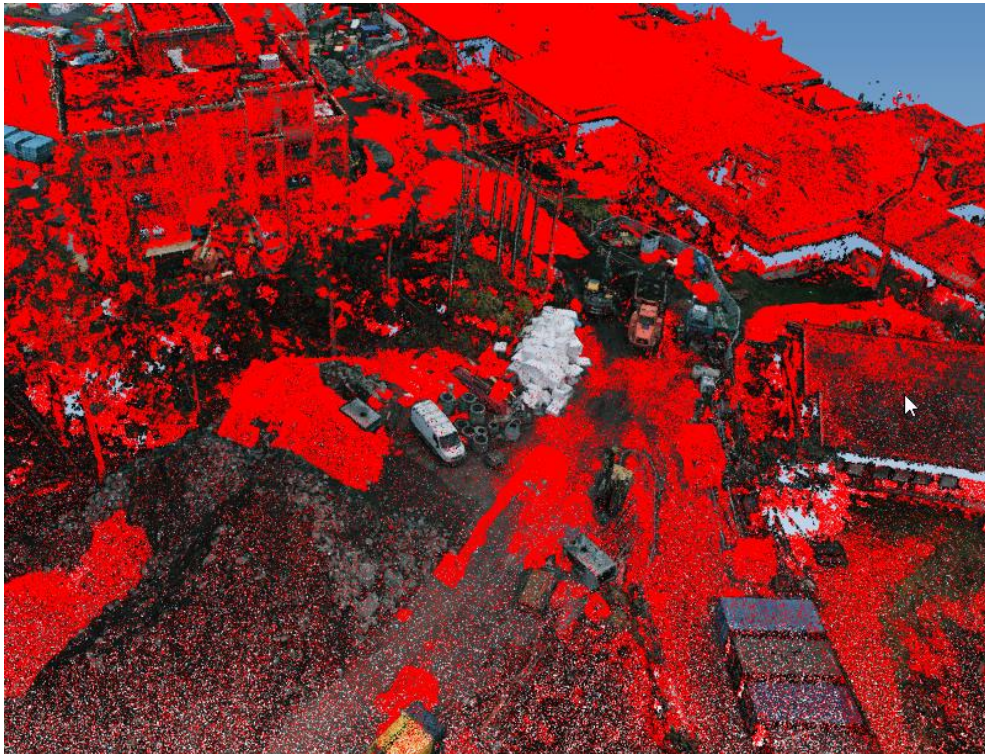
Figur 28 – Plassering av fundament Aker Tech – Hentet fra Pix4d

4.5 utfordringer ved droneskanning

Selv om det ble brukt ulike programmer for databehandlingen hos de ulike prosjektene er mange av hovedfunnene det samme. Det sentrer seg rundt støy i bakgrunnen og nøyaktighet ved droneskann.

4.5.1 Støy i bakgrunnen

Det er mulig å legge sammen to punktskyer for å kontrollere hvordan driften har kommet frem i perioden mellom droneskanningene. Dette steget gir et bilde av fremgangen på byggeplassen. På den tiden kan det være noen grøfter som har blitt gravd igjen eller at det er materialer i veien. På bildet under er det mulig å se to punktskyer som er slått sammen.



*Figur 29 – Støy i bakgrunnen i droneskanninger. Det røde representerer eldre skanning –
Hentet fra BIMcollab Zoom*

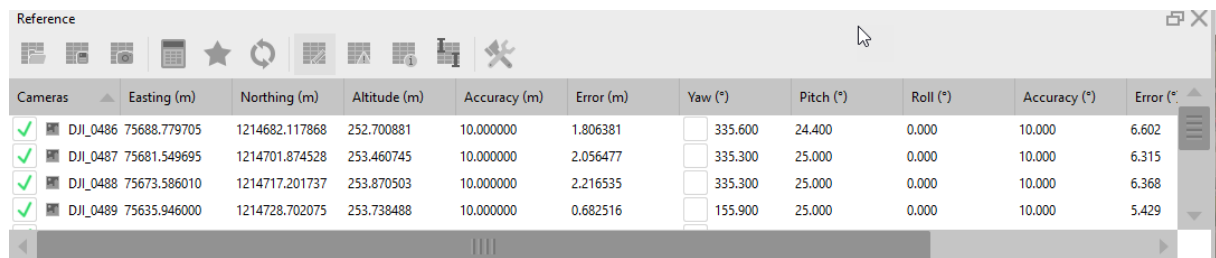
I Figur 29 er det mulig å se to droneskanninger over hverandre. Det røde som er på modellen, er fra den eldre skanningen sammenlignet opp mot den siste versjonen. Som vist på modellen er det en del forstyrrelser i veien. Dette gjelder gravemaskiner, lagringsområdet av materiale og biler som kjører inne på anlegget. Det kommer frem en del ting som virker som forstyrrelser på skanningen. Med forstyrrelser menes det utstyr eller gjenstander som kommer i veien for skanningen og som dekker til områder som skal kontrolleres.

4.5.2 Nøyaktigheten ved droneskanningen

Ved prosessen hvor grunnlaget for droneskanningen ble gjennomgått var det en del manuelt arbeid som ble utført for å plassere kontrollpunkter. Dette måtte gjøres i flere runder for å automatisere prosessen.

Uansett hvilken type skanning som blir benyttet vil det alltid være et avvikstall oppgitt i meter. Dette er avhengig av hvor nøyaktig man er med å sette ut markører på kontrollpunktene, se Figur 12. Kolonne «Accuracy» i Figur 30 viser hva avviket er på de ulike punktene. Programmet bruker bildene til å dokumentere og referere til punkter som blir lagt inn av

brukeren. Som tidligere nevnt er disse punktene plassert av brukeren. Dronen bruker sitt interne system for å gi bildene posisjon når de blir valgt.



Cameras	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Yaw (°)	Pitch (°)	Roll (°)	Accuracy (°)	Error (°)
✓ DJI_0486	75688.779705	1214682.117868	252.700881	10.000000	1.806381	<input type="checkbox"/> 335.600	24.400	0.000	10.000	6.602
✓ DJI_0487	75681.549695	1214701.874528	253.460745	10.000000	2.056477	<input type="checkbox"/> 335.300	25.000	0.000	10.000	6.315
✓ DJI_0488	75673.586010	1214717.201737	253.870503	10.000000	2.216535	<input type="checkbox"/> 335.300	25.000	0.000	10.000	6.368
✓ DJI_0489	75635.946000	1214728.702075	253.738488	10.000000	0.682516	<input type="checkbox"/> 155.900	25.000	0.000	10.000	5.429

Figur 30 – Unøyaktigheter ved skanning vist i kolonne «Accuracy» – Hentet fra Agisoft Metashape

4.5.3 Tidspersiden hvor droneskanningen ikke vil være til hjelp

Det er interessant å se hvor lenge det vil være gunstig å utføre skanninger av byggeplasser. Da ble det tenkt på i hvilken tidsperiode droneskanning ikke vil være til behov for å bli utført. Det er verdifull data som blir samlet inn, men samtidig er det tidskrevende arbeid. Ved spørsmålene til Niklas Gisle ble dette spørsmålet spurt. Svaret som kom frem:

«Jeg vil si at droneskanningen mister verdi i mellomfasen mellom utgraving av tomt og utomhusarbeidene. Dette er fordi det er forskjell på mm nivå i utførelsen og overgangen fra graving til plasseringer av utstyr vil ikke være på graveplaner osv. Det er mulig å bruke den til kontroll av bygningskropp opp mot prosjekterte bygg, men er ikke like bra egnet. Den har absolutt verdi for utomhus arbeider»

Noe som ble vurdert i en tidlig fase av prosjektet er hvordan droneskanning vil være til hjelp med montasje av prefabrikkerte elementer. Her kommenterte Niklas Gisle dette:

«Det er mulig å benytte droneskanningen til å kontrollere plasseringen til de prefabrikkerte elementene, men nøyaktigheten vil ikke være på mm nivå».

5 Diskusjon

Stor del av droneskann av byggeplass er uthenting av data for analyse og kvalitetssikring av utførelse. Dataen som blir hentet ut fra droneskannen er til nytte for sammenligning mot det prosjekterte underlaget. Dataen vil være en digital tvilling av byggeplassen som viser hvordan byggeplassen er realistisk. Både 2D- og 3D- modeller vil være til nytte for å utføre kvalitetssikring, fremdriftsstyring og avvikshåndtering.

Kvalitetssikringsprosessen går ut på å sammenligne droneskanningen mot det prosjekterte underlaget. Her kan TE sjekke om byggingen har blitt utført som prosjektert. Modellen fra droneskanningen vil kunne bli slått sammen med det prosjekterte underlaget og brukeren kan utføre kontrollen.

Droneskanning vil også være til nytte for å lage en fremdriftsplan på hvordan utførelsen vil være for grunnentreprenøren. Verktøyet vil tillate totalentreprenøren (TE) å lage en fremdriftsplan for grunnentreprenøren.

Gjennom droneskann blir det mulig å ta en avvikskontroll av utførelsen og eventuelt finne tiltak som må gjøres for utbedringer. Totalentreprenøren får muligheten til å vurdere om avviket vil ha konsekvenser eller om det er innenfor toleransekravet til utførende.

Kritiske faktorer ved droneskanning er værforhold, regler rundt droneskanning og støy på byggeplass. I overgangen mellom grunnentreprenørens ferdigstillelse og utomhus arbeidernes oppstart vil det være lite nytte med droneskanning av byggeplassen.

5.1 Kvalitetssikring

Resultatene presentert i det forrige kapittelet viser frem hvordan droneskanningen kan bli benyttet til å kvalitetssikre utførelsen til grunnentreprenøren. I Figur 12 kommer det frem et ferdig produkt etter at skanningen har blitt utført. Droneskanningen viser hvor mye data som har blitt hentet ut. Wingtra (2018) trekker frem at med droneskanning så trenger man ikke å være bekymret for at det har blitt glemt å måle inn et punkt fra skanningen. Punktskyene som har blitt hentet ut i Figur 19 viser i detaljnivå det som har blitt hentet ut av droneskanningene. Her trenger brukeren kun å velge området som skal bli målt, og hente ut den dataen som skulle være ønskelig. Hvis man skulle ha sett på hvordan det hadde vært å hente ut samme data ved

bruk av stikningsingeniør, hadde det tatt mer tid og kostnadene hadde vært høyere for bruken av stikningsingeniør. Droneskanning vil være mer effektivt og økonomisk sammenlignet med bruken av stikningsingeniør, da dronen samler data ved å fly over områder og behandler den dataen på datamaskinen for så å hente ut punktdetaljene. Punktskyen vil ta for seg flere punkter og gir TE flere punkter som kan kontrolleres enn kun et bestemt punkt som TE ville ha kontrollert.

Siebert og Teizer (2014) trekker frem at droneskanning er kost effektivt og tidsbesparende for innhenting av data. Dette vil gi en trygghet i at dataen alltid vil være tilgjengelig for uthenting og det kan brukes i flere omganger. Det vil si at brukeren vil få mer informasjon enn bare det som var originalt tiltenkt ved skann. Stikkeren måler ut spesifikke punkter og dataen samles inn derifra, mens data fra droneskann vil ta et større område og nødvendig informasjon fra det. Dette åpner opp for muligheten til å hente ut mengder og sammenligningen av 3D- modellen mot det teoretiske underlaget.

Modellen blir laget sammen med punktskyene fra droneskann fra byggeplassen. 3D- modellen av den utvendige skann gjør det mulig for brukeren å se forskjellen mellom 3D- modellen og det prosjekterte underlaget. Dette gjør det mulig å se etter avvik. På Figur 23 - **Terreng før graving** – Hentet fra BIMcollab Zoomog Figur 24 kan man se hvordan terrenget har endret seg i løpet av droneskanningene. På figurene er det mulig å se når graveplanen blir slått sammen med punktskyene som har blitt skannet inn. Dette gjør det mulig for TE å kontrollere at utførelsen er riktig ifølge droneskanningen.

I likhet med at modellen kan bli slått sammen med punktskyene vil det være en digital tvilling av prosjektet. Dette vil være et grunnlag som kan bli benyttet av de prosjekterende. Det gir en muligheten for at rådgivere faktisk kan se hvordan ting er på byggeplass og kan gjøre endringer hvis det er noe særskilte ting som må tas opp. Under særskilte saker vil det være mulig å utføre egne droneskanninger på hvordan det er på byggeplassen og det kan være lettere å finne løsninger basert på hvordan situasjonen er på plassen. Den digitale tvillingen vil være prosjekteringsunderlag for rådgivere når de skal ta nye vurderinger. Dette kan gjøre det lettere for utførende å gjøre tilpasninger for å sørge for at prosjekterings saken blir planlagt basert på byggeplass situasjonen.

3D- modell sammenligning er ikke den eneste måten droneskanning har blitt brukt til å kvalitetssikring. I Aker Tech, som benytter *Pix4d*, finnes muligheten for å ta et oversiktsbilde og sammenligne det mot tegninger av fundamenter og grøfter. I Figur 25 er det mulig å se plasseringer av perler og kontrollere det. Her kan man se om perlene er riktig plassert. Det samme gjelder i Figur 28 som viser plasseringen av et fundament. Akkurat som 3D- modell sammenligning vil denne versjonen med 2D- modell sammenligning gi gode muligheter for å ta en hyppig kontroll av utførelsen. Droneskanningen vil være en rask kontroll å utføre kvalitetssikring på og få en status oppdatering med UE.

Både gjennom bruken av *Agisoft Metashape* og *Pix4d* har brukeren muligheten til å finne ut av høyder materialer har blitt plassert på. Gjennom programmene fremkommer det hvor mye grunnentreprenøren har gravd ut og hvor dypt de ulike grøftene går. Ved å kunne sammenligne høyder før og etter graving er det mulig å finne ut hvor dypt graveren har gravd og hvor mye masser som har blitt hentet ut i forhold til hva som var planlagt. I Figur 20 og Figur 21 er det mulig å se hvordan høydene enkelt kan bli hentet ut.

Figur 27 viser hvordan graveren har lagt rør i grunnen. Dette er ikke likt med det som kommer frem i den prosjekterte modellen. Graveren har gravd grøften annerledes enn det som var tiltenkt av prosjekterende. Her kan TE benytte droneskanningen til å kontrollere om det kommer noe konflikt med utførelsen og hvordan det eventuelt kan være i veien for fremtidig arbeid i dette området. Figur 27 viser droneskannen slått sammen med graveplanen og det er mulig å se om noe kolliderer. Hvis det skulle ha vært noe som kolliderer med rørene som har blitt lagt, vil det kreves at enten videre arbeid omprosjekteres eller at grunnentreprenøren går inn og fikser avviket. Figuren viser at det ikke var noe som kolliderte i dette området. Figur 27 er også et godt eksempel på hvordan droneskanning vil la brukeren oppdatere modellen på hvordan det har blitt utført og vil da få en «as- built» tegning.

Li og Liu (2019) og Zaychenko et al. (2018) trekker frem hvordan droneskanningen vil hjelpe med Helse, Miljø og Sikkerhet (HMS) på plassen. Her vil droneskanningen være en måte å kunne kontrollere områdene på, og være trygg på at det utføres på en trygg måte. Dette gir piloten muligheten til å være på avstand og utføre skanningen. En stikningsingeniør med GPS stav er avhengig av å kunne fysisk gå til plasseringer og utføre utmålinger. Ved noen områder vil det være vanskelig for en stikningsingeniør å komme frem, og droneskann vil det gjøre det

lettere å hente ut data fra området med flere punkter og mer detaljerte data, uten anstrengelse om å komme fram.

5.2 Fremdriftsstyring

Et essensielt punkt ved droneskanning er bruken av droneskanning til å styre fremdriften. Dette er spesielt viktig med tanke på produksjonen på plass og gir en aktiv oppdatering og muligheten til å hente ut relevant data. I Figur 26 er det mulig se hvordan dette vil være i praksis. Dette gir også mulighet til at dataen aktivt blir hentet ut. Kim et al. (2020) trekker frem hvordan dataen vil være up-to-date og gir dermed brukeren aktiv dokumentasjon av arbeidet på byggeplassen. Her vil det være viktig at det aktivt utføres droneskanninger på byggeplassen for å øke hvor mye data som vil være til nytte og for å ha en aktiv plattform med relevante data.

Ved å ta skanninger ofte blir det mulig å mengde ut hvor mye masser som må bli tatt ut og hva som blir i veien for videre drift for grunnentreprenøren. Her blir en viktig faktor at det blir mulig å utføre skanninger i de spesifikke områdene som er interessant å se på. Det er alltid en sannsynlighet for at det vil være materialer i veien som vil skape støy i bildene. Det kan være lagring, anleggsmaskiner og biler i veien som hindrer droneskanningen i å skanne de områdene. I Figur 29 er det mulig å se hvordan det vil være om det er gjenstander i veien for området som skannes. Dette fører som oftest til at det vil være forstyrrelser i skanningene, og dermed føre til at det ikke er mulig å hente ut data. På en byggeplass vil det alltid være trafikk og lagringsområder nødvendig for å få hverdagen til å gå opp. Li og Liu (2019) trekker frem at en drone som flyr rundt på byggeplassen vil være i veien eller forstyrrende for arbeidere. Noen ganger blir det nødvendig å utføre skanninger i lav høyde og det kan føre til å være en forstyrrelse for arbeiderne som er ute på plassen. En løsning kan være at droneskanningen utføres utenfor arbeidstid. Dette vil føre til mindre forstyrrelser fra maskiner som beveger seg rundt, men det vil fortsatt være materialer som blir lagret rundt og ting som vil være i veien for gode data. Dataen kan TE bruke til å planlegge områder som må gjøres klar med rydding osv. for at graveren kan holde driften. Med droneskanningen kan TE planlegge i samarbeid med grunnentreprenøren og måle opp masser av stein som skal bli fjernet og planlegge hvor lang tid arbeidet vil ta å utføre.

Kim et al. (2020) trekker frem droneskanningen tillater TE å enkelt spore prosjektfremdriften og se hva som er status på arbeidet, og finne ut av akkurat hvor fremdriften ikke gikk som planlagt. Da blir det mulig for TE og grunnentreprenøren å ta en kontroll på hvordan videre arbeid skal justeres slik at fremdriften ikke lider. TE kan justere fremdriftsplanen ut fra dette og få en oversikt over hvordan det kan fikses. Oversikten bidrar til hvilke aktører som må inn og hvilke som vil bli påvirket om grunnentreprenøren ikke holder fremdriften sin.

Ved fremdriftsplanlegging er det alltid viktig å vite om det er noen risikable momenter som vil komme frem i fremtidige aksjoner på byggeplassen. Når droneskann blir lagt opp mot det prosjekterte underlaget kan brukeren se hvor det vil være risikable momenter, som for eksempel dype grøfter som ikke benytter seg av kantsikringer.

5.3 Avvikshåndtering

Et annet formål med droneskanning er sammenligning mellom hva som er tiltenkt og hvordan det faktisk har blitt utført. I Figur 27 kommer det frem et avvik fra original tiltenkt grøft og rørene har blitt plassert annerledes enn det som var tiltenkt. Ved å bruke droneskanningen kan man sette det opp mot det prosjekterte underlaget. Her kan brukeren se om dette har noen konsekvenser som hindrer fremtidig arbeid i det området. Hvis rørene i Figur 27 har blitt plassert i veien for kummer eller noe annet som kommer, vil det føre til avvik fra tiltenkt kumplan. Dette vil kreve at grunnentreprenøren må utføre noen tiltak for å sørge for at utførelsen ikke går imot tiltenkt plan.

En påfølgende faktor av kvalitetssikring er toleransekrav. Alt som blir utført har et krav om hvor mye avvik som tolereres. Dette kan være på mm nivå og cm nivå. TE vil herifra vurdere om utførelsen er innen toleransekravet eller utenfor. Derifra vil det være essensielt å vurdere om det vil være i veien for videre arbeid. Hvis det skulle vise seg at elementet er utenfor toleransekravene vil det være behov for å gjøre ytterligere tiltak for å sørge for å gjøre tiltak for å utbedre avviket eller tilpasse videre drift rundt avviket.

Plassering av fundamenter spiller en viktig rolle for byggets bærekonstruksjon. I Aker Tech blir det vist at droneskanningen danner et oversiktsbilde og en tegning kan bli plassert for å kontrollere dette. Dette gjør det mulig å ha en avvikskontroll for plassering. Figur 28 viser hvor

mye fundamentet har endret plassering fra hva som var prosjektert. I akkurat det eksemplet som blir tatt opp er det et avvik på 0,5m. Ut fra eksemplet er det viktig å kontrollere om det er innenfor toleransekravet til utførende. Hvis det er utenfor toleransekravet kan det ha konsekvenser for at fundamentet må støpes på nytt, eller vurdere om det kan tilpasses i forhold til foregående aktiviteter som kommer i området.

Noen ganger vil det være i etterkant en finner feilen som har blitt gjort i en tidligere periode. Wingtra (2018) trekker frem at det ofte i store byggeprosesser vil være vanskelig å finne ut av hvordan eller hvor avviket kommer fra. Ved repeterende droneskanninger blir det da mulig å hente ut data på hvordan avviket har kommet frem. Dette blir en god måte å ha dokumentasjon på hvordan produksjonen på prosjektet har vært. Ved noen avvik vil det være mulig å gjøre tilpasninger slik at det ikke kommer i veien for fremtidig drift for andre aktører, men noen ganger vil det være behov for å gå tilbake og utføre arbeidet på nytt. Droneskann vil da være til hjelp for å finne ut av hvordan dette må utføres slik at det ikke kommer i veien for fremtidige aktører sin drift.

Nøyaktigheten av droneskanningen ble også nevnt som en utfordring. I programmene som ble benyttet på begge prosjektene vises det avvik på mm nivå. I Figur 30 kan man også se en tabell med egen kolonne for verdi på feil marginen i målingen. Dette viser at en ikke kan stole 100% på droneskanningen, men det skal ikke sies at stikningsingeniør har 100% nøyaktighet ved sin måling. Til tross for at dronen er mer unøyaktig måling på data enn det en stikningsingeniør hadde hatt, vil droneskannen fortsatt være en raskere tilgang på høydemålingene og for at TE kan få en oversikt over høydene i områdene.

I denne oppgaven var det nødvendig å utføre manuell kontroll av sammenligningen mellom droneskanningen og prosjekterte grunnlag. Dette er en tidskrevende jobb da brukeren selv skal gå gjennom modellen og droneskanningen for å finne avvik. Her er det en risiko for at brukeren ikke får med seg noen av avvikene. Det ble ikke undersøkt om det eksisterer automatiserte prosesser for dette. Denne prosessen ble utført i henhold til veiledning fra Niklas Gisle, hvor det ble anbefalt å bruke disse programmene.

Droneteknologien har kommet langt, men for at dronen skal fungere som tiltenkt er det noen faktorer som må medregnes. De essensielle faktorene vil være batteri kapasitet, værforhold og pilot. For gode bilder, og flyvning over lenger tid krever det god batterikapasitet. En annen

viktig faktor er lysforhold og vind. Det krever at det er lite vind og regn eller snø slik at dronen kan fly trygt og ta bilder med god kvalitet.

En siste faktor er reglene rundt droneflyvning. Det er fortsatt noen restriksjoner som påvirker droneskanninger av byggeplassen. Et av de er at det kreves en sertifisert flyver som kan fly dronen og spesifikke krav må møtes. Mange av disse reglene er til grunn for at dronen kan behandle dataen riktig og selve flyvningen blir gjort riktig i henhold til lover og krav. Dette er med tanke på hvordan dataen skal behandles med tanke på oppbevaring og deling av informasjonen i forhold til personvern.

Denne oppgaven vekket en interesse for hvor lenge det vil være nødvendig å utføre skanninger på byggeplassen for utvendig kvalitetssikring av grunnentreprenøren. Begge prosjektene som blir presentert i oppgaven viser til at det vil lønne seg med å slutte med droneskanninger ved utomhus fasen. Med utomhus fasen menes det når det utføres beplantninger og ute arealet blir ferdigstilt. Niklas Gisle nevner i samtaler at droneskanningen vil ha minst verdi i mellomfasen fra utgraving av tomt til utomhus arbeidene. I akkurat denne overgangen vil utomhusarbeidene ha forskjell på cm nivå etter utgraving. En droneskanning vil ikke klare å gi nøyaktige mål i centimeter nivå til at dataen som hentes ut kan være troverdige. Siden utomhus arbeiderne må kontrollere hvor utstyret blir plassert osv. vil det være behov for å kontrollere med en stikker som vil være mer nøyaktig enn det dronen har mulighet til å tilby. I oppgaven var det ingen av prosjektene som hadde startet utomhus arbeidene og dette blir derfor basert på hva Niklas Gisle har kommentert, analysen i oppgaven og erfaringer fra byggeplass. Begge prosjektene er i fasen med utgraving av tomten.

6 Konklusjon

Droneskanning er et verktøy som kan benyttes til å kontrollere utførelse på byggeplass mot den teoretiske prosjekteringen. Droneskanningen tillater å kontrollere utførelsen på høyde, plassering og volum, som bidrar til kvalitetssikring av byggeplassen, fremdriftsstyring og avvikshåndtering. Gjennom oppgaven har det kommet frem hvordan 2D- og 3D- modellene vil være til hjelp for å vise hvordan utførelsen har blitt gjort, og kunne gjøre en direkte sammenligning mot det teoretiske grunnlaget som har vært til grunn for utførelsen. Ved å gjøre dette skaper det både en trygghet i at arbeidet har blitt utført riktig i henhold til plan eller om det kommer frem noen avvik som må kontrolleres, og om det er innenfor toleransekravene til utførelsen.

I metode kapittelet er det presentert hvordan dronen utfører skanningen på byggeplassen og hvordan dataen blir behandlet i de ulike programmene. Dataen fra droneskanningen blir brukt for å lage 3D- modell av byggeplassen. Det vil danne en oversikt over hvordan ting har blitt utført og vil være til hjelp for dokumentasjon av byggeprosessen. 3D- modellen blir sammenlignet mot den prosjekterte modellen.

I diskusjons kapittelet er det presentert hvordan droneskanningen kan benyttes og hvordan totalentreprenøren kan kontrollere utførelsen. Skanningen vil hente ut innmålinger av høyder og plasseringer på byggeplassen. Ved å bruke 2D- og 3D- modellen fra drone skanningen blir det mulig å utføre kontroller mot det prosjekterte underlaget. Skanningen gjør det også mulig å ha et aktivt overblikk over grunnentreprenøren, og for å revidere fremdriftsplanen på byggeplassen ved behov.

Droneskanningen gjør det mulig å finne ut av eventuelle avvik som har kommet frem i utførelsen. Droneskanningen vil være en digital tvilling av byggeplassen og gjør det mulig for TE å finne eventuelle avvik. Dette kan TE bruke til å finne ut av hvilke tiltak som må settes for å utbedre avviket eller om det kreves noen tilpasninger for fremtidig drift på byggeplassen.

Droneskanningen er en teknologi som har kommet for å bli, og henter ut mye nyttig data for ulike faktorer i byggeprosessen, men det er fortsatt noen utfordringer ved bruken av droner på byggeplass. Dette er med tanke på nøyaktighet ved skanning, værforhold og batteriliv på dronen. På tross av dagens utfordringer viser droneskanning til mange fordeler.

Droneteknologien utvikler seg kontinuerlig og vil ha en sterk vekst i byggebransjen. Den vil kunne bidra til bedre kvalitetssikring, fremtidsstyring og avvikshåndtering på byggeplass, når teknologien utvikler seg med bedre nøyaktighet.

7 Veien videre

Denne oppgaven fokuserte på hvordan droner kan bli benyttet til å kvalitetssikre grunnentreprenørens utførelse, men det var fortsatt noen andre ideer som kom frem under oppgaven. Det ble gjort en teoretisk undersøkelse på hvordan droneskanning også kan bli brukt for å utføre kontroller innvendig. Da ble det sett på hvordan man kan utføre droneskanning innvendig av bygget, og sette opp punktskyer imot modellerte underlag fra prosjekterende. Dette går ut på at dronen flyr innvendig i bygget og utfører skanninger. Dette gikk gjennom samme prosess som droneskanning for utomhus med databehandling og sammenligning mot prosjektert underlag.

I likhet med kontroll av innvendig skanning er det interessant å se på prefabrikkerte elementer som blir montert på byggeplass. Dette er med tanke på prefabrikkerte vegger og dekker av betong som produseres i fabrikk og blir tatt med til byggeplass. Det hadde vært interessant å se hvordan droneskanning vil være til hjelp for å utføre kontroll av høyder og plassering av slike elementer på byggeplassen.

I oppgaven var det fokus på hvordan droneskanning kan bli brukt til å kontrollere fremdriften til grunnentreprenøren, med en tanke rundt hvordan dette kan kobles direkte mot fremdrift styring(4D) og økonomi(5D) til prosjektet.

8 Kilder

- Andersen, Ø., Lønnum, S. E., Lønnum, S. E. & Brånå, G. (1991). *Fotogrammetri*. Bekkestua: NKI.
- Byggforsk, S. (2009). *Toleranser - Anbefalte toleransekrav til ferdige overflate*, b. 520.008.
- Datatilsynet. (2018). *Droner - hva er lov?* . Tilgjengelig fra: <https://www.datatilsynet.no/personvern-pa-ulike-omrader/overvaking-og-sporing/droner---hva-er-lov/> (lest 21.04.2022).
- Dick, Ø. B. (2020). *Fotogrammetri*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/fotogrammetri>.
- Ernstrom, B., Hanson, D., Hill, D., Clark, J., Holder, M., Turner, D., Sundt, D., Barton, L. & Barton, T. (2006). The contractors' guide to BIM. *Associated General Contractors of America*.
- Girod, L. (2022). Introduction to photogrammetry. *GEO4530 Geodesy and photogrammetry*.
- Goderstad, O. (2021). *Mer om koordinatsystemer - Euref89UTM og NTM - forskjeller og fallgruber*. Tilgjengelig fra: <https://support.graphisoft.no/hc/no/articles/4404924110226-Mer-om-koordinatsystemer-Euref89UTM-og-NTM-forskjeller-og-fallgruber> (lest 25.06.2022).
- Haukedal, J. (2020). Nøyaktighet med bruk av drone.
- Jarslett, E. T. Y. (2020). *Drone*. SNL. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/drone> (lest 20.04.2022).
- Kartverket. Tilgjengelig fra: <https://www.kartverket.no/til-lands/posisjon/kartprojeksjonar>.
- Kartverket. (2015). Geodatakvalitet.
- Kartverket. (2021). *Slik bruker du NN2000*. Tilgjengelig fra: <https://www.vestretoten.kommune.no/teknisk-og-eiendom/kart/nytt-hoydesystem-2015/> (lest 09.04.2022).
- Kim, S., Kim, S. & Lee, D.-E. (2020). 3D Point Cloud and BIM-Based Reconstruction for Evaluation of Project by As-Planned and As-Built. *Remote Sensing*, 12 (9): 1457.
- Li, Y. & Liu, C. (2019). Applications of multirotor drone technologies in construction management. *International Journal of Construction Management*, 19 (5): 401-412. doi: 10.1080/15623599.2018.1452101.
- Lodplanner. (2022). *What is BIM?* Tilgjengelig fra: <https://www.lodplanner.com/what-is-bim/> (lest 27.05.2022).
- Lynne, A. (2022). *Dybdeintervjuer*. Tilgjengelig fra: <https://responsanalyse.no/metoder/kvalitative-metoder/dybdeintervjuer/> (lest 01.06.2022).
- Mehendale, N. & Neoge, S. (2020). Review on Lidar Technology. *Available at SSRN 3604309*.

- Merriman, V. K. (2018). Den Digitale tvillingen - broen mellom den fysiske og den digitale verden.
- Mæhlum, Ø. B. D. L. (2020). *Fotogrammetri*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/fotogrammetri> (lest 04.04.2022).
- Questionpro. (2022). Empirisk forskning: Definisjon, metoder og eksempler.
- Rasheed, A., San, O. & Kvamsdal, T. (2020). Digital twin: Values, challenges and enablers from a modeling perspective. *Ieee Access*, 8: 21980-22012.
- Risbøl, O. & Gustavsen, L. (2018). LiDAR from drones employed for mapping archaeology– Potential, benefits and challenges. *Archaeological Prospection*, 25 (4): 329-338.
- Rød, J. K. (2020). SNL. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/NN2000>.
- Siebert, S. & Teizer, J. (2014). Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system. *Automation in construction*, 41: 1-14.
- Sosi.Geonorge. (2022). *Punktsky 1.02*. Tilgjengelig fra: <http://sosi.geonorge.no/Produktspesifikasjoner/Punktsky/> (lest 30.04.2022).
- Tal, D. & Altschuld, J. (2021). *Drone Technology in Architecture, Engineering and Construction: A Strategic Guide to Unmanned Aerial Vehicle Operation and Implementation*: Wiley.
- Trageton, S. (2022). Kvalitetssikring og kvalitetssystem.
- Wingtra. (2018). Why and how to use drones in construction and infrastructure.
- Woodside, A. G. (2010). *Case Study Research: Theory, Methods and Practice*: Emerald Group Publishing Limited.
- Zaychenko, I., Smirnova, A. & Borremans, A. (2018). *Digital transformation: the case of the application of drones in construction*. MATEC web of conferences: EDP Sciences.



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway