




Universitetet
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

MASTEROPPGAVE

Studieprogram: Industriell Økonomi	Vårsemesteret, 2021
Studieretning: Entreprenørskap og teknologiledelse	Åpen / Konfidensiell
Forfatter: Jevarunen Nagalingam	 (signatur forfatter)
Fagansvarlig: Knut Erik Bang	
Veileder(e): Knut Erik Bang (UiS) Alisa Nilsen (Backe Rogaland)	
Tittel på masteroppgaven: Bruk av 3D laserskanning i byggeprosjekter for kvalitetssikring i produksjonsfasen	
Engelsk tittel: Use of 3D laser scanning in construction projects for quality assurance in the production phase	
Studiepoeng: 30	
Emneord: Laserskanning Kvalitetskontroll As-built Punktsky Imerso Scaled Robotics	Sidetall: 89 + vedlegg/annet: 31 Stavanger, 01.07.2021

Forord

Denne masteroppgaven markerer slutten på min mastergrad i industriell økonomi ved Universitetet i Stavanger. Oppgaven er et selvstendig arbeid med et omfang på 30 studiepoeng og er utarbeidet i samarbeid med Backe Rogaland. Den er skrevet mellom Januar og Juli 2021.

Jeg ønsker først og fremst å uttrykke min takknemlighet til samtlige intervjuobjekter som kunne stille opp til intervju for å bidra til oppgaven. Det hadde ikke vært mulig å gjennomføre oppgaven uten deres refleksjoner og tilbakemeldinger. Flere bidro også med innspill utenom intervjuene og var tilgjengelig hvis noe var uklart, noe som settes stor pris på.

Jeg ønsker også å rette en stor takk til min hovedveidleder fra UiS, Knut Erik Bang, for gode tilbakemeldinger og innspill ved behov. Det samme gjelder min biveilder fra Backe, Alisa Nilsen, som også var den som introduserte meg til laserskanning. En takk rettes også til Peter Zumbo for korrekturlesing.

Til slutt vil jeg takke familie, venner og alle studenter som har bidratt til fem fantastiske år i Stavanger.

Stavanger, 1. Juli, 2021

Jevarunen Nagalingam

Sammendrag

Byggebransjen har ofte blitt kritisert for manglende bruk av digitale verktøy og nye teknologier sammenlignet med andre industrier, men dette har begynt å endre seg de siste årene. En av teknologiene som har blitt introdusert i byggebransjen er 3D laserskanning. I dag er det flere entreprenører som har begynt å teste laserskanning for kvalitetssikring i produksjonsfasen. Dette utføres ved å sammenligne de prosjekterte modellene mot de faktiske forholdene laserskanneren fanger opp fra byggeplassen. Det er derimot en del usikkerheter om hvilke muligheter og fordeler teknologien medfører, og hva som er utfordringene ved å ta i bruk denne teknologien i byggeprosjekter. Av den grunn er det valgt å undersøke dette i denne oppgaven.

Metodene som er benyttet for å løse oppgaven på en systematisk måte er en litteraturstudie om digitale tvillinger og laserskanning, spørreundersøkelse, og kvalitative intervjuer.

Funnene i oppgaven viser at laserskanning gir stor verdi for renoveringsprosjekter, fordi det er en enkel og presis metode for å kartlegge eksisterende forhold. For nybygg er det hovedsaklig i råbyggfasen det blir benyttet i størst grad, da konsekvensene ved en følgefeil i denne fasen kan få stor betydning. Med laserskanning kan man oppdage feil som blir gjort i en tidlig fase, og dermed iverksette umiddelbare tiltak for å rette opp i feilene. Det fører igjen til mindre forsinkelser. I tillegg til bedre kvalitetssikring bidrar laserskanning til merverdi i form av en god dokumentasjon av det som har blitt utført på byggeplassen, samt bedre kommunikasjon mellom ulike parter fordi alt blir dokumentert.

Barrieren for å ta i bruk laserskanning gjelder hovedsaklig prisen for en laserskanner og programvarene som trengs for å ta nytte av denne teknologien. I tillegg blir ofte kompetansen som er nødvendig for å bruke disse programvarene og deres brukervennlighet nevnt som en sperre, samt kunnskap om mulighetene det medbringer. De fleste er derimot positive til teknologien, og tror etterspørselen vil øke i fremtiden. Spesielt hvis teknologien blir billigere med tiden, noe som ikke er utenkelig.

Summary

The construction industry has often been criticized for its lack of use of digital tools and new technologies compared to other industries, but this has begun to change in recent years. One of the technologies that has been introduced in the construction industry is 3D laser scanning. Today, several contractors have started testing laser scanning for quality assurance in the production phase. This is done by comparing the designed models against the actual conditions the laser scanner captures from the construction site. On the other hand, there are some uncertainties about what opportunities and benefits the technology entails, and what the challenges are of using this technology in construction projects. Therefore, it has been chosen to examine those uncertainties in this thesis.

The methods used to find answers to these questions are a literature study on digital twins and laser scanning, a survey and qualitative interviews.

The findings shows that laser scanning provides great value for renovation projects, because it is a simple and precise method for mapping existing conditions. For new buildings, it is mainly in the raw construction phase it is used the most, as the consequences of consequential errors in this phase can be of great significance. With laser scanning, one can detect errors that are made at an early stage, and thus implement immediate measures to correct those errors. This leads to minor delays as a result. In addition to better quality assurance, laser scanning contributes to added value in the form of good documentation of what has been done on the construction site, and better communication between different parties because everything is documented.

The barrier for using laser scanning mainly concerns the price of a laser scanner and the software needed to take advantage of this technology. In addition, the competence for using these software and their user-friendliness are often mentioned as a barrier, as well as knowledge of the opportunities it brings. Most people, on the other hand, are positive about the technology, and believe that the demand will increase in the future. Especially if the technology becomes cheaper over time, which is not inconceivable.

Innholdfortegnelse

Forord	i
Sammendrag	iii
Summary	v
Figurliste	x
Tabelliste	xii
Forkortelser	xiii
1 Introduksjon	1
1.1 Formål og problemstilling	2
1.1.1 Forskningsspørsmål	3
1.2 Avgrensninger	3
1.3 Deklarasjon	3
1.4 Oppgavens utforming	4
2 Metodebeskrivelse	7
2.1 Metode	7
2.2 Anvendte metoder	8
2.2.1 Kvalitativ forskningsmetode	8
2.2.2 Litteraturstudie	9
2.2.3 Spørreundersøkelse	10
2.2.4 Intervjustudie	11
2.2.5 Intervjuobjekter	11
2.2.6 Analyse	12
2.3 Metodekvalitet	13
2.3.1 Reliabilitet og validitet	13
2.3.2 Oppgavens troverdighet	13
2.3.2.1 Troverdigheten til teoretisk data	13
2.3.2.2 Troverdigheten til empirisk data	14

3	Teori	15
3.1	Byggeprosessen	15
3.2	IT	16
3.3	BIM	18
3.3.1	BIM dimensjoner	19
3.3.2	Lukket og åpen BIM	20
3.3.3	BIM i produksjonsfasen	22
4	Digitale tvillinger og laserskanning	25
4.1	Digitale Tvillinger	25
4.1.1	Historien bak digitale tvillinger	25
4.1.2	Hva er digitale tvillinger?	26
4.1.3	Bruksområder	30
4.2	Laserskanning	31
4.2.1	Punktsky	31
4.2.2	Bruksområder for laserskanning i byggebransjen	34
4.2.3	Laserskanning i produksjonsfasen	35
4.2.4	3D-laserskannere	36
5	Programvarer	39
5.1	IMERSO	39
5.2	Scaled Robotics	39
5.3	Dalux	40
5.4	BIMcollab ZOOM	40
5.5	Cyclone	41
5.6	Andre programvarer	41
6	Resultater	43
6.1	Konseptet om digitale tvillinger	43
6.1.1	Beskrivelse av konseptet	43
6.1.2	Datautveksling og sanntids oppdatering	44
6.1.3	Gruppering av digitale tvillinger (produksjonsfasen)	46
6.2	Fordeler med laserskanning	47
6.2.1	Sammenligne as-built med as-designed	48
6.2.2	Metode for å identifisere avvik automatisk	49
6.2.2.1	Oppdagelse av kritiske feil	51
6.2.3	Andre fordeler	52
6.2.3.1	Måle fremdrift	52
6.2.3.2	Dokumentasjon	53
6.3	Utfordringer med laserskanning	53

6.3.1	Proessen med å skanne en byggeplass	54
6.3.1.1	Fremtidige spekulasjoner	56
6.3.2	Utfordringer med programvare	59
6.3.2.1	Effektivisere filtrering	59
6.3.2.2	Navigering	60
6.4	Andre holdninger til laserskanning	61
6.4.1	Pris og kostander	61
6.4.2	Kunnskap, kompetanse og usikkerhet	63
6.4.3	360 Foto	65
7	Diskusjon	67
7.1	FS1 - Sammenhengen mellom punktsky og digitale tvillinger	67
7.1.1	Funn fra litterær data om digitale tvillinger	67
7.1.2	Funn fra empirisk data om digitale tvillinger	68
7.2	FS2 - Muligheter og utfordringer med laserskanning	70
7.2.1	Fordeler	70
7.2.2	Utfordringer	71
7.3	FS3 - Hvordan oppnå fordelene og overkomme utfordringene?	73
7.4	FS4 - Dataprogrammer	75
7.4.1	Generelle fordeler og ulemper med programmene	75
7.4.2	Generell kost vs. nytte med programmene	75
8	Konklusjon	79
8.1	Vurdering av funn	81
8.2	Videre arbeid	81
	Bibliografi	83
A	Spørreskjema	i
B	Intervjuguide	xi
B.1	Tilhørende spørsmål for leverandører	xiii
B.2	Tilhørende spørsmål for entreprenører	xx
C	Prosjektbeskrivelser	xxvii
C.1	Nye SUS	xxvii
C.2	Spor X	xxviii
C.3	Harbitz Torg	xxviii
C.4	Campus ÅS	xxix
C.5	Andre prosjekter	xxix

Figurliste

1.1	MacLeamy's kurve (2001), hentet fra (Davies, 2013).	1
2.1	Presentasjon av kilder.	9
2.2	Informasjon om respondentene fra spørreundersøkelsen.	10
3.1	Byggeprosessens delprosesser, hentet fra (Eikeland, 2001).	15
3.2	Informasjons- og kommunikasjonsutveksling i tradisjonelle prosjekter vs BIM-prosjekter, basert på (Chen et al., 2005).	19
3.3	Oversikt over BIM dimensjonene.	20
3.4	BIM-trekanten.	22
3.5	BIM kiosk montert på vegg. Bilde tatt fra Lyse Elnett prosjektet på Sandnes.	23
4.1	Oversikt over datautveksling for Digital Model, Digital Shadow og Digital Twin, basert på (Kritzinger et al., 2018).	28
4.2	Maleri av Georges Seurat, A Sunday on La Grande Jatte, 1884. Lisens: fri	32
4.3	Simplifisert eksempel på et polygonnett basert på mange punkter. Basert på (Piamulholland, u.d.).	33
4.4	Bruker target som referansepunkt for innmåling (georeferering). Bilde tatt fra Nye SUS prosjektet i Stavanger.	33
4.5	Det som er farget i grønn er riktig utført, mens det som er farget i rødt er feil plassert. Hentet fra (Imerso, u.d.).	35
4.6	Leica BLK360 skanner festet på stativ (ground-fixed). Hentet fra (Bjørheim, 2019).	38
4.7	Leica skanner koblet til et horisontalt type stativ for å skanne heissjakt. Bilde tatt fra Nye SUS prosjektet i Stavanger.	38
6.1	Respondenter om 3D skanning har vært en effektiv metode for kvalitetskontroll, fra spørreundersøkelsen.	47
6.2	Respondenter om laserskanningens evne til å identifisere avvik, fra spørreundersøkelsen.	49
6.3	Respondenter om prosessen med å skanne byggeplass er langsom, fra spørreundersøkelsen.	54

6.4	Boston Dynamics Spot tilkoblet en Leica scanner. Hentet fra (Leica Geosystems, 2021).	58
6.5	NavVis Indoor mapping Trolley kartlegging-system levert av Geograf Digital. Hentet fra (Blakstad, 2018).	58
6.6	NavVis VLX wearable mapping device. Hentet fra (NavVis , u.d.).	59
6.7	Respondenter om laserskanning utstyr og programvare koster mye, fra spørreundersøkelsen.	61
6.8	Respondenter om det finnes alternative metoder for laserskanning, fra spørreundersøkelsen.	65
7.1	Respondenter om hvordan de omtaler resultatet av laserskanneren, fra spørreundersøkelsen.	68

Tabelliste

1.1	Oppgavens utforming.	5
2.1	Oversikt over intervjuobjektene fra entreprenør siden.	12
2.2	Oversikt over intervjuobjektene fra leverandør siden.	12
4.1	Antall prosent av de 23 artiklene som støtter definisjons kategoriene av digitale tvillinger. Funnene er basert på (Hultgren & Lundstrøm, 2020). .	26
4.2	Digitale tvillinger klassifisert inn i fire ulike nivåer basert på deres modenhetsnivå, rangert fra lav til høy. Tabell basert på (Madni et al., 2019, s. 5).	29

Forkortelser

AI Artificial Intelligence (Kunstig Intelligens)

AR Augmentet Reality (Utvidet Virkelig)

BIM Building Information Model

bsDD buildingSMART Data Dictionary

FDV Forvaltning, Drift og Vedlikehold

IFC Information Foundation Classes

IDM Information Delivery Manual

IoT Internet of Things (Tingenes Internett)

LIDAR Light Imaging Detection and Ranging

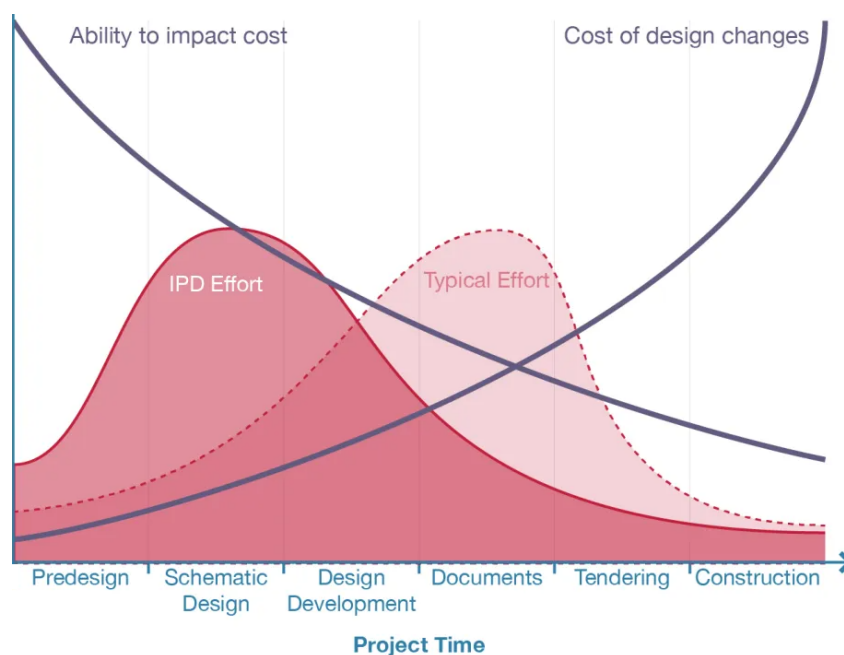
PLM Product Lifecycle Management

SR Scaled Robotics

Introduksjon

Bruken av ny teknologi som kunstig intelligens, virtuell realitet, robotikk osv har økt betraktelig for flere industrier. Det har blitt en viktig del for effektiviseringen av flere ulike bransjer. Byggebransjen derimot har ofte blitt kritisert som konservativ, og produktiviteten har stagnert sammenlignet med andre industrier (Varmedal, 2018). Det kan være fordi byggeplassen lenge har vært en av de minst digitaliserte områdene i samfunnet (Hjelle, 2021). Den står derfor ovenfor en utfordring når det gjelder bruk av ny teknologi, effektivisering og digitalisering.

Det er hovedsaklig BIM (Building Information Model) som har dominert av det som kan anses som revolusjonerende teknologi i byggebransjen. Den har blant annet bidratt med å erstatte papirtegninger, med tredimensjonale visuelle modeller. Fra disse modellene kan man også gjerne hente annen tilleggsinformasjon som for eksempel kostnader, dimensjoner og mengedeuttak av spesifikke objekter. I dag er det flere bedrifter som stiller krav til at det blir brukt BIM i byggeprosjekter. Med BIM kan man enklere finne feil i en tidlig fase, og derfor redusere kostander i prosjekter. Den forbedrer også samhandlingen mellom aktører, som igjen fører til økt produktivitet. BIM er derfor spesielt attraktivt i prosjekteringsfasen.



Figur 1.1.: MacLeamy's kurve (2001), hentet fra (Davies, 2013).

“MacLeamy’s kruve” illustrer påvirkningsgraden til å redusere feil og kostander knyttet til et byggeprosjekt. Tanken er at det må ligge høyere fokus i en tidlig fase, da kostnadene for å gjøre endringer eller rette på feil øker gradvis med prosjektets løp.

Problemer som derimot ofte dukker opp, selvom det er blitt brukt mye tid for å perfektionere BIM modellen er at det kan oppstå avvik mellom det som bygges, og det som er prosjektert (Bjørheim, 2019). Det kan være alt fra bjelker, utsparinger, rør, søyler osv som er plassert feil, eller som ikke har blitt inkludert. På samme måte som kostanden øker for å gjøre endringer jo lenger man har kommet i et prosjekt, øker også kostanden for å rette opp i en feil jo senere den blir oppdaget. Det er derfor viktig med kvalitetskontroll på byggeplassen, for å kontrollere at det som bygges stemmer med prosjekterte modeller. Dette blir som regel utført av mennesker med manuelle inspeksjoner, som medfører risiko og usikkerhet fordi feil kan bli oversett (AF Gruppen, 2020). De siste par årene er det flere entreprenører som har begynt å teste og bruke laserskanning for kvalitetskontroll. Resultatet fra skanneren blir ofte også sammenlignet med en digital tvilling, som er en virtuell representasjon av et fysisk objekt. Flere har sett at dette gir stor verdi, og at laserskanneren er i stand til å fange opp feil som kan spare prosjekter for både forsinkelser og kostander. Det er derfor forventet at dette er en teknologi som vi vil se mer til i de kommende årene, og som vil effektivisere byggeprosessen.

1.1 Formål og problemstilling

Hvilke muligheter gir laserskanning for byggeprosjekter i produksjonsfasen, og hva skal til for at disse skal oppnås?

Hensikten med denne oppgaven er å undersøke hvordan bruken av laserskanning teknologi kan effektivisere produksjonsfasen i byggeprosessen. Hovedsaklig med fokus på kvalitetssikring. Samtidig vil det være interessant å se hvilken sammenheng dette har med digitale tvillinger. Det er derfor viktig å få en god forståelse for konseptet om digitale tvillinger, og hvilke dataprogrammer vi har tilgjengelig for å utnytte laserskanning teknologien. Oppgaven vil også se nærmere på hvordan bransjen både oppfatter og benytter seg av denne teknologien i dag. Basert på dette vil det undersøkes hvordan byggeprosjekter kan dra nytte av laserskanning og hvilke forutsetninger som må oppfylles før implementering av denne teknologien kan normaliseres.

1.1.1 Forskningsspørsmål

For å avklare problemstillingen er følgende forskningsspørsmål valgt:

- **FS1** - Hva er sammenhengen mellom en punktsky fra en laserskann og digitale tvillinger?
- **FS2** - Hva er mulighetene og utfordringene ved implementering av laserskanning teknologi i produksjonsfasen?
- **FS3** - Hva skal til for å oppnå de fordelene og overkomme de utfordringene som er observert fra FS2?
- **FS4** - Hvilke dataprogrammer har vi i dag for å utnytte denne teknologien?
 - a) Fordeler og ulemper generelt.
 - b) Kost vs. nytte generelt.

1.2 Avgrensninger

Begrensningene i oppgaven er hovedsaklig relatert til tidsperspektivet og Covid-19 situasjonen. Desto flere intervjuer, desto høyere reliabilitet og validitet vil oppnås. På grunn av begrenset tid har det derimot blitt begrenset antall intervjuer, slik at omfanget blir håndterbart. Det er også slik at intervjuobjektene ikke nødvendigvis forteller den fulle sannheten dersom det setter bedriften, et prosjekt eller en leverandør i et dårlig lys. På grunn av Covid-19 situasjonen har det også vært vanskelig å opparbeide erfaringer ved fysiske befaringer på byggeprosjektene. I tillegg har det ikke vært mulig å besøke entreprenører i deres kontorer for å se hvordan det jobbes med de spesifikke programmene som blir brukt til kvalitetskontroll. Det har derfor ikke vært enkelt å sette seg inn i hvordan disse programmene fungerer i praksis.

1.3 Deklarasjon

Funnene i oppgaven er basert på undertegnendes tolkninger av litteratur- og intervjustudie. Informasjonen som er hentet fra de empiriske dataene kan derfor ha blitt feiltolket. Intervjuobjektene som har bidratt i oppgaven kan dermed ikke stilles ansvarlig for innholdet i oppgaven.

1.4 Oppgavens utforming

Oppgaven består av 8 kapitler, bibliografi og 3 vedlegg. En kort beskrivelse av disse er presentert i tabellen på neste side.

Tabell 1.1.: Oppgavens utforming.

Kapittel	Beskrivelse
1. Introduksjon	Kapittel 1 presenterer en kort introduksjon og tema for oppgaven, hensikten og formålet med oppgaven, problemstillingen og forskningsspørsmålene som er valgt, samt avgrensninger og en deklarasjon.
2. Metode	Kapittel 2 presenterer forskningsmetodene som er anvendt i denne oppgaven, og vurderingene som ligger til grunn for valget av disse metodene. De består hovedsaklig av en litteraturstudie, spørreundersøkelse og intervjustudie. Tilslutt er det gitt en vurdering av oppgavens troverdighet og kvalitet.
3. Teori	Kapittel 3 består hovedsaklig av teori relatert til BIM og andre IT konsepter som er relevante for digitale tvillinger og laserskanning.
4. Digitale tvillinger og laserskanning	Kapittel 4 består av teori relatert til digitale tvillinger og laserskanning. Dette kapitlet går i dybden av disse to teknologiene, og ser nærmere på hvordan det kan implementeres i byggebransjen.
5. Programvarer	Kapittel 5 presenterer en kort introduksjon til de programmene som blir benyttet til kvalitetssikring ved bruk av laserskanning i den norske byggebransjen. Dette gjelder Imerso, Scaled Robotics, Dalux, BIMcollab ZOOM og Cyclone.
6. Resultater	Kapittel 6 presenterer funn fra intervjustudie. Intervjuobjektene består av både aktører fra bygg entreprenører, samt individer som jobber for de programvarene som ble presentert i kapittel 5.
7. Diskusjon	Kapittel 7 presenterer en diskusjon rundt forskningsspørsmålene som er valgt for oppgaven. Diskusjonen baserer seg på funnene fra resultatene i kapittel 6, men også fra det teoretiske grunnlaget fra kapittel 4 om digitale tvillinger og laserskanning.
8. Konklusjon	Kapittel 8 presenterer konklusjonen for oppgaven, og oppsummer samtidig funnene. Den går både gjennom formålet og besvarer oppgavens problemstilling. I tillegg er det gitt en vurdering av funnene og et forslag for videre arbeid.
Bibliografi	Bibliografien inneholder en oversikt over alle kilder som er benyttet i oppgaven.
Vedlegg	Oppgaven inneholder 3 vedlegg. Vedlegg A er en kopi av spørreskjema som ble sendt ut til entreprenører, byggherrer og rådgivere. Vedlegg B består av intervjuguiden og spørsmålene som ble stilt i intervjustudie. Vedlegg C består av prosjektbeskrivelser som intervjuobjektene har basert sine erfaringer på for undersøkelsen.

Metodebeskrivelse

I dette kapitlet vil metodene som er benyttet for å svare på problemstillingen og forskningsspørsmålene bli beskrevet.

2.1 Metode

En metode er en framgangsmåte, et middel til å løse problemer og komme fram til ny kunnskap. Et hvilket som helst middel som tjener dette formålet, hører med i arsenalet av metoder (Hellevik, 2002, s. 12).

Metoder handler om samle inn data og kunnskap for å løse problemer. Det skilles ofte mellom to typer tilnæringer til innhenting av data og kunnskap, induktiv og deduktiv tilnærming. Begrepene forteller noe om hvordan beslutninger har blitt tatt basert på en logisk analyse. I en deduktiv tilnærming vil forskeren ha en tydelig teori som grunnlag før det søkes etter ny data og kunnskap. Forskeren går fra teori til empiri (virkelig). Det vil si at dataene som hentes er styrt av teorier. Dersom en prøver å samle kunnskap ved å gå fra empiri (virkelig) til teori derimot, blir det forstått som en induktiv tilnærming. Ved en slik tilnærming bør den som samler inn data gjøre dette så objektivt som mulig, med åpent sinn. I dette tilfelle går man gjerne fra å samle empirisk data fra undersøkelser og intervjuer til å konstruere en teori. (Jacobsen, 2015)

Denne oppgaven er basert på en induktiv tilnærming da undertegnede har begrenset datagrunnlag om temaene som diskuteres. Det har vært viktig å ha et så åpent sinn som mulig når problemstillingen og forskningsspørsmålene undersøkes, og samtidig ikke begrense hvor informasjonen hentes fra. Det har derfor blitt samlet empirisk data fra flere ulike hold, med ulike synspunkter. Disse har deretter blitt systematisert og analysert i forhold til hverandre, før resultatet har blitt presentert.

Forskningsmetodene som er tilgjengelige deles også gjerne inn i 2 kategorier, kvantitativ og kvalitativ metode. Dersom hensikten er å studere og gå dypere inn på en idé, oppgave eller teori blir det som regel brukt en kvalitativ metode. En slik metode benytter seg ofte av observasjoner, ustrukturerte intervjuer, fokusgrupper, innholdsanalyser og casestudier (Grønmo, 2020a). Formålet er å tilegne seg en best mulig

helhetsforståelse. Kvantitativ metode på den andre siden benytter seg av kvantitativ data, som vil si data i form av tall eller andre mengdetemer (Grønmo, 2020b). Dersom det eksisterer store mengder med data, er dette en metode som kan benyttes. Disse blir gjerne presentert i tabeller, figurer og statistikk, ofte for å avdekke korrelasjon og sammenhenger mellom ulike variabler.

2.2 Anvendte metoder

De anvendte metodene vil bli beskrevet i større detalj i de neste underkapitlene. Disse består av en litteraturstudie, spørreundersøkelse, intervjustudie og analyse av innhentet data. Resultatene baserer seg hovedsaklig på intervjustudie. Hvis det har vært relevant har det også blitt inkludert diagrammer fra spørreundersøkelsen.

2.2.1 Kvalitativ forskningsmetode

I denne oppgaven har det blitt valgt å bruke kvalitative forskningsmetoder for å besvare forskningsspørsmålene, og for å komme fram til en konklusjon på problemstillingen. Årsaken til valget av denne forskningsmetoden skyldes at erfaringene til de som har testet laserskanning på byggeplassen, vektlegges som mer verdifullt enn ved en kvantitativ metode. Samtidig er ikke denne teknologien blitt tatt i bruk i stor nok grad i den norske byggebransjen, for å kunne utføre en god kvantitativ analyse. Det har derimot blitt sendt ut spørreundersøkelser til flere entreprenører, for å få en oversikt over de programvarene som i dag blir benyttet for å utnytte denne teknologien. Spørreundersøkelsen har også gitt et grovt bilde av hva bransjen tenker om denne teknologien, som har blitt brukt til å basere en del av spørsmålene til dybdeintervjuene. Den har også vært en god metode for å finne relevante folk fra bransjen som kan bidra med et dybdeintervju.

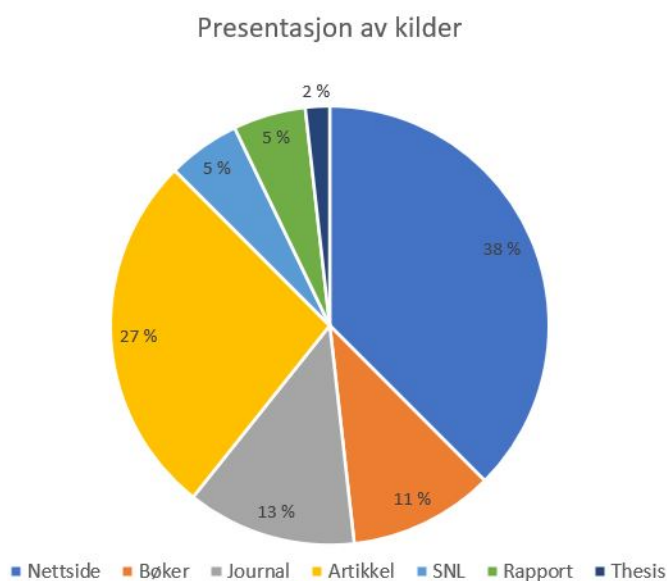
Det har blitt brukt flere ulike kilder for å hente kvalitativ data, og for å bygge et godt teoretisk grunnlag. Data har blitt samlet gjennom en litteraturstudie, og et intervjustudie. Litteraturstudie har vært viktig for å tilegne seg kunnskap om de viktigste teamene rundt BIM, laserskanning og digitale tvillinger. Med dybdeintervjuer fra aktører i byggebransjen som har testet laserskanning, har det vært mulig å spørre intervjuobjektene direkte om spesifikke fordeler og utfordringer ved implementeringen av denne teknologien. Det har også blitt utført dybdeintervjuer med leverandører av programvarer, for å høre deres synspunkter om mulighetene denne

teknologien medbringer for byggebransjen. Dette har gitt gode grunnlag for å diskutere problemstillingen og forskningsspørsmålene.

2.2.2 Litteraturstudie

Det teoretiske grunnlaget for denne oppgaven er basert på litteraturstudie. Grovt sett kan de viktigste temaene i teorien bli delt inn i 3 deler, og er henholdsvis delt inn i 3 ulike kapitler. (1) Generell informasjon om relevante teknologier og BIM, (2) generell informasjon om digitale tvillinger og laserskanning, og (3) spesifikk informasjon om de ulike programvarene som blir brukt i bransjen for å utnytte potensialet til laserskanning. De to første delene er hovedsaklig basert på akademisk litteratur. For å finne fram til gode og relevante fagartikler, har det blitt brukt søkemotorene Oria, Google Scholar og ScienceDirect. Dette har resultert i flere gode kilder fra både elektroniske fagbøker og vitenskapelige artikler. For de mindre resterende temaene i teorien har det blitt brukt ulike nettsider og store norske leksikon, for å gi enkle forklaringer av ulike konsepter. Kildene som er brukt i oppgaven har også blitt sammenlignet med andre kilder om de samme temaene, for å verifisere troverdigheten bak funnene i teorien.

Diagrammet på figur 2.1 viser hvordan type kilde referansene er hentet fra. Nettsidene består hovedsaklig av troverdige organisasjoner som buildingSMART, DigitalNorway og hjemmesidene til programvarene som er undersøkt. Denne dekker derfor store deler av bibliografien.

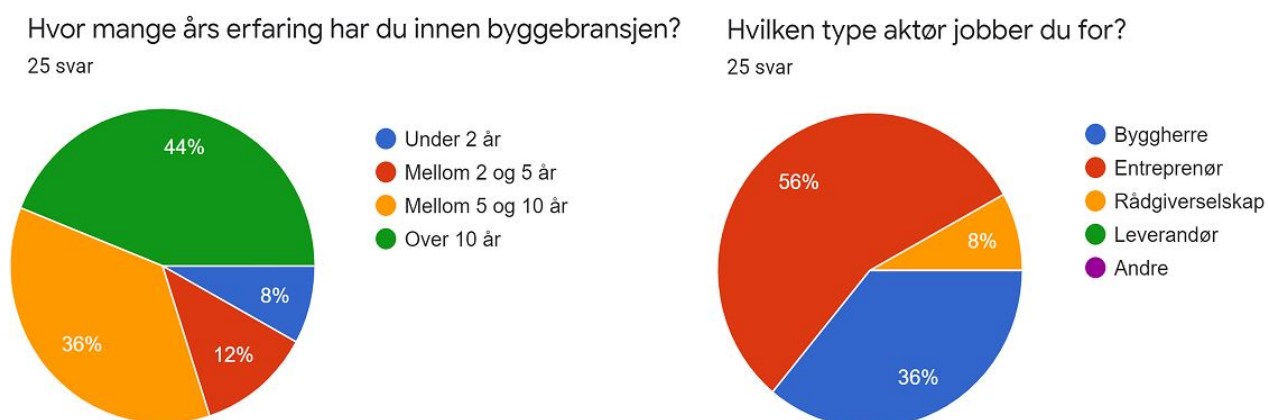


Figur 2.1.: Presentasjon av kilder.

2.2.3 Spørreundersøkelse

Det ble tidlig i prosessen valgt å opprette en spørreundersøkelse med Google Forms. Dette ga en oversikt over de mest brukte programvarene, som tilbyr en løsning for å ta i bruk resultatene fra laserskanneren. Samtidig var det en god mulighet for å høre om det var noen som kunne stille opp til et lengre dybdeintervju om de temaene som var nevnt i undersøkelsen. Spørreundersøkelsen ga også et grovt bilde av bransjens tanker om verdien denne teknologien medbringer, og hva som er dagens utfordringer med laserskanning. Spørreundersøkelsen ble sendt ut til 100+ ansatte hos ulike bygg selskaper. Da det kun er et få antall personer fra hver bedrift som jobber eller har jobbet med denne teknologien, var det kun et lite antall som følte seg relevante nok for å svare på undersøkelsen. Spørreundersøkelsen ble gjerne sendte videre blant de ansatte, til de mer relevante i selskapet som har jobbet med denne teknologien.

Det kom inn totalt 25 svar på undersøkelsen. Som forventet var det kun et få antall som ønsket å svare på undersøkelsen, da det ikke er mange som har erfaring med laserskanning. Et stort antall av de 25 hadde derimot mulighet til å stille opp til et intervju. Det kan skyldes at de som har svart på undersøkelsen er blant de som har størst interesse og mest erfaringer om denne teknologien. 100% av respondentene på undersøkelsen svarer at de er kjent med laserskanning og hvordan det kan utnyttes. 21 av 25 har også testet eller selv brukt laserskanning. De fleste har over 5 års erfaring fra byggebransjen og jobber for enten en entreprenør eller byggherre. 22 av 25 respondenter er også kjent med begrepet digital tvillinger. Tilbakemeldingene fra undersøkelsen kan derfor anses som legitime og relativt representative for bransjen. Spørreskjema kan bli funnet i vedlegg A.



Figur 2.2.: Informasjon om respondentene fra spørreundersøkelsen.

2.2.4 Intervjustudie

Intervjustudie var den viktigste delen av oppgaven for å finne svar på problemstillingen og forskningsspørsmålene. Det ble tidlig bestemt at det skulle holdes dybdeintervjuer for å få en direkte oppfatning fra relevante personer i bransjen, om deres erfaringer og tanker om bruken av laserskanning i byggeprosjekter. Det finnes ulike metoder for å gjennomføre kvalitative intervjuer, men hovedsaklig består disse av ustrukturerte-, semistrukturerte- og strukturerte intervjuer (Academic Work, u.d.).

En ustrukturert teknikk vil si som navnet tilsier at man går ut fra et blankt ark, hvor ingen spørsmål er forhåndsbestemt. På motsatt side vil en strukturert teknikk bety at alle spørsmål er bestemt i forveien. Eksakte spørsmål og oppfølgingsspørsmål vil bli stilt alle intervjuobjekter. Et semistrukturert intervju derimot, er en liten blanding av disse to. Spørsmålene vil være forhåndsbestemt og de samme spørsmålene blir stilt samtlige kandidater i studiet. Oppfølgingsspørsmål vil bli stilt basert på det kandidaten forteller. (Academic Work, u.d.)

I denne oppgaven ble det valgt en semistrukturert teknikk. Ved å stille de samme hovedspørsmålene til samtlige intervjuobjekter ga det mulighet til sammenligne svarene fra kandidatene. Samtidig var det ikke alle spørsmål som var like relevante for alle, da erfaringene varierte mellom kandidatene. Derfor ble det stilt ulike oppfølgingsspørsmål. Alle intervjuobjekter fikk tilsendt en intervjuguide med tilhørende spørsmål til intervjuet. Intervjuguiden besto av generell informasjon om oppgaven og intervjuet. Dette ga intervjuobjektene muligheten til å forberede seg, og det resulterte i en effektiv gjennomførelse av intervjuene. Intervjuguide med tilhørende spørsmål kan bli funnet i vedlegg B.

2.2.5 Intervjuobjekter

Intervjustudie besto av 2 ulike typer intervjuobjekter, og dermed også 2 ulike sett med spørsmål. (1) Leverandører av tjenester for behandling av punktskyer, hovedsakelig for identifisering av avvik mellom prosjekterte modeller og as-built punktskyer av det som faktisk har blitt bygget. Disse selskapene vil bli omtalt som “leverandører”, som en samlebetegnelse for alle programvarer som tilbyr en løsning for sammenligning av BIM modeller med punktskyer. Disse består av Imerso, Scaled Robotics, BIMcollab ZOOM og Dalux. (2) Bygg entreprenører og eventuelt andre selskaper som er kunder av disse leverandørene. Det vil si de som skal ta i bruk disse programvarene for å identifisere avvik og utføre kvalitetskontroll. Disse vil bli referert til som “entreprenører”, som en

samlebetegnelse for alle som er mottakere av denne type tjenesten. Alle intervjuer ble tatt opp, slik at det ga mulighet for transkribering og analysering i etterkant. Dette ble informert om på forhånd, slik at intervjuobjektene kunne samtykke eller takk nei til opptak.

Tabell 2.1.: Oversikt over intervjuobjektene fra entreprenør siden.

Navn	Bedrift	Rolle	Erfaring
Anders Rolseth	Veidekke	Stiknings- og skanning ansvarlig	25 år
Cato Hoel	Backe	Digitalisering	24 år
Christoffer Carl- sen	Betonmast Buske- rud Vestfold	Leder for digitalisering og innovasjon	6 år
Henrik Bakke	HENT AS	Systemansvarlig BIM	9 år
Henrik Thingbo	Helse Stavanger HF	Digital samhandlingskoordinatør	
Ruben Myreng	Veidekke	BIM koordinator	7 år
Øyvind Kjøllestad	AF Gruppen	Forretningsutvikler for innovasjon og digitalisering	20 år

Tabell 2.2.: Oversikt over intervjuobjektene fra leverandør siden.

Navn	Bedrift	Rolle	År i bedrift
Stuart Maggs	Scaled Robotics	CEO	7 år
Bharath Sankaran	Scaled Robotics	CTO	7 år
Anonym (svarte på spørsmålene skriftlig via mail)	Imerso	Markedsfører	1 år
Gerben Bout- hoorn	BIMcollab ZOOM	Product owner	5 år
Ole Petter Jet- mundsen	Dalux	Digitaliserings rådgiver	1 år

2.2.6 Analyse

De gjennomførte intervjuene ble transkribert for å kunne videre analysere tilbakemeldingene. Dette ble gjort så tidlig som mulig etter hvert intervju for å få det så riktig som mulig, samtidig som intervjuobjektene lå ferskt i minne. Dersom det var enkelte tanker eller ideer som satt i hodet om spesifikke kommentarer, ga det også muligheten for å skrive det ned så fort som mulig. Da alle intervjuene var transkribert, kunne de videre bli analysert.

For å analysere intervjuene ble Nvivo brukt som et hjelpemiddel, som er et analyseverktøy for kvalitativ forskning. Programmet ble hovedsaklig brukt for å kode teksten fra

intervjustudie ved bruk av noder. Koding av tekst betyr å dele dataene inn i håndterbare segmenter, for å gi rask tilgang til relevante data når det er behov for det (Amanda Swygart-Hobaugh, 2018). En node i Nvivo er en form for beholder av informasjon og materiale om et tema. Når en node åpnes, kan brukeren se alle referanser i prosjektet som er knyttet til denne noden, altså temaet. Dette ga muligheten til å strukturere og sammenligne data fra intervjuene, som i utgangspunktet besto av mye ustrukturert informasjon. Det gjorde det enklere å identifisere mønstre, sammenhenger, likheter og ulikheter mellom intervjuobjektene, og ga muligheten for å trekke paralleller og konklusjoner.

2.3 Metodekvalitet

2.3.1 Reliabilitet og validitet

For vurdering av kvalitet på data og informasjon som er innhentet i en kvalitativ forskning, blir ofte begrepene reliabilitet (pålitelighet) og validitet (gyldighet) brukt som kriterier. I korte trekk handler reliabilitet om troverdigheten til det som undersøkes. Den gir en indikasjon på troverdigheten, ved å undersøke i hvilken grad en forskning eller undersøkelse gir samme resultater dersom den blir gjentatt (Denzin & Lincoln, 2018). Validiteten på den andre siden, skal gi en indikasjon på informasjonens relevans. Den handler blant annet om forklaringene, tolkningene og hvorvidt man kan trekke gyldige slutninger om oppgavens formål (Dahlum, 2021).

2.3.2 Oppgavens troverdighet

2.3.2.1 Troverdigheten til teoretisk data

I denne oppgaven er det forsøkt å oppnå en høy reliabilitet til den teoretiske informasjonen som er benyttet, ved å vurdere publiseringsdato, publiseringskanal og forfatterens kredibilitet. Samtidig er det forsøkt å skille mellom konkrete beskrivelser og tolkninger, i tillegg til å dobbeltsjekke samme informasjon med flere kilder. Desto flere kilder som bekrefter det samme, desto høyere reliabilitet vil oppnås. En kilde som har blitt benyttet i flere avhandlinger vil også gi en indikasjon på høy reliabilitet. Disse faktorene har blitt tatt i betraktning under innsamling av teoretisk data. For å sikre validitet har det blitt brukt relevante søkeord for å finne relevante kilder. Samtidig ble det gått gjennom sammendragene og konklusjonene til kildene som ble vurdert.

2.3.2.2 Troverdigheten til empirisk data

Da resultatet i oppgaven hovedsaklig baserer seg på empirisk data har det vært viktig å sikre seg både god reliabilitet og validitet fra intervjustudie. Det kan derimot være vanskelig å tilfredsstille krav om reliabilitet for denne oppgaven, noe som er normalt for kvalitative undersøkelser. I denne oppgaven skyldes dette ulike årsaker.

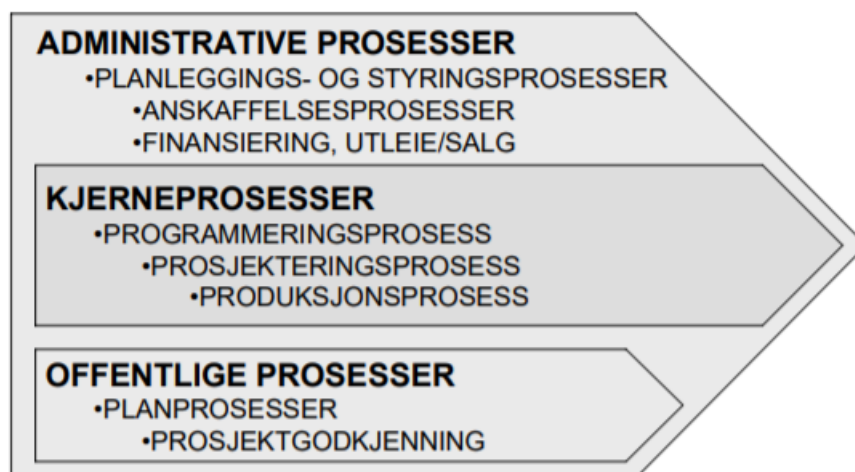
For det første så er dette en relativ ny teknologi forbygge bransjen, som fortsatt er under utvikling. Mange av entreprenørene har nylig tatt i bruk laserskanning, eller kun testet dette. De er i en prosess hvor de selv undersøker mulighetene og prøver å implementere teknologien i prosjekter. Holdningene og erfaringene kan derfor variere blant intervjuobjektene. Dersom en tilsvarende undersøkelse blir utført i fremtiden, kan sannsynligvis effekten av teknologien og erfaringen blant intervjuobjektene ha endret seg. I tillegg kan omstendighetene både innenfor og utenfor selskapene ha endret seg. Dette kan være endringer i organisasjonsstruktur, krav fra byggherrer om bruk av laserskanning eller konkurransesituasjon. Samtidig kan intervjuobjektene være påvirket av mine personlighetstrekk, og deres egen personlig erfaring. Dette er eksempler på hvorfor det kan være vanskelig å komme fram til samme resultater og konklusjon, dersom en annen skulle gjennomført samme type forskning i et senere tidspunkt. Dette har det vært viktig å være bevisst på gjennom oppgaven. Dersom flere intervjuobjekter tilsier den samme informasjonen, vil det derimot vise tegn på høyere reliabilitet.

Det har også vært viktig å oppnå høy validitet i oppgaven. Dette har blitt forsøkt ved å intervju relevante folk fra bransjen med god kunnskap og erfaring med laserskanning. Intervjuobjektene har en rolle som gjerne omhandler digitalisering, innovasjon og teknologi. De fleste er også direkte involvert i laserskanning, og har lang erfaring fra bransjen. Dette har sørget for å styrke validitet i oppgaven. I tillegg ble intervjuguide med beskrivelse av undertegnede, oppgaven og spørsmålene sendt på forhånd til intervjuobjektene. Dette har gitt intervjuobjektene mulighet for forberedelse i forkant, som kan ha ført til bedre validitet. Med oppfølgingsspørsmål har det også vært mulighet å hente den informasjonen som ønskes.

Det teoretiske grunnlaget for denne forskningen baserer seg på utforskning av eksisterende litteratur og teorier om digital tvillinger, laserskanning, BIM og andre teknologier som er viktig for bruken av laserskanning og digitale tvillinger. Teori om digitale tvillinger og laserskanning vil derimot bli presentert i et eget kapittel. I første del av dette kapitlet presenteres det en kort forklaring av de ulike fasene i en byggeprosess. Deretter blir det gitt korte forklaringer av relevante teknologier, etterfulgt av en beskrivelse av BIM og hva det innebærer.

3.1 Byggeprosessen

“Byggeprosessen omfatter alle prosesser som fører fram til eller er en forutsetning for det planlagte byggverk” (Eikeland, 2001). Slik definerer professor Per Eikeland byggeprosessen. Dette vil si at byggeprosessen skal dekke alle delprosesser fra det initieres til det fullføres. Det innebærer alt fra planlegging, anskaffelser, finansiering til produksjon, innflytning og driftstart osv. Fasene kan deles inn på ulike måter, men Eikeland (2001) grupperer de inn i administrative prosesser, kjerneprosesser og offentlige prosesser. De administrative oppgavene skal legge til rette for planlegging og styring av kjerneprosessene, som handler om selvet produktutviklingen og den fysiske produksjonen av bygget. Figur 3.1 illustrerer hva som inngår i de 3 ulike grupperingene.



Figur 3.1.: Byggeprosessens delprosesser, hentet fra (Eikeland, 2001).

Byggeprosessens kjerneprosesser deles igjen inn i 3 ulike delprosesser eller faser. (1) Programmeringsprosessen, som handler om å identifisere alle krav som byggverket må tilfredsstillere. (2) Prosjekteringsprosessen, som handler om å utvikle, utforme og beskrive byggets fysiske egenskaper. Det er i denne prosessen det også utvikles BIM modeller som skal representere det som senere skal bygges. (3) Produksjonsprosessen, som er den fysiske utførelsen av byggverket. Det er i denne prosessen man bygger selvet bygget i henhold til det som er prosjektert, hvor man gjerne følger BIM modellene. Disse fasene kommer i en kronologisk rekkefølge, men det er samtidig viktig å understreke at det ofte er en betydelig overlapp i tid mellom disse kjerneprosessene. (Eikeland, 2001)

3.2 IT

I dette delkapitlet vil viktige IT-konsepter som har relevans for byggeindustrien, digitale tvillinger og laserskanning introduseres kort.

IoT

IoT står for Internet of Things (Tingenes Internett). IoT handler om å koble fysiske objekter sammen for å gi de mulighet til å kommunisere med hverandre og omgivelsene. I utgangspunktet kan alle fysiske objekter som har plass til de tekniske komponentene som er nødvendig kobles til internett. Det kan være alt fra biler og hus, til mindre objekter som kaffemaskiner. Det blir ofte brukt sammen med sensorer for å måle aktivitet/bevegelse, temperatur, strøm, luftkvalitet, fuktighet, vann osv (Telenor, u.d.). Typiske bruksområder kan være overvåking og vedlikehold, som sammen med digitale tvillinger kan komplementere effekten av disse teknologiene. I seksjon 4.1.3 er det gitt eksempler på hvordan IoT, sensorer og digitale tvillinger kan jobbe sammen for å løse ulike problemer.

AI

Artificial Intelligence (kunstig intelligens) er en teknologi som ofte blir nevnt i mange ulike sammenhenger. Årsaken er at bruksområde kan være så mangt, og det kan bidra til å effektivisere mange prosesser og arbeidsmetoder. Det stammer derfor igjen flere individuelle teknologier bak det generelle fagfeltet som blir omtalt som AI. Eksempler på de individuelle teknologiene kan være computer vision, maskinlæring, robotikk osv. Interessen for AI har økt betraktelig de siste årene, og det er flere selskaper som har begynt å investere i denne teknologien. Deloitte definerer teknologien slik på

deres nettside, “Kunstig intelligens (AI) er teori og utvikling av datasystemer som er i stand til å gjennomføre oppgaver som vanligvis krever menneskelig intelligens” (Deloitte, u.d.). Typiske oppgaver som kan løses med kunstig intelligens inkluderer visuell persepsjon, talegjenkjennelse, beslutningstaking i usikre situasjoner, læring, oversettelser og mye mer (Deloitte, u.d.). Flere av dagens selskaper som tilbyr programvarer for å identifisere avvik med laserskanning i byggeprosjekter tar nytte av denne teknologien.

Machine Learning

Maskinlæring handler om evnen til datamaskiner å forbedre sin egen ytelse ved å eksponerer seg for informasjon, uten behovet for å eksplisitt følge programmeringsinstruksjoner. Det vil si at den automatisk lærer å se mønstre og yte bedre på egen hånd, uten behovet for å bli programmert til å utføre spesifikke instruksjoner. (Deloitte, u.d.)

Robotikk

Robotikk handler om bruken av roboter til å utføre spesifikke oppgaver. Dette kan effektivisere prosesser utført av menneskelig arbeidskraft, men også for å utføre oppgaver i uforutsigbare miljøer hvor det kan være risiko for alvorlige situasjoner. Ved hjelp av kognitive teknologier som kunstig syn, små avanserte sensorer, motorer og smart designet maskinvare har det gitt muligheter for at roboter og mennesker kan jobbe sammen. På byggeplassen kan man for eksempel utstyre en robot med en laserskanner for å gjennomføre skanninger av byggeplassen. (Deloitte, u.d.)

AR

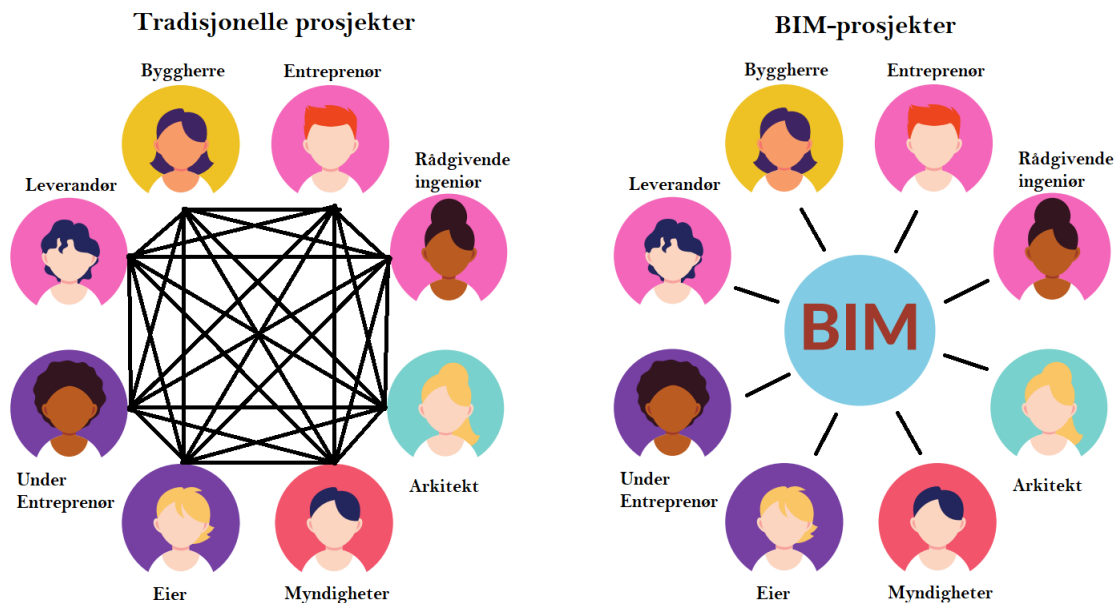
Augmented Reality (utvidet virkelighet) er en teknologi som handler om å blande faktisk virkelighet med virtuell (digital) virkelighet. Den kombinerer data fra den fysiske verden, med virtuell data på for eksempel en mobilskjerm. Det gir brukeren et ekstra lag med informasjon som kan brukes for å ta bedre beslutninger. På byggeplassen kan det brukes til å se digitale bygningsmodeller opp mot faktiske omgivelser på mobiltelefonen. Det er allerede selskaper som tilbyr slike løsninger, blant annet Dalux (Strand, 2020a).

3.3 BIM

BIM er et velkjent akronym i bygg- og anleggsbransjen og står for Building Information Model. På norsk kan det oversettes til “Bygnings Informasjons Modell”. Man kan tenke på det som en digital geometrisk 3D-modell med informasjon om det som skal bygges, selvom det er mye mer enn kun dette. Selvet “M”en i BIM kan også tolkes som “Management”, da BIM også kan spenne over drift og forvaltning (Lorek, 2021). Begrepet blir derfor oppfattet forskjellig av ulike aktører, fordi det er vanskelig å definere begrepet med en setning eller et avsnitt. BIM er definert som følgende i ISO 19650:2019 (standard serie for bruk av BIM):

Use of a shared digital representation of a built asset to facilitate design, construction and operation processes to form a reliable basis for decisions. (NGI, u.d.)

BIM ble først og fremst til for å skille den informasjonsrike 3D-modelleringen fra den tradisjonelle 2D-tegningen. Dette har vært en avgjørende suksessfaktor for kompliserte prosjekter, på grunn av dets evne til å rette feil tidlig i prosjekteringsfasen, og planlegge byggingen med en mye høyere nøyaktighet (Kubba, 2016). BIM gjør det også enklere å samarbeide og kommunisere mellom ulike fagfelt. For flere år tilbake besto et byggeprosjekt team gjerne av kun en arkitekt og ingeniør. I dag består det av byggherre, arkitekter, ulike type ingeniører, totalentreprenører, underleverandører osv. I tillegg til dette bruker gjerne flere av disse fagfeltene deres egne programvarer og verktøy. Tiden før BIM ble det brukt epost for å dele informasjon mellom de ulike fagfeltene, som ofte førte til rot og tap av informasjon. Ved hjelp av BIM skal man kunne unngå dette, ved at all data og informasjon om bygget blir tilkoblet denne BIM plattformen. Disse plattformene har gjerne ulike funksjoner og benytter seg av forskjellige programvarer, men de skal alle være skybaserte og inkluderer som regel i tillegg en 3D-BIM modell. Dette gjør det mulig for ulike aktører å administrere brukertilgang og hente den data og informasjon det er behov for. (Angeles, 2018)



Figur 3.2.: Informasjons- og kommunikasjonsutveksling i tradisjonelle prosjekter vs BIM-prosjekter, basert på (Chen et al., 2005).

I dag har BIM blitt tatt i bruk i mer enn et tiår, og bruken av BIM og dets bruksområder har vært i stadig utvikling. BIM er altså både en prosess for kommunikasjon og et verktøy for deling av informasjon. Det inkluderer som nevnt også en 3D-BIM modell. Det er dermed ikke kun en 3D modell av en bygning, men den inneholder også informasjon om det som skal bygges. Dette kan være informasjon om objektets egenskaper (farge, geometri), relasjoner (møtende elementer), analyser (energi, miljø), pris, leverandører osv. Det bidrar til forbedret kommunikasjon mellom de ulike aktørene i et byggeprosjekt (Charef et al., 2018). Den informasjonen som hentes ut fra BIM modellen, kan gjerne også deles inn i kategorier. Disse blir omtalt som BIM-dimensjoner.

3.3.1 BIM dimensjoner

Bruksområdene for BIM kan som nevnt kategoriseres inn i dimensjoner, faktisk opp til 8 forskjellige dimensjoner. Figur 3.3 gir en visuell presentasjon av de ulike dimensjonene med en kort forklaring. Den viktigste dimensjonen en trenger å forstå for denne oppgaven er 3D. 3D-BIM er både den mest brukte og kjente dimensjonen. Den skal gi en visuell representasjon av det som skal bygges. Dette inkluderer alt av informasjon fra hvor vinduer, dører, bærebjelker, utsparinger, rør osv skal plasseres til deres dimensjoner, farger og materialer. Som en følge av dette, tilfører det en mengde med merverdi. Blant annet kan man hente ut informasjon om mengdeuttak av vinduer

eller andre objekter med få tastetrykk, istedenfor å telle antall elementer manuelt ved bruk av 2D-tegninger.

En annen fordel med 3D-BIM er muligheten for å gjennomføre kollisjonskontroll. Det er en form for digital kvalitetssikring av fagmodellene på objektnivå. “Kontrollen finner feil i den tverrfaglige koordinering før det bestilles og bygges. Den viktigste type feil som kollisjonskontrollen brukes til å finne, er hvis to eller flere objekter sitter på samme plass i BIM’en” (buildingSMART, 2013, avsnitt 1). Modellen oppdager altså objekter som er plassert såpass tett inntill hverandre at det kan skape problemer. For eksempel om et el-rør kolliderer eller står veldig nært et ventilasjonsrør. På denne måten kan man finne slike feil på et tidlig tidspunkt, for å unngå ekstra tid og kostnader for å rette opp feil på byggeplassen under produksjonsfasen. De resterende dimensjonene i BIM blir beskrevet av Kristian Balke, tidligere BIM leder for Skanska, slik:

Vi bygger i 3D. Tegninger er som sagt 2D. Legger du til geometrien i bygget får du 3D. Legger du til tid får du 4D. Legger du til kost får du 5D. Legger du til forvaltning, drift og vedlikehold får du 6D. For å få 7D må du legge til bærekraft og klarer du dytte inn HMS i modellen også får du 8D. (Linge, u.d.)



Figur 3.3.: Oversikt over BIM dimensjonene.

3.3.2 Lukket og åpen BIM

Et av de viktigste verdiene som tilføres ved bruk av BIM er forbedret kommunikasjon og informasjonsutveksling mellom de ulike fagfeltene som samarbeider i et byggeprosjekt. Dette gjelder både for prosjekterings-, produksjons- og driftfasen av et prosjektet. Som det ble nevnt i seksjonen 3.3 bruker gjerne disse ulike fagfeltene sine egne programvarer og verktøy til å lage BIM-modeller. Et problem som derfor kan oppstå er at de ulike fagfeltene ikke får åpnet hverandres BIM-modeller, på grunn av manglende lisens til et spesifikt program. Dersom for eksempel en prosjekteringsingeniør jobber med en revit modell, vil denne filen lagres med en spesifikk filendelse, nemlig rvt. Dersom en arkitekt nå vil se nærmere på denne BIM modellen, krever det at arkitekten

har tilgang til dette spesifikke programmet, revit i dette tilfellet. Denne begrensningen hemmer hele formålet med BIM, og dette blir kalt for lukket BIM.

For å løse dette problemet har det blitt utarbeidet et rammeverk av den internasjonale organisasjonen, BuildingSMART. Løsning blir kalt for åpenBIM. Med åpenBIM skal det gi mulighet for at ulike fagfelt kan se nærmere på hverandres BIM modeller, uten behov for lisens til et spesifikt program. Det gjøres ved å eksportere filene som en IFC format, som kan åpnes i stort sett alle programmer. Dette skal skape en arbeidsflyt som samsvarer med verdiene og formålene til BIM. “åpenBIM gir aktørene mulighet til å benytte og utveksle 3D modeller med essensiell informasjon, entydige beskrivelser av bygningsobjekter og støtteprosesser som kvalitetssikrer prosjekter” (buildingSMART, 2014).

For å oppnå en slik arbeidsflyt med maksimal utnyttelse av BIM må det legges til rette for tre hovedelementer. Disse er (1) en omforent lagringsformat (IFC), (2) enighet om terminologi (bsDD) og (3) kobling av BIM til relevante forretningsprosesser (IDM). Disse tre hovedelementene er også det som bygger grunnlaget for BIM-trekanten, illustrert i figur 3.4. Listen under gir en mer detaljert beskrivelse av disse tre elementene, hentet direkte fra BuildingSMART.

1. buildingSMART Datamodell (IFC)

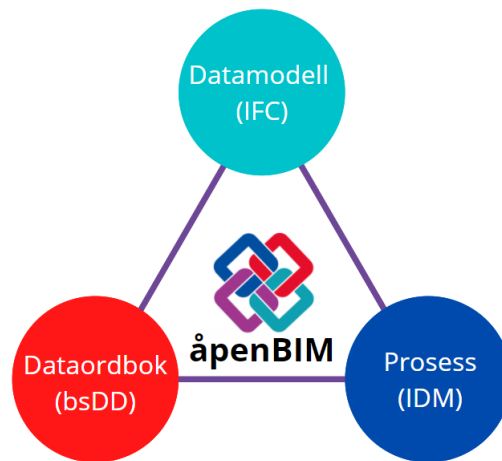
buildingSMART Datamodell er et filformat, kalt IFC (Industry Foundation Classes), som gjør at aktørene i byggenæringens verdikjede kan utveksle komplekse modeller med hverandre, uavhengig av programvaren som brukes. (buildingSMART, 2014)

2. buildingSMART Dataordbok (bsDD)

buildingSMART Dataordbok gir grunnlag for felles terminologi i bruken av åpenBIM slik at alle modeller tolkes entydig av aktører og forhandlere. (buildingSMART, 2017)

3. buildingSMART Prosess (IDM)

buildingSMART Prosess (tidligere kalt IDM, Information Delivery Manual) er en standardisert prosess og leveranse spesifisering som beskriver aktører, prosedyrer og krav til leveranser i prosjekter. Beskrivelsene er viktig for å få alle fag tilknyttet et prosjekt til å jobbe effektivt sammen. (buildingSMART, 2020)



Figur 3.4.: BIM-trekanten.

3.3.3 BIM i produksjonsfasen

BIM i produksjonsfasen har ikke vært i like mye bruk og utslagsgivende som det er for prosjekteringsfasen. Det krever samarbeidsvillighet fra flere aktører, blant annet håndverkere osv. I mange år var BIM i produksjonsfasen forbeholdt funksjonærer ved anleggskontoret. De siste årene derimot har det blitt fokusert på å inkludere BIM på byggeplassen, der selvet byggingen foregår. I dag har det blitt vanligere med BIM på nettbrett, og spesielt BIM kiosker. Men selv med BIM kiosker, hindrer det ikke fortløpende feil under utførelsen av byggeprosjektet. Det er derfor fremdeles viktig med kvalitetskontroll, dette vil bli diskutert ytterligere i kapittel 6.

BIM kiosk

En BIM kiosk består veldig enkelt av en kraftig PC med en stor skjerm, som er synkronisert med prosjektets BIM modell, oppdatert i sanntid. Den er plassert på byggeplassen, og må derfor være tilpasset byggeplassens støvete og røffe miljø. Poenget med kiosken er å erstatte papirtegninger på byggeplassen, og unytte det arbeidet som er utført med BIM fra de tidligere fasene i en større grad. På denne måten kan også håndverke og andre arbeidre på byggeplassen ta nytte av BIM i sitt arbeid (Bråthen & Molad, 2016). Figur 3.5 viser en BIM kiosk montert på vegg. Her kan håndverkere enkelt hente oppdaterte modeller og nødvendig informasjon fra webhotell. Dette kan være alt fra plan- og detaljtegninger til informasjon om armeringer. Det kan også være en mulighet å legge til fremdriftsplaner (4D BIM) og kostnader (5D BIM), men nødvendigheten til dette på byggeplassen kan diskuteres. Desto mer informasjon i BIM kiosken, desto vanskeligere vil det også være å finne fram til relevant informasjon.

Ketil Bråthen og Leif E. Moland har dokumentert noen av fordelene BIM kiosker har tilført håndverkere på byggeplassen. Det er liten tvil om at dette har skapt et stort engasjement og verdi på byggeplassen. Nedenfor er det gitt en liste med kommentarer fra håndverkere, fra rehabiliteringsprosjektet av Urbygningen ved NMBU på Ås. Sitatene er hentet direkte fra Bråthen & Molad (2016) rapport om “Samhandlingsfase og BIM på byggeplass”. Funnene tyder på at implementeringen av BIM både effektiviserer arbeidet til håndverkerne, samtidig som det reduserer sannsynligheten for at noe blir bygget feil. Det er derimot viktig å presisere at BIM kioskene alene ikke fungerer som en kvalitetskontroll på at ting blir utført riktig. Liste med kommentarer fra håndverkere sine erfaringer med bruk av BIM-kiosk, hentet direkte fra (Bråthen & Molad, 2016):

- *Det er mye lettere å lete opp detaljer i modellen i forhold til tegninger. Tegningene kan noen ganger være nesten umulige å forstå.*
- *Jeg kan se av tegningen at det skal være noen rør her. Dette er det jeg jobber med akkurat nå. Men av tegningen kan jeg ikke se om rørene ligger nedi gulvet eller over taket. Ved hjelp av modellen ser jeg med en gang at rørene skal være over taket.*
- *Jeg er elektriker, se på disse kompliserte tegningene vi bruker. Det er mye enklere å se på modellen på skjermen.*
- *Jeg jobber med ventilasjon, og våre tegninger er ofte kompliserte, med massevis av detaljer. Det er andre fag vi må forholde oss til også. Modellen viser ting mye klarere, og jeg kan se hvordan det vil se ut når alt er ferdig.*



Figur 3.5.: BIM kiosk montert på vegg. Bilde tatt fra Lyse Elnett prosjektet på Sandnes.

Digitale tvillinger og laserskanning

Dette kapitlet er delt inn i 2 deler. I første del blir det gitt et teoretisk grunnlag om digitale tvillinger. Her blir historien bak digitale tvillinger, hva det egentlig er, og deres bruksområder presentert. I andre del av kapitlet blir det gitt et teoretisk grunnlag om laserskanning, og hvordan det kan benyttes i byggebransjen.

4.1 Digitale Tvillinger

4.1.1 Historien bak digitale tvillinger

Historien bak digitale tvillinger er relativ kort, noe som i stor grad skyldes de teknologiske begrensningene under den tidlige utviklingen. Den teoretiske utviklingen av digitale tvillinger kan deles inn i tre stadier etter Tao et al. (2019), “formation” (dannelse), “incubation” (inkubasjon) og “growth” (vekst). Det er i dag snart 20 år siden begrepet og konseptet “Digitale Tvillinger” først ble presentert av Michael Grieves på Universitetet i Michigan. Presentasjonen “Conceptual Ideal for PLM (Product Lifecycle Management)” laget av Grieves i 2002 blir ansett som opprinnelsen, og første møte med konseptet digitale tvillinger (Grieves & Vickers, 2017). Terminologien og beskrivelsen av digitale tvillinger har forandret seg over tiden, men det grunnleggende konseptet om å replikere et eksisterende objekt har holdt seg stabilt.

Tao et al. (2019) klassifiserer 2002 som “Formation Stage” da dette var første gang konseptet ble presentert. På grunn av den raske utviklingen av kommunikasjonsteknologi, tingens internett (IoT), sensorteknologi, stordata (big data) og simuleringsteknologi fra 2003 til 2011 blir den omtalt som “Incubation Stage” av Tao et al. (2019). Denne perioden bidro til fremveksten av digitale tvillinger. I tillegg ble den første tidsskrift-artikkelen som utdypet hvordan hvordan digitale tvillinger kunne nyttiggjøres for å forutsi flyets strukturelle liv, publisert i 2011 (Tao et al., 2019). Siden den gang har antall artikler om konseptet digitale tvillinger og hvordan det kan brukes i ulike industrier økt drastisk. Denne perioden har derfor blitt klassifisert som “Growth Stage” av Tao et al. (2019). I dag kan vi se flere industrier som har tatt i bruk digitale tvillinger

for ulike formål, disse vil bli presentert kort i seksjon 4.1.3. Vi kan derfor forvente at digitale tvillinger vil være en av de viktigste teknologiene for dette tiåret.

4.1.2 Hva er digitale tvillinger?

Digitale tvillinger er et vidt begrep, som ikke alltid er like enkelt å forklare. Ulike industrier kan gjerne definere det på forskjellige måter, avhengig av hvordan den spesifikke bransjen tar i bruk denne teknologien. De fleste definisjoner i litteraturen derimot, beskriver begrepet på en lignende måte: *Digitale tvillinger er en virtuell representasjon av et fysisk objekt, et sted, et system, eller en prosess.* Det er derimot ikke alltid like enkelt, fordi en digital tvilling også skal oppgi noe informasjon om objektet. Dette kan for eksempel være informasjon om objektets tilstand eller en sanntids oppdatering av objektet. Det er derfor ikke *bare* en digital kopi av objektet, da dette er noe man kan få ved å kun scanne et bilde, ta bilde av objektet, eller lage en 3D modell av gjenstanden (Tekna, 2020).

Tabell 4.1 presenterer de oftest repeterende definisjons kategorier av digitale tvillinger i litteraturen, basert på masteroppgaven til Hultgren & Lundstrøm (2020) fra Chamlers University of Technology. Med definisjons kategori menes hvilke egenskaper en digital tvilling bør besitte, for å bli klassifisert som digital tvilling. 23 litteratur artikler ble vurdert i studie deres, hvor 59 ulike definisjoner ble observert. Av disse ble det laget 7 ulike definisjons kategorier for hva en digital tvilling minst burde inneholde. De aller fleste er enige om at en digital tvilling i den enkleste form er en digital/virtuell representasjon av et fysisk objekt. Her er det viktig å presisere at de fleste av disse artiklene også støtter mange av de andre definisjons kategoriene.

Tabell 4.1.: Antall prosent av de 23 artiklene som støtter definisjons kategoriene av digitale tvillinger. Funnene er basert på (Hultgren & Lundstrøm, 2020).

Definisjons kategori	Beskrivelse	
En digital/virtuell representasjon av et fysisk objekt	En digital tvilling burde inneholde 2 deler	87%
Representere hele livssyklusen	En digital tvilling bør vurdere PLM-aspekter	61%
Gjenspeile sanntid	En digital tvilling skal reflektere hva som skjer akkurat nå	39%
Tre deler: fysisk, digital og en tilkobling mellom dem	En digital tvilling bør inneholde 3 deler	30%

Det som veldig mange er enige om, er at fremstillingen av en digital tvilling ofte krever tre vesentlige elementer eller punkter. DigitalNorway, en “non-profit” virksomhet startet av flere engasjerte og fremtredene næringslivsaktører for å fart på digitaliseringen av norsk næringsliv, beskriver disse tre punktene på følgende måte. Hentet direkte fra (DigitalNorway, 2021b).

1. Du har et fysisk produkt, objekt eller en prosess
2. Dette gjenskapes i en virtuell, digital versjon
3. Data utveksles mellom de to – objektet i virkeligheten og den virtuelle representasjonen – og dette knytter de to sammen

Hvordan fungerer en digital tvilling?

Digitale tvillinger er ofte assosiert med IoT og sensorer, men er også nært beslektet både skyplattformer, visualiseringer, VR, AR og mer. IoT-enheter bruker sensorer til å samle data om et fysisk objekt. Når det kommer til digitale tvillinger, blir IoT brukt for å samle nøyaktig data og informasjon om det fysiske objektet, som deretter blir behandlet for å lage en digital tvilling. Ved bruk av flere avanserte sensorer, kan de digitale tvillingene bli oppdatert med stadig mer detaljert sanntidsinformasjon. Selvet visualiseringen av de digitale tvillingene foregår i et brukervennlig grensesnitt laget for tredimensjonal visning. Det kan være alt fra en mobilapplikasjon, et kart, et dashboard, til et mer avansert forretningsanalyseprogram. (DigitalNorway, 2021c)

Ulike nivåer av digitale tvillinger

Basert på de definisjonene som er gitt av digitale tvillinger, kan man indentifisere en felles forståelse av begrepet. Det kan tolkes som en digital representasjon av et objekt, som utveksler data og informasjon mellom hverandre. Innenfor disse definisjonene, blir ofte terminologiene “Digital Model”, “Digal Shadow” og “Digital Twin” brukt om hverandre. Det er derimot en forskjell i datanivået mellom det fysiske og digitale motstykke for disse begrepene (Kritzinger et al., 2018). Det finnes digitale representasjoner som er modellert manuelt, som ikke er forbundet med noen eksisterende fysisk objekt, mens andre er integrert med sanntids datautveksling. Det har derfor blitt foreslått en klassifisering av digitale tvillinger av Kritzinger et al. (2018), i henhold til deres nivå på dataintegrasjon. “Digital Model” er rangert som det laveste nivået med data integrasjon, etterfulgt av “Digital Shadow”, og til slutt “Digital Twin” som er klassifisert som det høyeste nivået av integrert data.

Digital Model

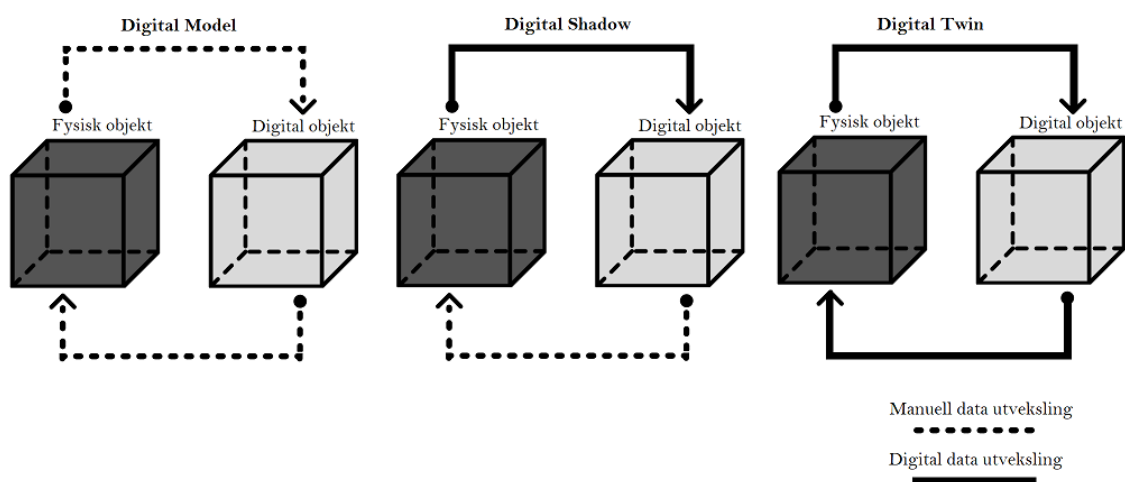
En “Digital Model” er en digital representasjon av et eksisterende eller planlagt fysisk objekt. Her finnes det ingen form for automatisert datautveksling mellom det fysiske og virtuelle. Det er beskrevet at data utvekslingen mellom det fysiske objektet og den digitale representasjonen styres manuelt, som visualisert i figur 4.1. Det vil si at en endring i tilstanden til det fysiske objektet, ikke har noen direkte effekt på det digitale objektet, og omvendt. (Kritzinger et al., 2018)

Digital Shadow

Begrepet “Digital Shadow” som har et høyere nivå av dataintegrasjon, mellom det fysiske og virtuelle, bygger videre på begrepet “Digital Model”. Hvis det eksisterer en enveis automatisert dataflyt mellom det eksisterende objektet og den digitale representasjonen, kan man referere til en slik kombinasjon som “Digital Shadow”. Som visualisert i figur 4.1, vil en endring i tilstanden til det fysiske objektet føre til en endring i tilstanden til det digitale objektet, men ikke omvendt. (Kritzinger et al., 2018)

Digital Twin

“Digital Twin” er igjen basert på de to foregående begrepene. Hvis det nå flyter data i begge retninger, mellom det eksisterende fysiske objektet og det digitale objektet, kan det refereres til som en “Digital Twin”. I en slik kombinasjon er dataintegrasjonen komplett. En endring i tilstanden til det fysiske objektet fører direkte til en endring i tilstanden til det digitale objektet, og omvendt, som visualisert i figur 4.1. (Kritzinger et al., 2018)



Figur 4.1.: Oversikt over datautveksling for Digital Model, Digital Shadow og Digital Twin, basert på (Kritzinger et al., 2018).

Digitale tvillinger - Modenhetsnivå

Det finnes også andre måter å klassifisere nivåer av digitale tvillinger. Et annet konsept som har blitt presentert i litteraturen av Madni et al. (2019) er dets modenhetsnivå eller nivå av intellekt. Forfatterene bak denne klassifiseringen introduserer 4 forskjellige begreper, for å skille mellom nivåene til de digitale tvillingene. Disse er fra lav til høy grad av modenhet, “Pre-Digital Twin”, “Digital Twin”, “Adaptive Digital Twin” og “Intelligent Digital Twin”. Tabell 4.2 presenterer de ulike nivåene av modenhet og deres kjennetegn, basert på (Madni et al., 2019).

Kort oppsummert er *pre-digital twin* den tradisjonelle virtuelle prototypen som blir opprettet i en tidlig prosjektering eller design fase, som brukes til beslutningsstøtte og redusere risiko. Denne tvillingen har ingen fysisk motstykke, og kan sammenlignes med en 3D BIM modell. Det neste nivået av modenhet *digital twin* har et fysisk motstykke hvor data om drift, helse og vedlikehold kan hentes ved hjelp av sensorer. På denne måten kan den digitale tvillingen oppdateres i henhold til de dataene som er samlet. Datautvekslingen på dette nivået er toveis. (Madni et al., 2019)

Nivå 3 eller *adaptive digital twin* bygger videre på det foregående nivået. Det har også et fysisk motstykke, men den digitale tvillingen i dette tilfelle vil oppdateres kontinuerlig basert på datene som blir hentet fra det fysiske objektet. Ved bruk av maskinlæring har den også mulighet til å tilpasse brukergrensesnittet for forskjellige brukere og lære individuelle brukeres preferanser. På dette nivået av intelligens kan den støtte sanntidsplanlegging, beslutningstaking under drift, vedlikehold og support. På det høyeste modenhetsnivået *intelligent digital twin*, skal den digitale tvillingen ha alle funksjonene til nivå 3. I tillegg skal den besitte andre tilleggsfunksjoner. Denne digitale tvillingen hevdes vil ha høy grad av autonomi. (Madni et al., 2019)

Tabell 4.2.: Digitale tvillinger klassifisert inn i fire ulike nivåer basert på deres modenhetsnivå, rangert fra lav til høy. Tabell basert på (Madni et al., 2019, s. 5).

Nivå	Fysisk Tvilling	Data Innsamling fra Fysisk Tvilling
Pre-Digital Twin	Nei	Ikke aktuelt
Digital Twin	Ja	ytelse, helse status, vedlikehold, batch oppdateringer
Adaptive Digital Twin	Ja	ytelse, helse status, vedlikehold, sanntidsoppdateringer
Intelligent Digital Twin	Ja	ytelse, helse status, vedlikehold, miljø/omgivelser, både batch og sanntidsoppdateringer

4.1.3 Bruksområder

Digitale tvillinger kan blant annet bli brukt for overvåking (ved å for eksempel lage en eksakt 3D-versjon av en oljeplattform som oppdateres i sanntid for å overvåke eventuelle lekkasjer og annet), forutse fremtiden (med digitale tvillinger blir det enklere å inspisere og holde øye med ting som ellers er vanskelig å undersøke kontinuerlig, som feks vindmøller) eller what-if scenarioer (for å teste hva utfallet blir ved ulike situasjoner) (Tekna, 2020). Under er det gitt en liste med kort forklaring på hvordan digitale tvillinger kan bli brukt i ulike bransjer.

Liste over hvordan ulike industrier bruker digitale tvillinger:

- **Petroleum**

Ved å lage digitale tvillinger av oljeplattformen med bruk av IoT og sensorer kan oljeindustrien overvåke, inspisere, varsle, forutse og vedlikeholde mer effektivt (DigitalNorway, 2021a). Chevron Corporation, et av verdens største olje og energiselskaper forventer å spare millioner av dollar i vedlikeholdskostander ved å ta i bruk denne teknologien, og satser på å få tilkoblet sensorer på de mest verdifulle utstyr innen 2024 (Eshkenazi, 2021).

- **Bygg og anlegg**

Med eksakte 3D-modeller av bygninger som oppdateres i sanntid, kan bygge- og anleggsindustrien bruke digitale tvillinger til å blant annet overvåke strømforbruk, temperatur og hvor mange mennesker som befinner seg i et område til en hver tid (BrandStudio & Geodata, u.d.).

- **Helse**

Helsesektoren har i flere ti år brukt røntgenapparater og MR-skanning til å undersøke organer og muskler inne i kroppen. Selv om det ikke har blitt regnet som digitale tvillinger, bruker det samme konseptet om replikering av en fysisk modell for undersøkelse. Hvis man kan inkludere teknologi som kunstig intelligens i disse digitale representasjonene, kan man muligens ta det enda et steg for å oppdage potensielle problemer umiddelbart (Augustine, 2020).

- **Energi**

Ved bruk av digitale tvillinger kan energisektoren både fjernstyre, indentifisere forstyrrelser og eventuelle feil ved vindmøller, som igjen fører til effektiviserte vedlikeholdsplaner, belastningsbalansering og strømfordeling (DigitalNorway, 2021a).

4.2 Laserskanning

I de neste underkapitlene er det forklart hvordan laserskanning fungerer og hva som menes med punktsky. Deretter blir det gitt eksempler på bruksområder for laserskanning i byggebransjen med fokus på kvalitetskontroll i produksjonsfasen, før det blir diskutert om ulike type laserskannere.

4.2.1 Punktsky

3D-laserskanning handler om å lage en digital kopi av en eksisterende geometri. Det kan være et objekt, et rom, et større område osv. I motsetning til et bilde tatt med kamera, eller 360 graders panorama bilder i 2D, produserer laserskanning en punktsky (Point Cloud på engelsk). Det vil si at den lager en sky med millioner av individuelle punkter i 3D-rom som består av det skannede objektet eller rommet (Imerso, 2020b). Mer spesifikt registrerer laserskanneren et stort antall av datapunkter i x,y og z koordinator som returneres fra overflatene til objektet eller område som blir skannet (Thilmany, 2018). Slik blir det laget en sky av punkter, som skal utgjøre en (as-built) kopi av objektet eller rommet som blir skannet. Desto flere punkter laserskanneren er i stand til å fange opp, desto mer nøyaktig blir kopien. Dette kan omfatte store betongkonstruksjoner, stålkonstruksjoner, vegger, dører osv, til mindre detaljerte objekter. Dersom man skal skanne et større rom eller område, er det også behov for å ta flere skanninger fra ulike vinkler og posisjoner for å få med seg alt. Den digitale kopien som blir produsert er det vi kan sammenligne med en digital tvilling, men som oftest bare blir referert til som punktsky.

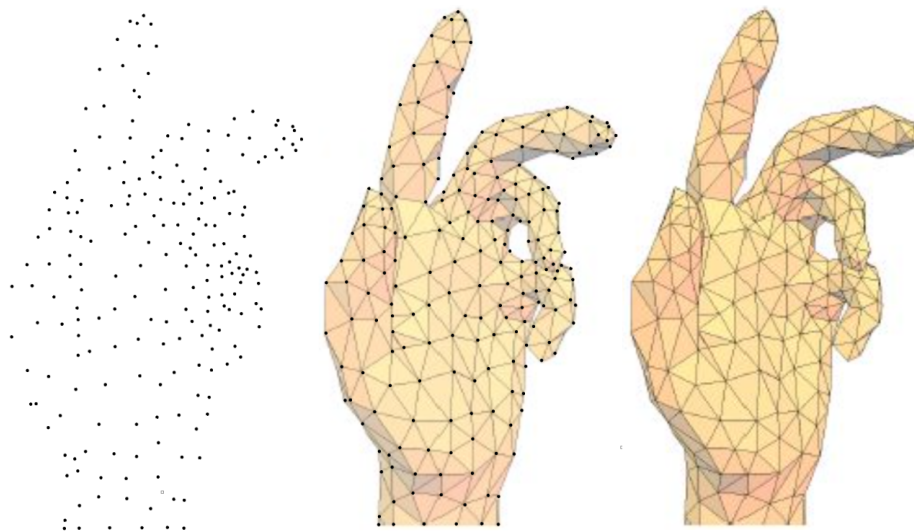
For å gjøre det enklere å forstå hva en punktsky er, kan det sammenlignes med malestilen pointillisme, også kalt punkt- eller flekk maleri (Thilmany, 2018). Metoden går ut på å lage et maleri av små tydelige prikker med farger. Prikkene er som regel ikke større enn spissene på en pensel. Figur 4.2 viser et maleri av den franske kunstneren Georges Seurat, malt med pointillistisk teknikk. Prikkene kan sammenlignes med de punktene som blir brukt for å lage en punktsky av laserskanneren.



Figur 4.2.: Maleri av Georges Seurat, A Sunday on La Grande Jatte, 1884. Lisens: fri

Punktskyen kan senere bli behandlet for å lage et polygonnett, for å opprette en finere overflate av den skannede geometrien. Dersom man zoomer langt nok inn i punktskyen, ser man nemlig at punktskyen består av mange punkter. Hvert av disse punktene inneholder en del informasjon. Blant annet vil de alltid inneholde en x, y og z verdi, som skal til for å få en tre dimensjonal geometri. I dag finnes det også 3D skannere som registrerer farger som en RGB (Rød, Grønn, Blå) verdi, i tillegg til intensiteten. Altså lysstyrken til et spesifikt punkt. (Holocreators GmbH, 2019)

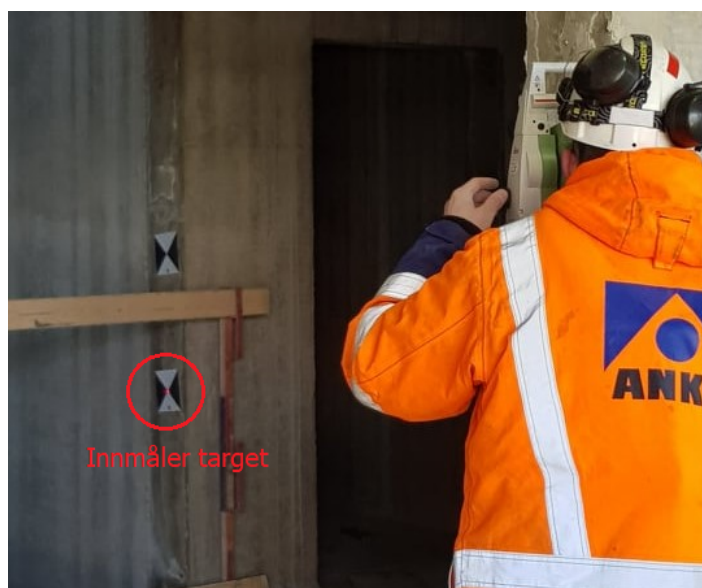
Det finnes flere ulike programvarer for å åpne en fil med punktsky. Blant annet CloudCompare, MeshLab og GOM Inspect som alle er gratis programmer. Filene kan komme i ulike formater, for eksempel .xyz, .ply, .e57, .pts og mange andre. Det er ikke uvanlig at produsenter av laserskannere lager sine egne formater. De tilbyr gjerne også sine egne etterbehandlings programvarer av punktskyen. Den enkleste formen av filformat er .xyz som kun består av et tekst dokument med x, y og z koordinatene. Disse dataene kan deretter bli filtrert for å hente ut visse attributter, men ofte blir det først gjort om til et polygonnett. Det gjøres ved å utføre spesifikke algoritmer, men grovt sett er det mulig å se på det som å koble sammen punktene i den digitale kopien. For eksempel ved å binde de sammen med trekanter mellom punktene, som tilslutt danner et polygonnett, som illustrert i figur 4.3. (Holocreators GmbH, 2019)



Figur 4.3.: Simplifisert eksempel på et polygonnett basert på mange punkter. Basert på (Piamulholland, u.d.).

Georeferering

Slik det ble nevnt tidligere kan det være behov for å ta skanninger fra flere vinkler og posisjoner når man skal skanne en byggeplass, for å få med seg alt. Da vil det bli generert flere punktskyer som nødvendigvis ikke henger sammen. For å koble disse punktskyene sammen til en sammensatt punktsky av byggeplassen, er det ofte behov for georeferering når man skanner. Det betyr at man benytter seg av innmålte “targets” som ligger i samme grid, for å gjøre det enklere å sette de sammen i etterkant. En “target” er en type referansepunkt som inkluderes i tillegg når man skanner.



Figur 4.4.: Bruker target som referansepunkt for innmåling (georeferering). Bilde tatt fra Nye SUS prosjektet i Stavanger.

4.2.2 Bruksområder for laserskanning i byggebransjen

1. Validere riktig produksjon av designede modeller (kvalitetskontroll)

3D-laserskanning er en teknologi som har gjort store endringer både for produksjons- og konstruksjonsprosesser i flere industrier. En av de mest vanligste bruksområdene for laserskanning i flere industrier er kvalitetskontroll av pågående prosjekter. Med dagens konkurransedyktige marked, hvor flere selskaper arbeider med å produsere de mest nøyaktige delene på kortest mulig tid, kan dette spille en viktig rolle. Med laserskanning og tilhørende programvarer som behandler de skannede objektene, kan man sammenligne eksisterende forhold (as-built), med designede modeller (as-designed) for kvalitetskontroll og validering. På denne måten kan man sikre seg at det som produseres er innenfor den angitte toleranse og mål. Dette åpner for både forbedret kvalitet og hastighet på inspeksjoner. (Capture3D, u.d.)

2. Dokumentasjon

Hvis man har brukt laserskanning slik det er nevnt i punkt 1, gjennom hele produksjonsfasen til et produkt eller en bygning, sitter man igjen med nøyaktige mål og informasjon. Da har man eksakte dimensjoner, mål og informasjon om hva som befinner seg i eksempelvis vegger, tak og gulv. Dette kan bli brukt til ulike formål gjennom hele livssyklusen til produktet eller bygningen, blant annet vedlikehold. (Monk, 2019)

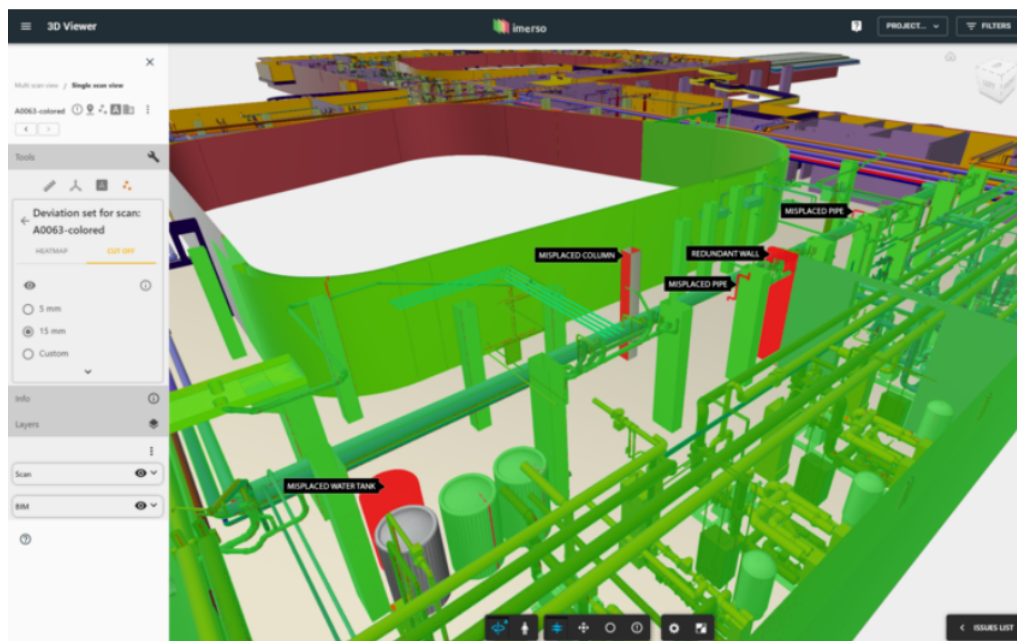
3. Kartlegge eksisterende forhold

Med laserskanning vil prosessen med å lage eksakte virtuelle modeller av ferdigstilte eller pågående prosjekter være raskere og mer nøyaktig. Laserskanning gir også mulighet til å lage BIM modeller basert på punktskyer. Dette blir omtalt som "scan to BIM" (Yusuf, 2020). Dette gir også mulighet for å kartlegge eksisterende forhold i renoveringsprosjekter, hvor det ikke finnes noen dokumentasjon. Den tradisjonelle metoden for å oppdatere *as-built* forhold, består av fysiske målinger og manuelle registreringer som reflekteres i 2D tegninger. Denne prosessen er både langsom og mindre nøyaktig. Andre har også foreslått bruk av fotogrammetri (måleteknikk ved bruk av digitale bilder), som kan anses som en mer moderne metode (Giel & Issa, 2011). Uansett vil det være vanskelig å dokumentere *as-built* forhold mer presist enn ved bruk av laserskanning.

4.2.3 Laserskanning i produksjonsfasen

Det er bruken av laserskanning til kvalitetskontroll som er hovedfokuset for denne oppgaven. Laserskanning har et stort potensiale til å effektivisere hvordan vi utfører kvalitetskontroll av byggeplassen under produksjonsfasen. “Technology developments in the peripheral hardware are enabling linking of the virtual BIM world to the physical construction world” (Eastman et al., 2011, s. 360). Den kontinuerlige utviklingen av laserskanning, RFID-teknologi (radiofrekvens ID) og bærbar datamaskin muliggjør dataoverføring i begge retninger mellom BIM og byggeplassen (Eastman et al., 2011).

Laserskanning teknologien kan bli brukt til å lage digitale tvillinger av byggeplassen, ved å samle 3D-punktdata med høy nøyaktighet. Denne 3D modellen eller punktskyen, kan sammenlignes med en 3D BIM-modell fra prosjekteringsfasen. Dette gjør det enklere å markere avvik fra det som blir bygget (as-built), fra 3D-BIM modellen (as-designed). På denne måten kan entreprenører bruke denne teknologien som en metode for kvalitetkontroll på byggeplassen. Slik kan man verifisere at for eksempel betonghell ligger nøyaktig på riktig sted, eller at søyler er riktig plassert (Eastman et al., 2011). Det finnes også programvarer som kan identifisere alle avvik fra design geometrien automatisk. Disse programvarene blir nevnt i kapittel 5. Figur 4.5 viser for eksempel hvordan Imerso bruker ulike farge kombinasjoner for å indentifisere avvik mellom punktskyen og den prosjerterte 3D-BIM modellen på deres plattform.



Figur 4.5.: Det som er farget i grønn er riktig utført, mens det som er farget i rødt er feil plassert. Hentet fra (Imerso, u.d.).

4.2.4 3D-laserskannere

Den første 3D-skanning teknologien ble oppfunnet allerede i 1960, naturligvis i en enkel og lite nøyaktig form ved bruk av lys, kamera og projektorer (Edl et al., 2018). I dag finnes det flere ulike typer og modeller av 3D-laserskannere. Hovedsaklig kan disse deles inn i 2 kategorier: (1) kontakt og (2) ikke-kontakt skannere. Ikke-kontakt 3D skannere kan igjen deles inn i 2 hovedgrupper: (1) aktive skannere og (2) passive skannere. Under hver av disse to gruppene kan vi finne flere ulike typer laserskanning teknikker. Formen og størrelsen på objektet (eller rommet) som skal skannes, sammen med ønsket nivå av detaljer (nøyaktighet), er som regel de avgjørende faktorene når en skal velge type laserskanner. En kontaktskanner trenger som navnet tilsier, være i kontakt med selvet objektet som skal skannes. Fordelen med slike skannere er at de kan være svært nøyaktige, men de passer ikke til å skanne større objekter, eller et helt rom. Dette fordi metoden er avhengig av å være i kontakt med objektets overflate til å skanne x-, y-, og z- koordinatene. For å skanne en byggeplass blir det derfor brukt ikke-kontakt laserskannere da disse egner seg bedre til å skanne større objekter og rom. Disse har ikke behov for å være i direkte kontakt med objektet som skannes. (Ebrahim, 2014)

Ikke-kontakt 3D skannere

Ikke-kontakt 3D skannere kan som nevnt deles inn i aktive og passive skannere. En aktiv skanner bruker som regel Light Imaging Detection and Ranging metoden, også kjent som LIDAR. Denne metoden kan hovedsaklig deles inn i 3 kategorier, "Time-of-flight", "Phase shift" og "Triangulation" (Moussy, 2020). Disse skannerene bruker litt forskjellige teknikker for å gjennomføre en skanning. De avgir derimot alle en form for stråling eller lys, og detekterer dets refleksjonen for å undersøke objektet eller rommet som blir skannet. Stålingen som blir avgitt kan være ultralyd, x-ray eller lys. Laserskanneren kan dermed produsere en rå punktsky, som består av et stort antall punkter (Ebrahim, 2014). Disse kan som tidligere nevnt inneholde ulike data, men de skal alltid inneholde x-, y- og z koordinater i et lokalt koordinat system, men det kan også være mulig å inkludere posisjonene i et globalt koordinat system.

Passive skannere derimot avgir ikke noen form for stråling selv, men er basert på å utføre skanning ved å fange opp reflektert omgivende stråling. De fleste slike skannere oppdager synlig lys, da dette er lett tilgjengelig omgivelsestråling. Andre typer stråling kan for eksempel være infrarød stråling. Passive metoder er ofte mye billigere, da de som regel ikke krever mer komplisert maskinvare enn digitale kamera (Ebrahim, 2014). Fotogrammetri er et eksempel på en passiv skanne metode. Den går ut på å

ta bilder av et objekt fra ulike vinkler under varierende lysforhold, for å gjenopprette orienteringen til overflaten ved hver piksel. Passive skanning teknikker er generelt sett ikke en skanne metode som blir brukt for kvalitetskontroll på byggeplassen per dags dato.

De ulike aktive teknikkene har sine fordeler og ulemper som gjør at de egner seg bedre til ulike situasjoner. “Triangulation” metoden har en svært høy nøyaktighet, men har en begrenset rekkevidde på noen få meter. “Time-of-flight” metoden er motsatt. Den har mindre nøyaktighet, men kan operere over mye lengre avstander, og egner seg derfor best til å skanne større strukturer som bygninger. De fleste laserskannere som blir brukt i dag på byggeplassen, baserer seg på denne LIDAR teknikken.(Ebrahim, 2014)

Ulike metoder/måter å skanne en byggeplass

Det finnes også ulike metoder eller måter å skanne en byggeplass på, uavhengig av hvilken aktiv skanning teknikk som blir brukt. Den vanligste metoden eller utstyret som blir brukt for å skanne en byggeplass i dag, er ved å bruke en “ground-fixed laserskanner”. Det vil si at skanneren festes til et stativ som står fast på bakken, som vist i figur 4.6. For å utføre en skann av heissjakter eller lignende, hvor det ikke er mulig å plassere et stativ som står fast på bakken, kan man bruke et “horisontalt støtteobjekt” utstyrt med hjul, som vist i figur 4.7. Dette er de 2 mest vanlige metodene som blir brukt i dag for å utføre skanninger av byggeplassen. Det jobbes derimot med andre løsninger til å utføre en skann. Blant annet ved bruk av håndholdte skannere, droner og roboter som kan beveges rundt i byggeplassen med en form for fjernstyrt kontroll. Det jobbes også kontinuerlig med å undersøke mulighetene vi har for å utføre skann med vanlig mobiltelefon. Den nyeste iPhone 12 skal blant annet ha en laserskanning funksjon (Gallagher, 2021). Her er det derimot rimelig å anta at det kan ta et par år før laserskanning med mobiltelefoner blir gode nok til å erstatte de nevnte laserskannerene. Andre innovative løsninger som forskes på for å skanne byggeplassen er diskutert ytterligere i seksjon 6.3.1.1.



Figur 4.6.: Leica BLK360 skanner festet på stativ (ground-fixed). Hentet fra (Bjørheim, 2019).



Figur 4.7.: Leica skanner koblet til et horisontalt type stativ for å skanne heissjakt. Bilde tatt fra Nye SUS prosjektet i Stavanger.

Programvarer

I dette kapitlet vil det bli gitt en kort introduksjon til de programvarene (relatert til laserskanning) som har blitt mest brukt av intervjuobjektene. Disse inkluderer Imerso og Scaled Robotics som tilbyr en automatikk i kontroll av avvik, samt Dalux og BIMcollab ZOOM hvor brukeren har mulighet for å laste opp punktsky for å ta en visuell kontroll mot BIM modeller. I tillegg gis det en beskrivelse av Cyclone som er Leica sin egen programvare for behandling av punktsky. Informasjonen er hentet fra intervjuobjektene og programmenes nettsider.

5.1 IMERSO

Imerso er et norsk teknologisk selskap som ble startet i 2015 av Frederico Valente, Simen Andresen og Sarah Muller. Selskapet benytter seg av punktsky data hentet fra laserskanning og AI til å indentifisere avvik mellom det som er bygget (as-built) med det som var planlagt å bygge (as-designed) (LinkedIn, u.d.). Imerso har blitt testet på flere prosjekter, og blir blant annet brukt på Nye SUS prosjektet i Stavanger, som er Norges største byggeprosjekt for øyeblikket. Hovedformålet med teknologien deres er å identifisere avvik på byggeplassen så tidlig som mulig, for å unngå forsinkelser i et senere tidspunkt fordi noe er bygget feil.

Imerso sammenligner virkelighet på byggeplassen (fanget i 3D) med BIM-planene. Ethvert misforhold mellom mellom det som var planlagt og det som ble utført, blir oppdaget med engang, automatisk (Intervjuobjekt).

5.2 Scaled Robotics

Scaled Robotics er et spansk selskap som jobber med å digitalisere konstruksjon. Det ble startet i 2014 av Stuart Maggs og Bharath Sankaran. Med robotikk, AI og maskinlæring bygger de verktøy som kan spore kvalitet og fremgang på byggeplassen. Hovedformålet deres er også å identifisere avvik så tidlig som mulig når de oppstår i et prosjekt. Ved hjelp av punktsky generert fra laserskanning, gir de mulighet for å sammenligne og automatisk indentifisere avvik fra BIM modeller, på deres web baserte

plattform. Plattformen skal gi muligheter for kvalitetskontroll, problemadministrasjon, sporing og rapportgenerering (Scaled Robotics, u.d.).

5.3 Dalux

Dalux er en programvare som lenge har vært tilgjengelig i byggebransjen, som er kjent blant flere entreprenører. Det ble startet i 2005, og jobber for å gjøre byggebransjen smartere og mer effektiv ved å utvikle digitale verktøy og BIM-teknologier. De tilbyr i dag 4 ulike tjenester eller bruksområder for entreprenører og byggherrer. Disse er Dalux BIM Viewver +, Dalux Box, Dalux Field og DaluxFM. Det er et web basert program, som også er kompatibelt med mobile enheter. Det skal gjøre det enklere for aktører i et prosjekt å kommunisere med hverandre, og blant annet rapportere avvik.

Dalux tilbyr en pakke med mange tjenester og muligheter, men det som er mest relevant for denne oppgaven blir Dalux Field. Med Dalux Field skal det bli enklere å registrere og tildele avvik på byggeplassen. Programmet gir entreprenører mulighet for å registrere et avvik på rett lokasjon på en BIM modell, og deretter tildele ansvaret til en underentreprenør for å rette opp feilen (Dalux, u.d.). Det er også mulig å legge inn en punktsky i plattformen deres, hvor man kan sammenligne BIM modellen med punktskyen visuelt. Den har derimot ingen AI teknologi integrert som automatisk gir en liste over alle avvik mellom BIM og punktsky. Den gir derimot mulighet for å ta en visuell sjekk, og for eksempel måle avstander fra et punkt i punktskyen til et objekt i BIM modellen. Dersom man også oppdager et avvik ved hjelp av punktskyen, er det også mulighet for å registrere avviket, og tildele ansvaret en underentreprenør.

5.4 BIMcollab ZOOM

BIMcollab tilbyr programvare for problemadministrasjon og modell-validering for å hjelpe byggebransjen med å optimalisere BIM-arbeidsflyter. Problemhåndtering er deres største hovedfokus. Det vil si at de kommuniserer og løser problemer mellom produkter som Revit, ArchiCAD, Navviswork eller Solibri. Det er dermed en plattform for å forbedre kommunikasjon mellom alle disse partiene og fler. I senere tid har de også lansert det som blir kalt for BIMcollab ZOOM. Det er et visualiseringsprogram for BIM-modeller, som kan ta imot både IFC-filer og punktskyer. Dette gir brukeren mulighet til å sammenligne BIM modeller med punktskyer rent visuelt, på samme måte

som Dalux. Programmet kan foreløpig ikke identifisere avvik automatisk på samme måte som Imerso og Scaled Robotics. Dette har ikke vært hovedformålet deres, men det er muligens noe som vil bli tilbudt i fremtiden.

We have plug-ins in Revit, Navviswork, Sollibri etc. which allows the users to communicate with each other in a much better way. That is the eco system. Meanwhile, the viewer, BIMcollab ZOOM is a product that is able to find issues, that can detect problems in the model, and send the issue to the right person. (Gerben Bouthoorn)

5.5 Cyclone

Cyclone er programvaren som tilbys av Leica Geosystems. De tilbyr mye forskjellig, og ulike produkter som en del av Cyclone produktfamilien. Cyclone blir gjerne brukt til å sammenstille punktskyene før de blir lastet opp i programvarene nevnt over. Det vil si at punktskyene blir satt sammen til en stor fil som inkluderer punktskyene koblet sammen. Dersom det skal brukes til å identifisere avvik, tilbyr de også mer spesifiserte programvarer rettet mot dette formålet, nemlig Cyclone 3DR. Det er en del av Cyclone produktfamilien, som er bedre egnet for inspeksjon, visualisering og analyse av punktsky data (Leica Geosystems, u.d.). Denne kan derimot ikke tilby en automatisk kontroll av avvik på samme måte som Imerso og Scaled Robotics.

5.6 Andre programvarer

Andre programmer som blir nevnt i intervjustudie som kan være interessant for entreprenører å undersøke nærmere er Cintoo Cloud, Geograf Digital, Avvir og Doxel. Det er kun Geograf Digital som har blitt introdusert i det norske markedet av disse programmene, men man skal ikke se bort fra at det vil bli introdusert flere forskjellige aktører inn i det norske markedet med tiden.

Resultater

I dette kapitlet presenteres funn fra intervjustudie, og refleksjoner rundt tilbakemeldingene fra intervjuobjektene. Tilbakemeldingene baserer seg på spørsmålene som ble stilt under intervjuene. Disse kan bli funnet i vedlegg B.

6.1 Konseptet om digitale tvillinger

Det var som forventet veldig mange ulike tolkninger av konseptet om digitale tvillinger, men naturligvis også en del fellestrekk som gjentar seg både fra entreprenør og leverandør siden. De fleste har en formening om hva en digital tvilling er, og hvilken sammenheng det eventuelt har med punktskyen man får gjennom laserskanning. Et interessant punkt som gjentar seg blant intervjuobjektene fra entreprenørens side, som ikke var dekket i litteraturstudie, er at digitale tvillinger kan bety forskjellige ting avhengig av hvilken fase man er i byggeprosessen. Intervjuobjektene er også samkjørte om at digitale tvillinger ikke er et begrep de ofte bruker sammen med laserskanning. I de neste 3 underkapitlene blir noen av de viktigste punktene som kommer fram blant intervjuobjektene om digitale tvillinger, og hvilken sammenheng dette har med laserskanning teknologi diskutert.

6.1.1 Beskrivelse av konseptet

Det er naturligvis mye variasjon i tolkningen av dette konseptet da det er bredt begrep, hvor det egentlig ikke finnes noen fasit svar. De fleste er derimot enige om at det kan grupperes inn i ulike nivåer og at det må være en form for datautveksling mellom det fysiske og virtuelle. Intervjuobjektene fra både entreprenørens og leverandørens side er ganske samkjørte om dette. Den digitale tvillingen skal altså representere mer eller mindre virkeligheten.

I prinsippet, slik jeg oppfatter digital tvilling, kan det tolkes på forskjellige måter, og definitivt på forskjellige nivå. Men sånn i korte trekk så er digitale tvillinger at du har en modell som samsvarer mer eller mindre med virkeligheten. Det er den korte beskrivelsen. (Intervjuobjekt)

Slik det kom fra i kapittel 4 under seksjon 4.1.3, kan digitale tvillinger benyttes på ulike måter fra industri til industri. Under intervjuene baserer de fleste tolkningen av dette konseptet med hensyn på byggebransjen. Flertallet sier at en digital tvilling skal representere det som skal bygges, eller det som har blitt bygget. Slik det ble nevnt innledningsvis avhenger dette veldig mye av hvilken fase man er i et prosjekt.

To av intervjuobjektene fra entreprenørens side gir et relativt likt eksempel, når de skal forklare dette konseptet og hvordan det varierer fra fase til fase. De starter med å fortelle at under prosjektering, når det prosjekteres en BIM modell, så kan dette sammenlignes med en tidlig fase digital tvilling, eller en digital prototype. Etterhvert som man produserer bygget fysisk, så vil den digitale tvillingen gå over til en as-built modell, gitt at man oppdaterer BIM modellen slik det faktisk er bygget. Her kan man også ta en skann av bygningen, og da vil punktskyen være en digital kopi, men riktignok kun et stillbilde/øyeblikksbilde. Så fort man gjør endringer på byggeplassen, vil ikke denne punktskyen gjelde, jo mindre man oppdaterer denne med et nytt lag med punktsky. Under driftfasen skal det være en en-til-en sanntidsmodell, hvor man kan bruke ulike former for sensorer for å få ulike typer sanntidsdata. For eksempel kan den vise hvor mange som er i et rom, eller temperaturen i rommet. Et annet intervjuobjekt bekrefter også med sin beskrivelse av digitale tvillinger, at det avhenger av hvilken fase man befinner seg i på prosjektet .

Det er en sanntids digital speiling av et prosjekt. Enten om det er i prosjekteringsfase, byggefase, overlevering, eller om det er i driftsfase. Hva den vil inneholde av informasjon, og hva bruksområde er vil være avhengig av hvor man er i fasen. Men jeg tenker det er en digital speiling som sier noe om status på et prosjekt eller en bygning. (Intervjuobjekt)

6.1.2 Datautveksling og sanntids oppdatering

Slik det kom fram i det foregående underkapitlet, avhenger viktigheten av datautveksling og sanntids oppdatering mellom det virkelige og det virtuelle av hvilken fase man er i byggeprosessen. Bruksområde for en digitale tvillingen er forskjellig fra fase til fase. Samtidig så er det også viktig å se på kostnaden og nytten ved å ha en sanntidsoppdatering. “Er det sensorer som skal gi tilbake informasjon som er kritisk, så burde det jo være sanntid” (Intervjuobjekt).

Intervjuobjektene er derimot ganske enige om at en sanntidsoppdatering av byggeplassen under produksjonsfasen, vil ha en avtagende avkastning av verdi, jo nærmere sanntid man kommer. Et intervjuobjekt fra leverandør siden forklarer dette slik.

I think there is a huge diminishing return of value there. If you would do it once a month there would be some value in it, but if you have weekly updates it adds even more value, because you get more insights. However, not as much as the jump from monthly to weekly, or weekly to daily. And if you go to hourly, it could be questionable if you really need it. So, it adds less and less value after a certain point. In the end, real time would be perfect, but it depends on the cost. (Intervjuobjekt)

Om en digital tvilling skal oppdateres i sanntid eller ikke, er helt avhengig av hvilken kostand det påfører ved å oppdatere virkeligheten i et bestemt tidsintervall. Per dags dato er det verken enkelt nok, eller økonomisk å ta en laserskann av byggeplassen i et slikt tempo. Dersom det hadde vært like enkelt som å ta et bilde med mobilen, for å få en punktsky av det som er bygget, kan man gjerne oppdatere den digitale tvillingen i et jevnligere tidsrom. Eventuelt hvis man kunne plassere laserskannere på bestemte lokasjoner på byggeplassen, som kan ta kontinuerlige skanninger når det skjer endringer på byggeplassen, kunne også vært et alternativ. Samtidig er det derimot ikke slik at man gjør store endringer kontinuerlig på byggeplassen. Det kan gjerne ta noen dager før man trenger å ta en kontroll i flere tilfeller. Et intervjuobjekt fra leverandør siden forteller hva som menes med sanntid, og hvorfor det ikke er viktig for produksjonsfasen.

In the world that I come from, robotics, control and stuff, we define real time as anything from 100hz and 1000hz, so that is 100 times a second to 1000 times a second. Is there a value in construction to track such changes? I personally don't believe so. Because the physical process of construction is not happening that fast. (Intervjuobjekt)

Det forklares videre under intervjuet at det ikke er nødvendig med sanntidsoppdatering i produksjonsfasen slik intervjuobjektet oppfatter sanntid, men nær sanntid. Dette betyr at hver gang det skjer en endring på byggeplassen, så bør disse endringene kvalitetssikres. Det er for eksempel viktig med en bekreftelse på at søyler og utsparinger er plassert riktig. Det å ta skanninger i sanntid, eller bare time for time derimot, kan være helt unødvendig om det ikke har skjedd noen endringer på byggeplassen. "If nothing is happening on the site at a particular location, having real time information means you just collected a lot of data, without any useful information" (Intervjuobjekt). Det er altså ikke nødvendig med sanntidsoppdateringer med laserskann av byggeplassen. Dersom det i fremtiden kommer andre løsninger for å ta en skann av byggeplassen som er enkel, rask og billig, kan det være en annen diskusjon. Dette blir diskutert ytterligere i seksjonen 6.3.1.1.

6.1.3 Gruppering av digitale tvillinger (produksjonsfasen)

Slik det ble nevnt i seksjon 6.1.1 avhenger hva som inngår av informasjon i en digital tvilling, av hvilken fase man er i et prosjekt. En digital tvilling vil derfor ikke være det samme i prosjekteringsfasen, produksjonsfasen og driftsfasen. Fra kapittel 4 under seksjon 4.1.3, ble det diskutert hvordan digitale tvillinger kan brukes i bygge- og anleggsindustrien. Denne beskrivelsen gjelder hovedsaklig for driftsfasen, hvor man ved bruk av sensorer kan overvåke ulike type informasjon om bygget. For denne oppgaven derimot, er det mer interessant å se på hva en digital tvilling betyr for produksjonsfasen i et byggeprosjekt.

Med laserskanning kan man få en nøyaktig øyeblikks representasjon av det som er bygget, i millimeter presisjon. Resultatet er en punktsky av det som er skannet. Informasjonen fra denne punktskyen kan benyttes sammen med en BIM modell, for å kontrollere at det som bygges, stemmer med det som var prosjektert. Blant intervjuobjektene både fra entreprenør og leverandør siden, er det store enigheter om at det er enklest å forholde seg til begrepet punktsky, og kun dette begrepet. Dette fordi det i prinsippet kun er en punktsky til syvende sist. Samtidig er digitale tvillinger et begrep som er mer intuitivt og enkelt å forstå for en som ikke er kjent med denne teknologien og punktstyker, hvis det skal forklares til en kunde. “It is easy to explain the concept to people that are not expert in the field. Anyone can understand what a *twin* is” (Intervjuobjekt).

De fleste intervjuobjektene er derimot samskjørte om at en laserskann, eller en punktsky i seg selv, ikke kan sammenlignes med en digital tvilling. Det skyldes hovedsaklig fordi det kun er et stillbilde, og ikke inneholder annet informasjon enn geometri. For andre er det derimot en digital tvilling så lenge den inneholder informasjon om geometri, men i så fall en digital tvilling av lav modenhet. Flere nevner i tillegg at det gjerne kan være en del av en digital tvilling, altså et bidrag til den digitale tvillingen.

Den vil ikke være en digital tvilling i seg selv, men den vil jo være et av layerene inne i en digital tvilling. Så den er et bidrag til den digitale tvillingen, men den er ikke en komplett digital tvilling i seg selv. (Intervjuobjekt)

A digital twin, is a virtual representation of what there is in reality. The higher the maturity, the closer it is to the reality. For me it is already a digital twin, just be geometry,

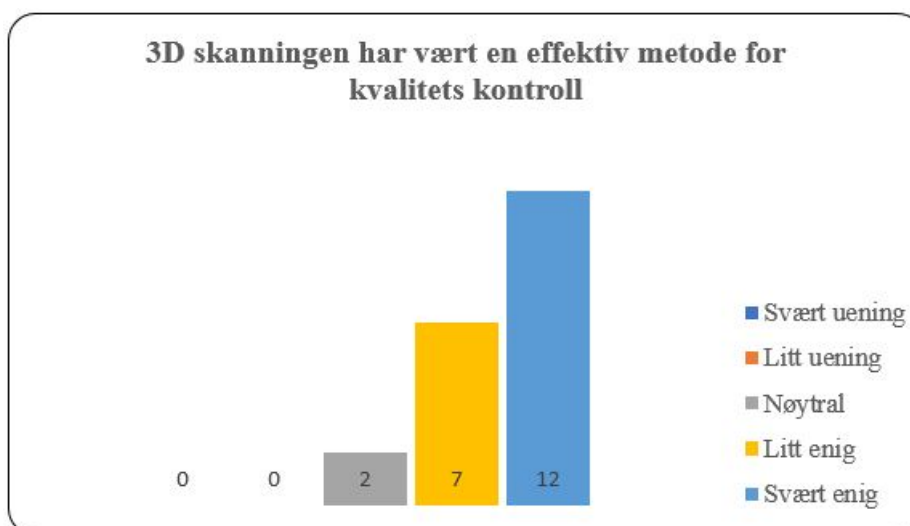
which can be much further matured by adding sensors, live data, or more operating and maintaining kind of information, that can all be enriched. (Intervjuobjekt)

En punktsky alene kan dermed eventuelt grupperes som en digital tvilling med laveste grad av modenhet. Desto mer informasjon som integreres i punktskyen, og jo enklere og raskere man klarer å oppdatere byggeplassen med hyppige skanninger, desto høyere grad av modenhet vil den digitale tvillingen besitte.

6.2 Fordeler med laserskanning

Det er flere fordeler med laserskanning i byggeindustrien, som det er i mange andre industrier. Den største fordelen derimot er muligheten dette gir for å identifisere avvik tidlig i byggefasen. Formålet med bruken av denne teknologien i produksjonsfasen er nemlig å sammenligne det som blir bygget på byggeplassen, men det som var designet i prosjekteringsfasen.

Denne teknologien skal virke som et verktøy for kvalitetssikring på byggeplass, ved å kontrollere at alt som bygges, bygges etter planen. Fra spørreundersøkelsen ser vi at 90% av de som har testet laserskanning svarer “litt enig” eller “svært enig”, på spørsmålet om laserskanning er en effektiv metode for kvalitetskontroll, illustrert i figur 6.1. I kapittel 5 ble det presentert flere programvarer som tilbyr denne sammenligningen av prosjekterte modeller med punktskyer. Enkelte programvarer har også mulighet til å ta en automatisk kontroll av avvik. Effekten av dette vil bli diskutert i seksjon 6.2.2.



Figur 6.1.: Respondenter om 3D skanning har vært en effektiv metode for kvalitetskontroll, fra spørreundersøkelsen.

6.2.1 Sammenligne as-built med as-designed

I dette underkapitlet blir det presentert kommentarer og forklaringer fra entreprenør siden om hvordan programvarene som ble nevnt i kapittel 5, kan benyttes for å sammenligne as-designed modeller med as-built dokumentasjon. Scaled Robotics og Imerso er de dominerende programvarene som blir brukt blant entreprenørene for dette formålet, da de også tilbyr en automatikk for kvalitetskontroll. De fleste intervjuobjektene er samkjørte om at disse to plattformene har en enkel og verdifull løsning, som krever lite kompetanse for å bruke. Utfordringene ligger mer i form av å filtrere kun de viktigste avvikene. Dette vil bli diskutert ytterligere i delkapittel 6.3.2. Nedenfor er det gitt en forklaring på hvordan plattformen til Scaled Robotics fungerer i praksis, av et intervjuobjekt blant entreprenørene.

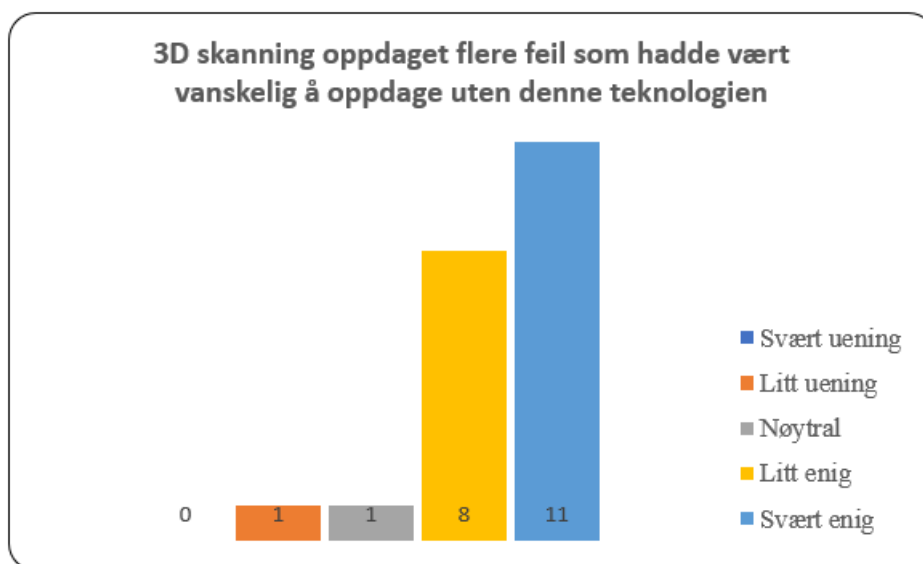
De viser i grovt sett BIM modellen som vi har designet, også viser de da elementene i enten rød, oransje eller hvit. De er da basert på om komponentene ikke er detektert, om det er noe avvik på den, eller grønn hvis den er innenfor toleransene. Hvis det er en søyle som for eksempel lyser oransje kan jeg klikke på den, og den vil da vise hvor mange millimeter den avviker fra design modellen. Jeg kan også få sendt bilde, som viser utgangspunktet skanneren tok, og se hva som har blitt analysert. Det er veldig illustrativt for de som skal rette opp avviket. (Intervjuobjekt)

Dette er en god forklaring på hvordan det fungerer i praksis, og det gjelder generelt for alle type programvarer som tilbyr en automatisk kontroll av avvik. Dette er altså noe som forventes av leverandører som leverer en løsning for automatikk i kontrollen av avvik. Det eneste kunden trenger å gjøre er å laste opp en BIM modell, punktskyen fra den aktuelle skanningen og definere toleransekrav på dekker, vegger og søyler. Imerso tilbyr også en lignende løsning med fargekart av BIM modellen, hvor elementene har spesifikke farger basert på om de stemmer med det prosjekterte eller ikke. Et annet intervjuobjekt forteller hvordan Imerso fungerer.

Programmet identifiserer alle punktene som avviker mer enn så så mye fra modellen, så får du et fargekart, grønt eller rødt. Rødt hvis avvikene er større enn det som du definerer, og grønt hvis ikke. Så må du selv inn for å opprette et avvik. Det vil si at du trykker på objektene som viser rødt, og hvis det trengs behandling, må du opprette et avvik og beskrive det. Denne beskrivelses prosessen, den er per i dag manuell. Men der har vi sånn standardiserte tekster og fremgangsmåter som har hjulpet oss litt på vei. (Intervjuobjekt)

Dalux og BIMcollab ZOOM er to andre programmer som tillater opplasting av punktsky sammen med BIM modell. Disse programvarene tilbyr per dags dato ikke samme løsning som Scaled Robotics og Imerso, hvor man kan få opp et fargekart som viser hva som er innenfor toleranse og utenfor. Brukerne har derimot mulighet til å navigere i BIM modellen og punktskyen, måle avstander fra et punkt i punktskyen til et objekt i BIM modell, registrere avvik, og generelt bruke det for en visuell kontroll. Enkelte syntes også den rene navigeringen er mer brukervennlige i disse programvarene. Det har resultert i at man har valgt å bruke disse programmene ovenfor Scaled Robotics og Imerso, dersom man ikke har hatt behov for en automatisk kontroll av avvik. Dette blir diskutert ytterligere i seksjon 6.3.2.2.

6.2.2 Metode for å identifisere avvik automatisk



Figur 6.2.: Respondenter om laserskanningens evne til å identifisere avvik, fra spørreundersøkelsen.

Den største fordelen med laserskanning i et prosjekt er å identifisere avvik automatisk, på relativt kort tid, i en tidlig fase. Det er ingen tvil om at 3D laserskanning er i stand til å oppdage avvik, som ellers hadde vært vanskelig å oppdage uten denne teknologien. Dette kommer også fram under spørreundersøkelsen, hvor 90% av respondentene svarer “litt enig” eller “svært enig”, som illustrert i figur 6.2. Intervjuobjektene er ganske samkjørte om at dette skaper stor verdi, og at det er en stor fordel å kunne fange opp eventuelle feil i en tidlig fase. Desto lenger ut i et prosjekt man kommer, desto dyrere blir det også naturligvis å rette opp i en feil.

Det er jo veldig egnet til å finne avvik, på relativt kort tid, i en tidlig fase. Så her er det jo potensielt store kostnader man kan spare, ved at du oppdager ting tidlig hvis ting ikke er som det skal være. (Intervjuobjekt)

Med programvarer som Imerso og Scaled Robotics kan man automatisk få opp en liste over alle avvik som er registrert, av det som har blitt skannet og sammenlignet med BIM modellen. “Det er nettopp det som er genialt med skanning. Den skanner jo alt, alle flater, alle konstruksjoner, også kommer analyse delen og flagger opp det som er nødvendig å sjekke opp nøyere” (Intervjuobjekt). Et annet intervjuobjekt gir også et godt eksempel på dette og hvordan det skaper verdi.

Den største fordelen blir jo å ha løpende kontroll på kvaliteten på det som monteres eller bygges, av også våre underentreprenører. Slik at vi kan dokumentere at dette er innenfor toleransene, eller tidlig avsløre at ting er utenfor toleranse, og iverksette umiddelbare tiltak, for å løse problemet. Så det gir stor verdi. Det å kunne rette opp feilen dagen etter den er gjort, istedenfor når neste fag ikke får gjort jobben sin, fordi rørleggeren ikke finner noen hull i veggen som de skal ha rørene igjennom. (Intervjuobjekt)

Det har også blitt gitt et spesifikt eksempel på hvordan det har bidratt til besparelser ved hjelp av Scaled Robotics. “I betongkonstruksjonen i kjelleren fikk vi avdekket et loddavvik på noen vegg, som ikke nødvendigvis ville vært fanget opp før tømmeren eller flisleggeren hadde kommet et halvt år senere for å jobbe videre på konstruksjonen” (Intervjuobjekt). Dette er et typisk eksempel på feil som kan ta veldig lang tid før det oppdages uten laserskanning. Det å rette opp i en slik feil et halvt år senere er naturligvis mye vanskeligere enn dagen etter, når underentreprenøren som jobbet med betongkonstruksjonen fremdeles er på byggeplassen. Det fører til at man også slipper diskusjoner om hvem sitt ansvar det er å rette opp i feilen.

Det som oftest blir gjentatt av feil, og som stadig kommer fram i intervjuene er plassering av søyler, utsparinger, loddavvik og sjaktvegger. Det er derimot ikke slik at disse feilene er kritiske i form av at et prosjekt må stoppes, eller at det kan føre til fare for kollaps. Fordelen ligger mer i form av at man unngår forsinkelser og diskusjoner mellom entreprenører om hvem som eventuelt har gjort feil. En av intervjuobjektene gir et godt eksempel på hvordan det har hjulpet med å finne feil blant utsparinger tidlig i fasen, og resultatene av det.

Alle de ut sparingene vi har funnet og gjort noe med, dersom vi ikke hadde funnet disse, så hadde det blitt mye klatt og styr og heft senere. Ting hadde tatt mer tid, og kanskje hadde det blitt krangling mellom den ene og den andre entreprenøren, fordi den ene parten mener at de forsinker de og omvendt. (Intervjuobjekt)

Laserskanning gir altså mulighet til å identifisere avvik tidlig og utføre umiddelbare tiltak. Dette resulterer i mindre forsinkelser, raskere fremdrift, og i tillegg bedre kommunikasjon mellom total- og underentreprenørene. Dette er de største fordelene som blir gjentatt blant flere intervjuobjekter.

6.2.2.1 Oppdagelse av kritiske feil

Laserskanning har også i noen tilfeller avdekket feil som kunne hatt større betydning, hvor det kunne ført til store kostnader. Intervjuobjektene er samkjørte om at det er i råbyggfasene de største konsekvensene kan ligge dersom man ikke oppdager avvik tidlig. Laserskanning ble blant annet brukt i Linderlia bo og behandlingssenter for å skanne råbygget, og de store konstruksjonene.

Hovedplanen var å skanne det som var på råbygg, så betongkonstruksjoner og fundamenter. Og da var det jo å oppdage avvik så tidlig som mulig som var poenget. For spesielt i en råbyggfase kan konsekvensene bli ganske store på konstruksjonene. (Intervjuobjekt)

Et annet intervjuobjekt gir et spesifikt eksempel på hvordan det faktisk kunne ført til store kostander uten laserskanningen i råbyggfasen. I tilfelle som blir nevnt, kunne det muligens ført til at man ikke kunne flytte på søylene som var plassert feil, men hvor man måtte gjøre endringer på hele konstruksjonen.

I et prosjekt så var det feil plassering av søyler. Bærende søyler som skulle være i et ytterveggs liv. Det var vi ikke klar over, men det ble avslørt på første skann, og det var svært verdifullt. Vi var allerede i gang med å gjøre klar neste etasje, men fra første prosessering med Scaled Robotics så fant vi 8 søyler som var plassert feil. Derfor kunne man nå stoppe og fikse problemet, og ikke gjenta feilen i 3 etasjer til. (Intervjuobjekt)

6.2.3 Andre fordeler

6.2.3.1 Måle fremdrift

Ved bruk av laserskanning til kvalitetskontroll fører det naturligvis til at man unngår stopp i fremdriften, ved at man kan rette på feil som blir gjort underveis umiddelbart. Dersom man i tillegg kan koble opp resultatene fra skanningen til en fremdriftsplan, kan det muligens også åpne rom for å måle fremdriften. Scaled Robotics jobber blant annet med en løsning for å automatisere prosessen med å spore fremgang med laserskanning, i deres plattform. Det er heller ikke utenkelig at det er flere bedrifter i bransjen som kommer til å jobbe med dette, eller som allerede jobber for å finne en løsning på dette. Det er også enkelte av intervjuobjektene som mener at slike løsninger kan føre til at laserskanning blir ytterligere ettertraktet i byggeindustrien. På spørsmål om hvorfor veidekke i distrikt Agder ikke ennå har brukt denne teknologien i nybygg i produksjonsfasen jevnlig, er det hovedsaklig på grunn av at det ikke har vært et vanskelig og komplisert nok prosjekt, hvor de har følt behovet for det. Det blir derimot nevnt at muligheten for å måle fremdrift kunne vært en insentiv for å ta det i bruk.

Det er jo klart hvis vi får et skikkelig vanskelig og komplisert bygg, så kan det jo selvfølgelig bli aktuelt å se litt mer på det (henviser til programvarer som SR og Imerso). Kanskje man også kan bruke skanning for oppfølging av fremdrift på byggeplass for eksempel. At du kan måle fremdriften opp imot BIM modellen og en fremdriftsplan, og se hvor langt du faktisk har kommet på det her tidspunktet, i forhold til en ferdig BIM plan eller BIM modell. (Intervjuobjekt)

Det å måle fremdrift avhenger derimot av at man tar skann jevnlig for å sammenligne fremgangen, med fremdriftsplanen. Derfor er det noen som mener at 360 foto kan være en bedre løsning når det gjelder dette. Årsaken er at det går raskere å ta bilder av byggeplassen, og det krever derfor mindre å ta daglige eller ukentlige bilder for oppdatering. Bharath fra Scaled Robotics forteller uansett at de jobber med en løsning for å få automatikk i prosessen med å måle fremdriften. Dette avhenger av at entreprenørene har en plan de kan måle fremgangen mot.

So, obviously, progress is something you measure something against. So yes, they can count elements, and tell how much has been built. This is one piece of information. But if you have a plan, then we can start saying more interesting things, like are you on schedule to meet the plan or not. This is stuff that we are working on right now. We are not offering

this to clients right away. We are only offering this to very select clients, because we are still kind of iterating and improving the process. (Bharath Sankaran)

6.2.3.2 Dokumentasjon

En av de mindre fordelene som ofte blir nevnt er en god dokumentasjon av det som er bygget. Dette kan for eksempel bli brukt ved overlevering av et prosjekt, som en bekreftelse på at det som er levert, er innenfor de avtalte toleransene og kravene. Som nevnt tidligere kan man også unngå diskusjoner mellom underentreprenører om hvem som eventuelt har gjort feil, da man har dokumentasjon på alt. Under er det presentert tre siteringer fra tre ulike intervjuobjekter om nettopp dette, og hvordan det kan bidra til merverdi.

En utrolig fin dokumentasjon for å gå tilbake på bygget, for å unngå diskusjoner om for eksempel hvem som har gjort hva, og se historikken. (Intervjuobjekt)

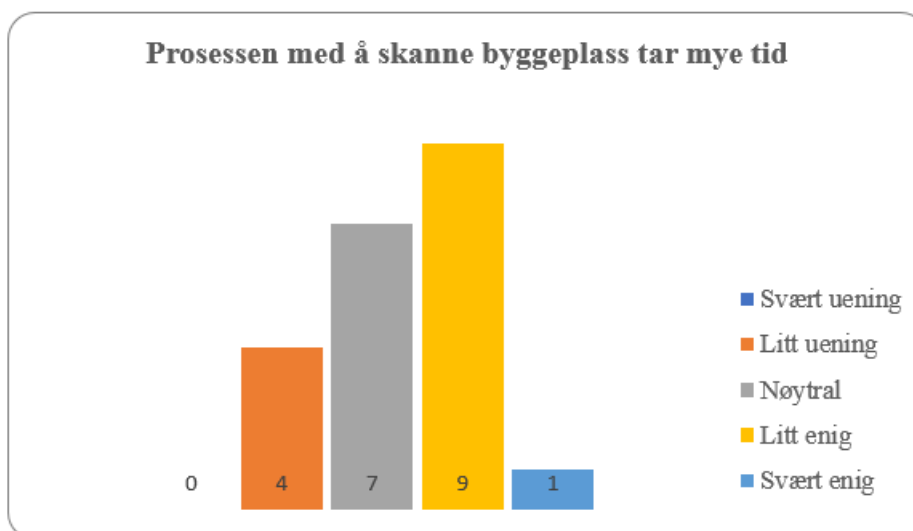
God dokumentasjon og lett å diskutere, lett å få oversikt, lett å få kommunisert rundt en skann og BIM. Folk kan sitte i et møterom og diskutere sakene. Man må ikke løpe rundt i byggeplassen, for å prøve å danne seg et bilde. Så det gir jo en mye mer ryddig og oversiktlig prosess. (Intervjuobjekt)

Vi kunne bruke punkttskyene som en as-built, eller en representasjon av det vi faktisk hadde bygget, så det også kan brukes som dokumentasjon. Og hvis det var tviste saker med noen underleverandører eller underentreprenører så hadde vi dokumentasjon på hva som faktisk var utført. (Intervjuobjekt)

6.3 utfordringer med laserskanning

Blant utfordringene ved bruk av laserskanning er det spesielt en faktor, eller myte som ofte skiller seg ut. Det er at den fysiske prosessen med å skanne en byggeplass er langsom. Utenom det blir det også nevnt andre mindre utfordringer eller forbedringspotensialer, blant annet med programvare og brukervennlighet. I de neste underkapitlene diskuteres utfordringene ved bruk av laserskanning i byggeprosjekter.

6.3.1 Prosessen med å skanne en byggeplass



Figur 6.3.: Respondenter om prosessen med å skanne byggeplass er langsom, fra spørreundersøkelsen.

Et problem, eller en myte med laserskanning er at det kan være en veldig lang og komplisert prosess, når man skal skanne byggeplassen. Det er en kjent faktor med mange varierte meninger. Dette avhenger naturligvis i stor grad av størrelse og kompleksitet på prosjektet. Med mange objekter og vegger i ett område som skal skannes, krever det flere oppstillinger og posisjoneringer av skanneren for å få med seg alt. Dette tar dermed mer tid, enn hvis det skannende område hadde vært mer åpent. Det er nok også årsaken til at respondentene fra spørreundersøkelsen avgir varierte svar angående denne faktoren, selvom de fleste er “litt enig” i at denne prosessen er langsom, illustrert i figur 6.3. Fra intervjustudie bekrefter intervjuobjektene at dette avhenger av kompleksitet, men også av hvilken teknologi man bruker, og hvilken fase man er i prosjektet. Hvordan dette avhenger av teknologien vil bli diskutert nærmere under seksjon 6.3.1.1.

Hvor lang tid det tar, og hvor mange skanninger som trengs, er helt avhengig av kompleksiteten, og ikke minst hvilken fase bygget er i. Hvis det er en tomt som skal skannes, så er jo det veldig oversiktlig, ikke mye støy, ikke mye rot som er i veien. Da har jo skanneren beste utgangspunktet til å se mest mulig av byggeplassen. (Intervjuobjekt)

Intervjuobjektet gir i tillegg et godt eksempel på dette fra to forskjellige prosjekter. Spor X prosjektet i Drammen blir sammenlignet med et annet renoveringsprosjekt. En typisk etasje på spor X med 600 kvadrat meter i grunnflate under råbyggfasen krevde rundt 10-12 skanninger, hvor per skann tok 6 minutter for å få den presisjonen som var etterspurt. Dette tok omtrent en time. Til sammenligning krevde renoveringsprosjektet

opp mot 45 skann, som også var på rundt 600 kvadrat meter. Dette var en etasje som inneholdt alt av skillevegger, dører, tekniske installasjoner, mye støy, lange korridorer og små rom. Tiden det tar for å skanne en byggeplass vil altså være avhengig av hvordan type prosjekt som skal skannes og kompleksitet.

Et annet intervjuobjekt bekrefter det samme, og forteller at det samtidig handler om planlegging. “Jeg tror egentlig du må planlegge godt, for du bør gjøre oppstillinger når du har mest åpne områder. Det er ikke gunstig å gjøre skann på innredningsarbeider, for da kan det bli veldig mange oppstillinger (Intervjuobjekt)”. Dette kommer naturligvis an på hva som er formålet med laserskanningen. Det har tidligere blitt nevnt at det gir god verdi under råbyggfasen, men hvis planen er å fortsette med skanning etter denne fasen også, blir det gjerne flere oppstillinger etterhvert per kvadratmeter. Dette krever naturligvis mer planlegging. Dersom det er ønskelig å ta en skann under hele produksjonsfasen med ukentlige oppfølgninger, må det gjerne være en egen aktivitet i fremdriftsplanen for skanning, hvis man skal få det til å fungere.

Det er vesentlig mye dyrere å skanne 200 kvadrat om gangen, kontra å skanne 2000 kvadrat (refererer til et typisk prosjekt i råbyggfase, kontra et prosjekt som er godt i gang). Da er du nødt til å sette i gang en helt annen prosess med oppfølgninger hver eneste uke, involvere anleggsleder, ha det opp i driftsmøter og planleggingsmøter. Det må være en egen aktivitet i fremdriftsplanen som må hente skann, hvis du skal få det til å funke på ukesbasis hvertfall. (Intervjuobjekt)

Det er derimot viktig å se på denne prosessen i sammenheng med hvilken verdi dette medfølger, men også i forhold til den tiden man ellers ville brukt på manuelle inspeksjoner. Som nevnt i tidligere delkapittel, kan man blant annet unngå forsinkelser som kan spare et prosjekt for mye tid. Imerso har også uttalt seg om dette på sine nettsider, og skriver følgende på en av sine blogg poster om nettopp denne myten, “In any case, the time spent scanning the entire construction site is much shorter than time usually spent doing manual inspections or scanning with traditional workflows” (Imerso, 2020a). Hvis man ser på tiden det tar å skanne en byggeplass, relativt med hvilken verdi og fordeler det medfølger, kan man diskutere for at det faktisk ikke tar mye tid. Den har i hvertfall ikke vært en stopper for flere av intervjuobjektene.

Den har ikke vært en dealbreaker i seg selv, den prosessen. Fordi det er såpass enkelt å skanne, og man gjør det på såpass kort tid, at det kjapt gir verdi. Går man to timer med skanneren, så har man veldig mye verdifull informasjon. (Intervjuobjekt)

6.3.1.1 Fremtidige spekulasjoner

Slik det ble nevnt tidligere, avhenger også tiden det tar å skanne en byggeplass av hvilken teknologi som blir brukt. Per dags dato er det stort sett helt vanlige ikke-kontakt 3D laserskannere som nevnt i seksjon 4.2.4 som blir brukt. Disse er typisk levert av Leica Geosystems eller Faro. Det jobbes derimot med andre løsninger som bruk av mobil, håndholdte skannere og roboter. Hvis man kan få slike løsninger til å fungere til en rimelig pris, kan det med stor sannsynlighet akselerere bruken av 3D laserskanning i byggeprosjekter.

Hvor lang tid det tar å skanne et bygg, kommer helt an på hvilken teknologi du bruker og hvor nøyaktig du skal ha det. Hvis du tenker på Imerso, har du jo 2 type skanninger. Der kan du jo bruke en Leica skanner, eller en mobil. En mobil skanner er jo veldig lav terskel, men det gir ikke like god nøyaktighet. Det blir en veldig grov skann, men bruker man en Leica skanner så vil det bety mer detaljert enn mobil, men det tar lenger tid. (Intervjuobjekt)

Intervjuobjektene er samkjørte om at mobilskanning per dags dato ikke gir en god nok presisjon for kvalitetssikring. “Den gir verdi (refererer til mobilskanning), men ikke tilstrekkelig nøyaktighet til å erstatte den vanlige skanneren” (Intervjuobjekt). Mobilskanning er derimot en teknologi som utvikler seg i riktig retning. Den nyeste iPhone 12 Pro har for eksempel en innebygd LiDAR skanning (Gallagher, 2021). Dette er derfor noe som kan forventes vil bli bedre med tiden. Som det ble sitert av intervjuobjektet over, vil det isåfall bli et lav terskel verktøy, som flere mest sannsynlig vil benytte seg av.

Utenom mobil så nevner også flere av intervjuobjektene andre kreative metoder for laserskanning, blant annet ulike typer roboter og maskiner. “Hvis vi skal tenke litt fremover, så har vi jo sett på muligheten for å sette skanneren på en robot. At man løpende kan skanne hver eneste natt, alt på byggeplassen” (Intervjuobjekt). Automatikk er et begrep som ofte blir gjentatt i flere av intervjuene. En automatisert prosess av laserskanning på byggeplassen er det mange som ville verdsatt, men det kan naturligvis ikke gå på bekostning av budsjettet. Det er derimot ikke utenkelig at det vil komme automatiserte roboter som kan ta over den fysiske prosessen med å skanne en byggeplass, til en akseptabel pris i fremtiden. Det er allerede flere andre som jobber med dette, og som kjører forskningsprosjekter og piloter med slike roboter. Et intervjuobjekt forteller blant annet om et prosjekt veidekke er en del av sammen med MIL (Mechatronics Innovation Lab) gjennom Universitetet i Agder, som har kjøpt en type robot “hund” som vist i figur 6.4.

MIL på universitetet i Agder er en egen forskningslab. De har fått kjøpt seg Boston Dynamics sin Spot, denne robot "hunden". Og der jobbes det må å få den spot roboten til å gå rundt i bygget med en skanner på ryggen, for å se om vi klarer å effektivisere den prosessen. Så det er et forskningsprosjekt som vi er del av, og som forhåpentligvis kommer ilt sommeren. (Intervjuobjekt)

Det finnes også andre løsninger enn selvgående roboter, men som fremdeles inneholder en del automatikk. Det blir blant annet nevnt traller man kan gå rundt med som vist i figur 6.5, "ryggsekker" som inneholder skannemaskiner (figur 6.6) eller bare håndholdte skannere. Dette skal være mye raskere måter å skanne på. "Vi kjører en pilot i et prosjekt med Navvis levert av Geograf Digital, som bare er en tralle man går rundt med å skanner. Og det går kjempe raskt" (Intervjuobjekt). Et annet intervjuobjekt gir et eksempel på hvordan man ved bruk av håndholdte skannere, eller eventuelt mobiler i fremtiden, kan føre til bedre sanntids dokumentasjon dersom man kan utstyre alle som jobber på et prosjekt med en skanner.

En annen mulighet er håndholdte skannere. Etterhvert som disse blir billigere og billigere, eventuelt om mobiler også blir gode nok, kan du for eksempel utstyre alle som jobber på prosjektet med en skanner. Og hvis de får oppdrag i å dokumentere sitt eget arbeid løpende, da får du en god sanntids dokumentasjon. Da får man veldig mye data man kan bruke, og løpende kontroll på alt. (Intervjuobjekt)

Med en slik sanntids dokumentasjon av alt arbeid som blir gjort på prosjektet, kan man rette på alle feil fortløpende, og enklere holde til fremdriftsplanen. I tillegg vil man unngå unødvendige diskusjoner mellom entreprenører, da man har dokumentasjon på alt. Slik kan man for eksempel dokumentere og sjekke at en utsparring er plassert riktig, før en ventilasjonsmontør skal montere sine rør. Når montøren er ferdig med oppgaven sin, kan han ta en enkel skann av jobben som er gjort, og eventuelt trykke på "utført oppgave". På denne måten kan man fortløpende oppdatere fremdriften, og sjekke at alt er ok før neste fag skal jobbe videre på samme sted.



Figur 6.4.: Boston Dynamics Spot tilkoblet en Leica scanner. Hentet fra (Leica Geosystems, 2021).



Figur 6.5.: NavVis Indoor mapping Trolley kartlegging-system levert av Geograf Digital. Hentet fra (Blakstad, 2018).



Figur 6.6.: NavVis VLX wearable mapping device. Hentet fra (NavVis , u.d.).

6.3.2 utfordringer med programvare

6.3.2.1 Effektivisere filtrering

En utfordring blant leverandører som leverer programvarer med automatisk identifisering av avvik, er at programvarene kan fange opp veldig mange som nødvendigvis ikke er relevante. Ofte kan det bli registrert et par 100 avvik, men hvor det egentlig bare er noen titalls avvik som er nødvendig å undersøke nærmere. “Ja, vi oppdaget masse (ved hjelp av Imerso). Men problemet var at det var så mye, så igjen hva var reelt avvik og ikke. Men vi fant kritiske feil, absolutt, som hadde gitt konsekvenser senere” (Intervjuobjekt).

Programvarene har muligheter for filtrering av avvik i forbindelse med toleranse, men her er det flere som ønsker en bedre løsning med tanke på hva som skal rapporteres av feil. Enkelte av intervjuobjektene nevner at det kanskje allerede finnes en metode for å løse dette i programmene, men at de i så fall ikke kjenner til hvordan. Her er det et forbedringspotensialet, som leverandørene muligens allerede er kjent med. (Merk: Undertegnede har ikke hatt mulighet for å teste programmene selv, og det er mulig at det er enkelte leverandører som allerede har gode løsninger på dette) Et intervjuobjekt forteller om et prosjekt hvor det ble oppdaget mange feil ved hjelp av Imerso, men hvor bare et få antall av dem som var av relevans. Dette har ikke vært en “dealbreaker”, men det er i hvert fall et forbedringspotensialet her.

Jeg mener de syntes det var ganske enkelt. Kunsten var bare at det kunne bli veldig mye avvik. Du kan få for eksempel 600 saker med plasseringsavvik eller loddavvik, også har du kanskje 36 av de som er av type kategori som sier at du faktisk må ta stilling til. Også står det her 124 saker med manglende eller feil utsparinger. Du kan jo si at 2/3 av de er saker som kanskje ikke har betydning. Så her er det kanskje forbedringspotensialet, ved at man enten gjør en bedre jobb med å stille inn hva man skal finne, eller at man ikke logger så mange saker. (Intervjuobjekt)

6.3.2.2 Navigering

Det er flere av intervjuobjektene som nevner at selvet navigeringen og visualiseringen i programvarene som tilbyr automatisk identifisering av avvik, kan forbedres. De ulike programvarene har åpenbart ulike løsninger, og dette kan variere fra program til program. Imerso og Scaled Robotics er de to mest brukte programvarene for dette formålet (identifisere avvik automatisk). Dalux og BIMcollab ZOOM er muligens enklere verktøy å navigere i, men dette kommer også an på hvor lang erfaring brukerne har med å de enkelte programmene. Ulempen med Dalux og BIMcollab ZOOM er at de ikke spesialiserer seg på å identifisere avvik automatisk, da dette ikke er deres viktigste satsningsområde. Det er muligens også årsaken til at flere syntes disse verktøyene er enklere å navigere i, da de har et større fokus på denne delen.

Personlig syntes jeg at det var enklere å navigere i BIMcollab ZOOM, når det gjaldt den rene navigeringen. Men styrken til Imerso er ikke navigering, det er jo at du kan ta en automatisk kontroll, men vi brukte ikke den funksjonen på den testet jeg gjorde. Så til ren visuell kontroll syntes jeg BIMcollab ZOOM var et bedre verktøy. (Intervjuobjekt)

Produktsjef fra BIMcollab ZOOM forteller også at de ønsker å levere et produkt som er såpass enkelt å bruke, at det ikke krever noen som helst form for forkunnskap. Vanskelighetsgraden på programmet skal være på nivå med bruken av for eksempel Microsoft Paint. På spørsmål om de tilbyr noen form for opplæring i bruken av BIMcollab ZOOM, svarer Gerben følgende.

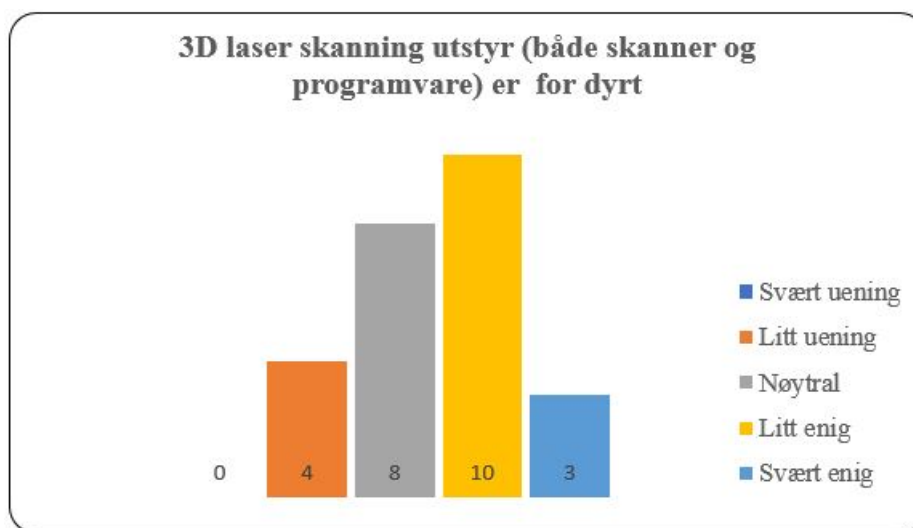
No, but maybe we should. But we aim to be not needing that. We try to be that super simple, super friendly, which everyone can use for free. It should be like drawing a picture at paint kind of level, so anyone with basic knowledge should be able to work with BIM models. I think that is why we are growing so fast in popularity as a viewer as well. And if we need to offer training, it means we are doing something wrong. (Gerben Bouthoorn)

Ulempen med bruk BIMcollab ZOOM når det gjelder å identifisere avvik er at dette ikke skjer automatisk. Dette har ikke vært et område de har hatt mye fokus på, men det blir nevnt i intervjuet at de jobber med å tilby denne løsningen i fremtiden. Når det gjelder Imerso og Scaled Robotics så ligger ikke styrken deres i navigeringen og visualisering, men i å ta en automatisk kontroll av avvik på byggeplassen. Det er derfor naturlig at det kan være forbedringspotensiale for dette spesifikke område for både Imerso og SR, som er de to mest brukte verktøyene for en automatisk kontroll av avvik, i den norske byggebransjen. Et par av intervjuobjektene nevner også at de har spilt inn noen tilbakemeldinger til Imerso og SR om at de gjerne ønsker enda flere muligheter for visualisering i modellen, for flere bruksområder. Slik at produktet blir enda bedre. Dette beviser at det kontinuerlig jobbes med å forbedre verktøyene, og at det er gode dialoger mellom entreprenørene og leverandørene som samarbeider.

6.4 Andre holdninger til laserskanning

I de neste underkapitlene vil andre holdninger og faktorer som holder tilbake entreprenører fra å ta i bruk denne teknologien diskuteres.

6.4.1 Pris og kostander



Figur 6.7.: Respondenter om laserskanning utstyr og programvare koster mye, fra spørreundersøkelsen.

Det er hovedsakelig prisen og kostnadene ved bruken av laserskanning og programvare som holder igjen de fleste entreprenørene, som ikke har tatt i bruk denne teknologien i like stor grad som enkelte som har satset mer på dette. Fra spørreundersøkelsen er det

delte meninger om denne teknologien koster mye eller ikke, men de fleste svarer “litt enig” på spørsmål om 3D laserskanning utstyr og programvarer er for dyrt, illustrert i figur 6.7. Det er derimot viktig å se på dette utsagnet i kontekst med hvilken verdi det tilbringer for prosjekter, og hva det benyttes til. I tillegg vil dette variere avhengig av hvilken skanner og programvare respondentene har i tankene når det svares på undersøkelsen. Det bør derfor ikke trekkes konklusjoner ut fra disse tilbakemeldingene alene.

For renoveringsprosjekter er intervjuobjektene ganske samkjørte om at det har stor verdi, og at verdien det tilbringer er større enn kostnadene det påfører. For nybygg derimot, er gapet større blant meningene hos intervjuobjektene, angående kostandene og nytten av teknologien. I dette tilfelle er det færre som ser nytten og verdien det påfører, kontra kostnadene. “Vi har jo egentlig konkludert med at på nybygg har ikke vi helt sett nytten av å bruke det. Men er det renoveringsprosjekter, så ser vi virkelig verdien av å ta en skanning, før vi går videre med prosjekteringen” (Intervjuobjekt). Hovedårsaken til dette er at de ikke ser store nok avvik fra det prosjekterte, og det som faktisk bygges i nybygg, forklares det av intervjuobjektet.

AF Gruppen som er blant de som har investert mest tid og penger i denne teknologien, ser derimot klar nytte av bruken med laserskanning. Etter et par prosjekter så er det liten tvil om at det har gitt stor verdi, i hvert fall for store, komplekse prosjekter. “Vi har ganske god erfaring med det nå, og det gir god verdi på de prosjektene som er enkle, sånn standard bolig prosjekter. Men det må jo gi ekstremt stor verdi på komplekse prosjekter.” (Intervjuobjekt). At det kan skape større verdi for store prosjekter er det flere som er enig med. Et annet intervjuobjekt som ennå ikke har tatt i bruk laserskanning for nybygg, bekrefter at i slike tilfeller kan det bli aktuelt med laserskanning. “Det er jo klart hvis vi får et skikkelig vanskelig og komplisert bygg, så kan det jo selvfølgelig bli aktuelt å se litt mer på det (henviser til programvarer som SR og Imerso)” (Intervjuobjekt). Kompleksiteten på prosjektet spiller altså stor rolle om man ønsker å benytte seg av denne teknologien eller ikke.

Det er naturligvis ulike meninger om prisen på programvarene mellom entreprenørene og leverandørene, da den ene parten tjener på dyre priser og taper på lave priser, og motsatt. Det er også noe uenigheter om det er laserskanneren som maskinvare, eller programvarene, som er den dyreste komponenten ved bruk av denne teknologien. Et intervjuobjekt forklarer at det er programvarene som er den dyreste delen, men at dette er skyldes automatikken og datakraften som blir tilbudt (henviser til Imerso og SR som tilbyr automatikk). Teknologien er relativ ny, og da er det også naturlig at det koster. Det er derimot ikke optimistisk å forvente at prisen på programvarer vil gå

ned med tiden, slik de fleste teknologiske nyvinninger. Det forventes derfor at dette er noe som vil bli tatt i bruk i større grad med tiden. På spørsmål om vi kan forvente en nedgang i pris på Scaled Robotics i fremtiden, svarer Bharath følgende.

Yes, the price will eventually go down as there are more users, and the technology is cheaper. Our software service is super cheap, it is not very expensive (sammenlignet med verdien det påfører). Obviously, there is an expectation that you have access to a laser scanner, and the laser scanner is expensive. (Bharath Sankaran)

Per dags dato tilbyr både SR og Imerso en løsning hvor man betaler en månedlig pris, som avhenger av størrelse og kompleksitet på prosjektet. “It is a software as a service, so you pay a monthly fee. The pricing depends on the complexity and size of the project” (Bharath Sankaran). Det er en god og rettferdig løsning, men slik det har blitt nevnt tidligere er det for de største og komplekse prosjektene de fleste entreprenørene ser nytten av å benytte seg av laserskanning. Det er årsaken til at flere syntes inngangsbilletten til å teste denne teknologien er høy, da det i tillegg er behov for en laserskanner. En slik skanner kan man både leie og kjøpe. Dersom man ønsker å kjøpe skanneren selv koster det rundt 100 000 og oppover, jo bedre kvalitet man ønsker.

Dersom man har en laserskanner finnes det også muligheter til å laste opp punkttskyene i for eksempel BIMcollab ZOOM for en ren visualisering, helt gratis. Man kan gjøre manuelle sjekk og målinger, men den klarer ikke å identifisere avvik automatisk. Dette er en mulighet man kan teste, dersom man ønsker å bli bedre kjent med teknologien. “You can download ZOOM for free, and load a point cloud and IFC file in it for free. And if in the future, this automation where you can compare the two automatically, that is going to be the paid part” (Gerben Bouthoorn). Den betalende versjonen som vil inkludere alt av tillegg og funksjonaliteter vil koste 60 euro per lisens, uavhengig av prosjekt størrelse. En lisens vil gi tilgang til 5 brukere, men de vil ikke ha tilgang til å bruke programmet samtidig, forteller Gerben videre.

6.4.2 Kunnskap, kompetanse og usikkerhet

På spørsmålet om hva som skal til for at laserskanning skal bli tatt i bruk i større grad blant flere entreprenører, blir ofte faktorene kunnskap og usikkerhet om teknologien nevnt. “Jeg tror det handler om kompetanse, forståelse og erfaring, for hva som er mulig og hvilke muligheter som finnes” (Intervjuobjekt). Et annet intervjuobjekt nevner også at det kan skyldes usikkerhet da det er en relativ ny teknologi. “Det er bare at det

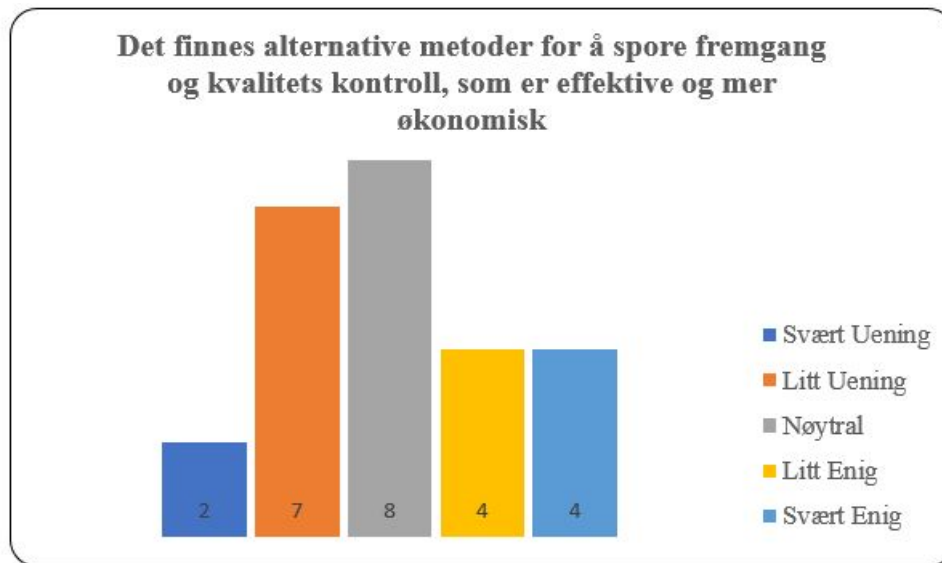
er en relativ ny teknologi, og folk er litt usikre på hvordan man skal forholde seg til avvik som kommer fra en slik skan” (Intervjuobjekt).

Da inngangsbilletten og kostnadene for å ta i bruk denne teknologien kan virke skremmende, blir det derfor viktig å kommunisere gevinstene det medfører enkelt og overbevisende. Det er like viktig at programvarene er brukervennlige. Det vil si at de er enkle og intuitive å bruke, slik at man kan være selvgående uten behov for bistand av en tredjepart. Det må altså være enkelt nok for at både anleggsledere, og andre som ikke har like gode erfaringer med å jobbe med modeller, skal kunne bruke dette. “Det kan man si med alle programvarer egentlig, men det må tilpasses de som ute i byggene til daglig, og følger opp daglig. Ikke for meg som har BIM som spesialitet” (Intervjuobjekt). Samtidig er det kjent at man lærer best ved å prøve og feile, og noen ganger er den beste løsningen å teste ut verktøyene selv.

Ja, det er jo derfor vi har gjort denne satsningen med en pilot på Bispevika for å se om det gir verdi, og vi så tidlig at det har stort potensiale for å gi verdi, og da testet vi det i et par prosjekter til. Så ga det umiddelbart verdi der og, så da var vi i gang. (Intervjuobjekt)

Dette henger sammen med at man noen ganger må ta initiativ og risiko for å teste ut noe nytt for å se om det er verdifullt eller ikke. Etter en pilot test på Bispevika med Scaled Robotics fant AF Gruppen tidlig ut at det gir god verdi, og siden har bruken av laserskanning eskalert for deres del. Det har medført til at både kunnskap og kompetanse om laserskanning og programvarene har økt, samtidig som man får klarhet rundt den usikkerheten man eventuelt sitter med angående teknologien. Det samme gjelder for bruken av Imerso på Nye SUS prosjektet. Det ble tatt i bruk fordi prosjektet har en stram fremdriftsplan. Her har det vært viktig å kontrollere at det som blir utført på byggeplassen er riktig, slik at det ikke påfører forsinkelser på et senere tidspunkt. Det ble tidlig lagt merke til at det ga god verdi, og det har siden blitt jevnlig brukt i sykehus prosjektet.

6.4.3 360 Foto



Figur 6.8.: Respondenter om det finnes alternative metoder for laserskanning, fra spørreundersøkelsen.

Det kommer tydelig fram fra spørreundersøkelsen at 360 foto er et alternativ til laserskanning, blant de 8 som svarer “litt enig” eller “svært enig” på spørsmål om hva de tenker er de alternative metodene. Spesielt når det gjelder å spore fremdrift blir det nevnt at 360 foto er et bedre alternativ, men når det gjelder ren kvalitetskontroll er det stor enighet om at laserskanning er overlegen. Intervjuobjektene er også samkjørte om at 360 foto ikke kan erstatte laserskanning når det gjelder å identifisere avvik, da nøyaktigheten ikke er god nok for dette formålet.

Det med å ta 360 bilder; det gir helt sikkert stor nytteverdi, og det kan jo nærmest hvem som helst gjøre, gå ut å ta bilder. Da får du en kjempefin innsyns verktøy, men jeg tror ikke det kan erstatte laserskanning fullt ut. Du får ikke den nøyaktigheten som du ofte er ute etter å kontrollere. (Intervjuobjekt)

Denne siteringen oppsummerer veldig godt intervjuobjektene synspunkter om 360 foto. Det er ingen tvil om at den ikke vil erstatte laserskanning når det kommer til nøyaktigheten man ofte er ute etter, for å identifisere avvik. 360 foto gir heller ikke mulighet til å ta en automatisk kontroll mot den prosjekterende modellen for å finne feil. Det er derfor ikke noe som vil konkurrere ut laserskanning med det første. Det er derimot et godt alternativ, muligens også et bedre alternativ per dags dato for å måle fremdriften i et prosjekt. Hovedsaklig, fordi terskelen og ressursene som kreves for å ta daglige foto av hele byggeplassen er mye lavere enn for laserskanning. Per dags dato er det ingen av de nevnte programvarene som kan fortelle noe om fremdrift, ved å

koble de opp mot en prosjektert modell. Det er derimot kjent at Scaled Robotics jobber med dette. "Ingen Imerso/Scaled plattform som (enda) kan fortelle fremdrift gjennom å knytte status til et IFC objekt og dets GUID" (Intervjuobjekt). Derfor er det flere som nevner at 360 foto virker som et godt supplement for laserskanning. På spørsmål om bruk av laserskanning til å måle fremdrift er effektivt, svarer et av intervjuobjektene følgende (flere som deler samme synspunkt).

Da er man jo litt avhengig av at du skanner ganske ofte da. Det vil jo kanskje variere etter type prosjekter også. Men jeg vil tippe at 360 foto kanskje er mer effektiv der, for det kan du gjøre på kort tid. (Intervjuobjekt)

Det er flere av intervjuobjektene som tror 360 foto teknologien vil ha en optimistisk fremtid, både når det gjelder å forbedre nøyaktighet, men også som et enda bedre verktøy for å måle fremdrift. Et intervjuobjekt forteller om at de er i dialog med et selskap som heter Buildots. De jobber med å automatisk måle fremdrift ved å koble 360 bilder opp mot BIM modell, ved bruk av kunstig intelligens.

Vi er i samtaler med et firma (Buildots) som gjør det bare med 360 bilder. Altså du går gjennom byggeplassen og fotograferer, også har den en sånn AI motor som kobler de 360 bildene opp mot BIM modellen og fremdriftsplanen. Så kan den måle prosent utført oppgave. (Intervjuobjekt)

Diskusjon

I dette kapitlet vil forskningsspørsmålene som ble valgt for denne oppgaven bli diskutert. Diskusjonen baserer seg hovedsaklig på resultatene fra kapittel 6, men også fra teorien om digitale tvillinger og laserskanning fra kapittel 4.

7.1 FS1 - Sammenhengen mellom punktsky og digitale tvillinger

I denne seksjonen vil forskningsspørsmål 1 bli diskutert, som er følgende:
Hva er sammenhengen mellom en punktsky fra en laserskann og digitale tvillinger?

7.1.1 Funn fra litterær data om digitale tvillinger

Fra teorien om digitale tvillinger er det stor enighet om at det er 3 elementer som er viktig for en digital tvilling. Disse er, (1) et fysisk produkt, objekt eller prosess, (2) dette gjenskapes i en virtuell, digital versjon og (3) data utveksles mellom disse to. En viktig egenskap hos digitale tvillinger, er at den har mulighet til å oppdatere informasjon mellom det fysiske og det virtuelle. Det blir også nevnt at digitale tvillinger kan deles inn i ulike grupper og nivåer, avhengig av hvor mye, og hvor ofte informasjon oppdateres mellom det fysiske og det virtuelle. Desto mer informasjon om det virkelige objektet, rommet eller prosessen den digitale tvillingen besitter, desto høyere er modenhetsgraden av den digitale tvillingen.

Fra teorien blir det gitt mange eksempler på hvordan digitale tvillinger kan bli brukt for ulike industrier, også for bygg og anlegg. Det ble derimot ikke funnet fagartikler som sammenligner en punktsky fra laserskann med digital tvillinger. Det kan skyldes lite informasjon og kunnskap om verdien laserskanneren skaper for byggeprosjekter, men også fordi det er få som klassifiserer en punktsky som digital tvilling. Dette fordi en punktsky ikke kan oppdateres uten å ta en ny skann.

Enkelte leverandører av programvarer kaller derimot det de tilbyr for digitale tvillinger. "Ved å skanne byggeplassen med en 3D-skanner kan Imerso gjenskape bygget i en

nøyaktig digital duplikat, eller det selskapet selv kaller en «digital tvilling» (Hjelle, 2021). Årsaken til dette kan være fordi det er enklere å forklare og forestille seg hva selskapet tilbyr for en som ikke er kjent med begrepet punktsky. Geograf digital kaller også resultatet fra skanningen for en digital tvilling.

7.1.2 Funn fra empirisk data om digitale tvillinger



Figur 7.1.: Respondenter om hvordan de omtaler resultatet av laserskanneren, fra spørreundersøkelsen.

Intervjuobjektene fra både leverandør og entreprenør siden har generelt god forståelse for hva en digital tvilling er. Fra spørreundersøkelsen kom det også fram at 22 av 25 respondenter er kjent med dette begrepet. Det er derimot kun 1 som omtaler det som produseres av laserskanneren som en digital tvilling, illustrert i figur 7.1. Fra intervju-studie forklarer samtlige at det er enklere å forholde seg til ord som “skanningen” eller “punktskyen”, når man skal referere til resultatene fra laserskanningen. Dette er også de begrepene som dominerer fra spørreundersøkelsen.

Når det kommer til mer detaljerte spørsmål om hva en digital tvilling betyr for intervjuobjektene, og hvilken sammenheng dette muligens har med punktskyer, kommer det fram et par interessante forklaringer. For at selvet resultatet fra laserskanneren skal bli en digital tvilling blir det nevnt at det gjerne gjenstår en del arbeid. Dersom man for eksempel kan legge til FDV dokumentasjon (forvaltning, drift og vedlikehold) eller lignende om komponentene i punktskyen, vil det være et steg nærmere en digital tvilling. Slik at man kan få opp informasjon om produsent, leverandør og kontaktinformasjon om en vegg, søyle, rør eller en annen komponent er bygget eller plassert feil. Det kan gjøre det enklere å rette opp i feilen, og fører til mindre diskusjoner om hvilken underleverandør eller entreprenør som har ansvaret for oppgaven.

Det mest optimale alternativet vil være å inkludere all informasjon fra en BIM modell sammen med punktskyen. Dersom det er mulig i disse plattformene som tilbyr visualisering av punktskyer, er man på veldig god vei mot en digital tvilling. I tillegg, hvis man i fremtiden har funnet nye løsninger for å skanne byggeplassen, som er både raskere, enklere og billigere, vil det bidra til en digital tvilling av høyere modenhetsgrad. Dette fordi det vil gi mulighet til å ta hyppigere oppdateringer av situasjonen på byggeplassen. Hvis laserskannere blir enklere tilgjengelig og et lav terskel verktøy, kan det også være en mulighet å plassere disse på bestemte lokasjoner på byggeplassen, som kan ta hyppigere skanninger. Dette vil bidra til mer automatikk i denne prosessen. Som et resultat vil det føre til at utveksling av data mellom det fysiske og virtuelle nærmer seg sanntid. Per dags dato kan man i beste tilfelle sammenligne en punktsky med den laveste grad av modenhet for en digital tvilling, da den kun representerer geometrien av det fysiske objektet. Det er også mulig å se på punktskyen som et bidrag til den digital tvillingen, men den er ikke en komplett digital tvilling i seg selv.

7.2 FS2 - Muligheter og utfordringer med laserskanning

I denne seksjonen vil forskningsspørsmål 2 bli diskutert, som er følgende:

Hva er mulighetene og utfordringene ved implementering av laserskanning teknologi i produksjonsfasen?

7.2.1 Fordeler

Slik det ble presentert fra kapittel 6 ser vi både muligheter og utfordringer ved implementering av denne teknologien. Det som kommer klart frem som den største fordelen med denne teknologien, både fra litteraturen og empirisk data, er muligheten til å kontrollere feil som blir gjort på byggeplassen. Spesielt programvarer som Imerso og Scaled Robotics som tilbyr automatisk kontroll av alle avvik mellom det prosjekterte og det som faktisk er bygget, bidrar til god verdi ved å effektivisere prosessen med kvalitetskontroll. Det å kunne identifisere feil som blir gjort på byggeplassen automatisk er den største fordelen, som har blitt lagt merke til av majoriteten i byggebransjen. I renoveringsprosjekter hvor man ikke har noen tegninger fra eksisterende forhold, finnes det ingen andre enkle løsninger enn å benytte laserskanning til å gjøre oppmålinger og kontroll. Laserskanning er også svært verdifullt i råbyggfasen for nybygg, hvor konsekvensene kan bli alvorlige dersom feil ikke oppdages tidlig. Dette bekreftes av intervjuobjektene som har brukt laserskanning i deres prosjekter.

I tillegg til å identifisere avvik i en tidlig fase, bringer det også med merverdi i form av en god dokumentasjon av det som har blitt utført. Det resulterer i at man unngår unødvendige konflikter og diskusjoner mellom entreprenører og underentreprenører om hvem som er ansvarlig for eventuelle feil. Det blir da enklere å tildele ansvaret til en spesifikk underleverandør, og kostandene kan også knyttes direkte til den som står ansvar for feilen som er gjort. Som en konsekvens leder det frem til at alle som er involvert i byggeplassen er ekstra oppmerksomme på å gjøre ting rett den første gangen, da de vet at alt vil bli kontrollert i millimeter presisjon. Det er altså ikke rom for unøyaktighet. Et intervjuobjekt bekrefter at de har lagt merke til denne effekten fra prosjekter.

Den får en gjentakende effekt også, nå som vi har bygd x etasjer. Avvikene i første til fjerde etasjene er store. Vi ser at entreprenørene blir mer og mer presise når vi kommer opp i

etasjene, fordi de ser at man ikke kommer seg unna om det er feil. Du må følge opp, hvis ikke må man tilbake å gjøre om igjen, og det er det ingen som vil. (Intervjuobjekt)

Laserskanning kan også bidra til å måle fremdrift i et prosjekt, ved å kontrollere det som er bygget opp mot en fremdriftsplan. Det er allerede enkelte leverandører som jobber med slike løsninger, blant annet Scaled Robotics. Slike løsninger er ennå ikke helt på plass, men det er noe som kan forventes i fremtiden.

7.2.2 utfordringer

Fordelene med laserskanning blir ubetydelige om utfordringene med denne teknologien overstiger de klare fordelene. Den største barrieren for de som ikke har valgt å benytte seg av denne løsningen virker å være pris og kunnskap. Det er lite som kan bli gjort med prisen, men dette er også noe som forventes vil gå ned når teknologien blir billigere, og på grunn av stordriftsfordeler (economics of scale) hvis etterspørselen blir større og kundemassen øker. Prisen kan også variere fra tid til tid, da programmene stadig effektiviseres og det ofte skjer endringer i en oppstartsfasen av en gründervirksomhet.

Når det gjelder kunnskap, handler det hovedsaklig om kompetansen som kreves for å benytte seg av disse programvarene som er nevnt fra kapittel 5. Samtidig er det usikkerheter om hvilken verdi dette faktisk bringer til prosjekter. I tillegg er det ikke alle som vet hvilke programmer som passer best for deres prosjekter, og de faktiske kostnadene ved å benytte seg av disse programvarene. Det kommer også fram i intervjustudiet at programvarene må tilpasses de som ikke har gode IT kunnskaper. I byggebransjen jobber det folk fra 18 år og opp til over pensjonsalder, og det er ønskelig at de eldste også skal kunne forholde seg til slike programmer. Hvis ikke, vil ikke de se behovet for programmene, og interessen vil også dermed forsvinne. Underentreprenører benytter seg også gjerne av sine egne programmer, og må muligens plutselig forholde seg til et tosifret antall digitale programmer. Derfor ville det vært positivt om programmene som blir benyttet, kan kobles opp mot hverandre, slik at de kan samarbeide og "snakke" sammen. Desto enklere, mer brukervennlig og selvgående man kan være, desto attraktivt vil det også være for bransjen.

En annen utfordring relatert til programvarene Imerso og SR, gjelder filtrering av avvik. Det blir ofte nevnt at laserskanneren fanger opp veldig mange avvik, som nødvendigvis ikke er relevante. Her ligger det et forbedringspotensiale for leverandører. Dersom man klarer å finne en løsning hvor programmene kun rapporterer avvik som er nødvendige

å undersøke nærmere, vil det forbedre kvalitetssikrings prosessen ytterligere. Eventuelt et færre antall av avvik som ikke er relevante. En mulig løsning kan være å tilby enda flere krav (flere ulike filtreringer) som kan stilles inn i programmene. For å oppnå dette vil det være viktig med et godt samarbeid mellom entreprenørene og leverandørene, slik det er i dag.

En av de andre utfordringene (eller en myte) om laserskanning er at det kan være en tidskrevende prosess å skanne hele byggeplassen. Dette kan variere fra prosjekt til prosjekt, og som regel vil man ta igjen denne tiden på andre forsinkelser som kan forekomme om feil ikke oppdages tidlig. Manuelle metoder for å gjennomføre kvalitetskontroll kan i noen tilfeller også ta lenger tid. Samtidig handler det om planlegging, da det nødvendigvis ikke er behov for å skanne absolutt alt, men kun det som gjerne er mest kritisk å kontrollere. Dersom man kun forholder seg til råbyggfase, og når det er ganske åpent på byggeplassen, vil det ikke kreve like mange oppstillinger som i en innredningsfase. Denne prosessen er derimot også noe som kan forventes vil automatiseres med fremtiden, og i tillegg bli billigere med tiden.

7.3 FS3 - Hvordan oppnå fordelene og overkomme utfordringene?

I denne seksjonen vil forskningsspørsmål 3 bli diskutert, som er følgende:

Hva skal til for å oppnå de fordelene og overkomme de utfordringene som er observert i FS2?

Det er flere punkter som kommer fram i intervjustudie angående hva som skal til for å overkomme utfordringene som er nevnt i forskningsspørsmål 2. Det handler som nevnt hovedsaklig om pris, kunnskap og utvikling av programvare.

Holdningene til bruken av laserskanning er god, men man ser en forskjell mellom de entreprenørene som har testet dette i større grad og andre. De som har valgt å satse mest på dette og allerede kjøpt sine egne skannere, ser klare fordeler ved å benytte seg av dette. De har økt kunnskapen om hvordan det tilfører verdi for deres prosjekter, kunnskap om hvordan det bør benyttes, og generell kompetanse om programvarene. Samtidig har de hatt mulighet til å spille inn forbedringspotensialer, enten det gjelder Imerso eller Scaled Robotics, for å utvikle programmene etter deres egne ønsker. Slik det er med selskaper som starter noe nytt, er det god dialog mellom leverandørene og kundene (entreprenørene). Det har altså vært viktig å høste gode erfaringer, slik at de som jobber i prosjektene ser behovet av laserskanningen. På denne måten har flere klart å oppnå fordelene ved bruk av laserskanning, ved å øke kunnskapen knyttet til hvordan det bør brukes, og til hvilke prosjekter det passer til.

De entreprenørene som har fått en god start på utnyttelsen av denne teknologien har gjerne en egen laserskanning avdeling eller laserskanning ansvarlig/kvalitetsinspektør, som har et overordnet ansvar for bruken av denne teknologien. De kan være med på å bestemme hvilke prosjekter det skal brukes til, hva det skal brukes til i prosjektene, og passe på slik at det blir utført riktig. Samtidig kan det være lurt å dokumentere hvilke effekter det har gitt, og anslå hva man muligens kan ha spart. Dette kan hjelpe til med å utvikle kunnskapen om teknologien, og bygge en bedre forståelse for hvilke prosjekter det passer best til. Det kommer fram fra intervjustudie at det kan være lønnsomt å kjøpe sin egen skanner i første omgang. Det trenger ikke koste mer enn 200 000 for en bra skanner, og denne kan da benyttes fullt ut i et prosjekt. Slik kan man høste erfaringer og bli bedre kjent med hvilke nytte det bringer.

Når det gjelder den fysiske prosessen med å skanne byggeplass, kan det være greit å ha noen spesifikke ansatte som er ansvarlig for dette. Det er en enkel prosess alle kan få til, men ved å ha spesikke folk som kan gjøre dette, vil de naturligvis bli mer effektive med erfaringen. Samtidig vil de få en bedre forståelse for hvilke posisjoner det er viktig å skanne fra, med tiden. Etterhvert kan man også forvente mer automatikk i denne prosessen. Derfor gjelder det å følge med på utviklingen og være med på å teste nye løsninger hvis det blir muligheter for det. Det samme gjelder for programvarene som er tilgjengelig. Da det er mange nye selskaper (leverandører) som tilbyr samme type tjeneste med ulike løsninger, er det viktig å være oppdatert på hvilke muligheter som er tilgjengelige.

Det er også viktig å huske på at dette er en teknologi som er relativ ny for byggebransjen. Den er fortsatt under utvikling, og det er forventet at den vil endre mye av måten man utfører kvalitetskontroll med tiden. Dette kan også muligens bli et verktøy for å måle fremdrift. Kvalitetssjefen i AF gruppen forteller at dette er en teknologi som kan bli revolusjonerende. Han referer til Imerso sin løsning fra 2017 som har bidratt til store tidsbesparelser. “Det er jo ennå et uferdig produkt. Hvis de får opp nøyaktigheten og lykkes med å få til objektgjenkjenning så blir dette helt genialt, revolusjonerende, sier Liverød” (Seehusen, 2017). Det er derfor viktig å følge med på utviklingen av disse programmene som er tilgjengelig.

7.4 FS4 - Dataprogrammer

I denne seksjonen vil forskningsspørsmål 4 bli diskutert, som er følgende:

Hvilke dataprogrammer har vi i dag som tilbyr denne teknologien?

- a) *Fordeler og ulemper generelt.*
- b) *Kost vs. nytten generelt.*

De dataprogrammene som tilbyr en løsning for å utnytte laserskanningens potensiale ble presentert i kapittel 5. I den norske byggebransjen er det hovedsaklig programmene Imerso og Scaled Robotics som dominerer blant dem som tilbyr en automatisk kontroll av avvik. Det finnes derimot også andre programvarer som tilbyr behandling av punkttskyer, hvor det blant annet er mulig å gjøre en visuell kontroll mellom det prosjekterte og punktskyene.

7.4.1 Generelle fordeler og ulemper med programmene

De klare fordelene ved bruk av Imerso og Scaled Robotics er at de tilbyr en automatikk i kontrollen av avvik. Det er lite kunden trenger å gjøre fra sin side, utenom å gjennomføre den fysiske prosessen med å skanne byggeplassen, og laste opp punktskyen i plattformen til enten Imerso eller Scaled Robotics. Deretter vil disse programmene prosessere dataene, og i løpet av en 24 til 48 timers periode vil resultatene være tilgjengelig med en liste over alle avvik som har forekommet mellom det prosjekterte og det som faktisk er bygget. Ulempen er at disse to programvarene ikke er like brukervennlige eller like enkle å navigere i, sammenlignet med programmer som Dalux og BIMcollab ZOOM. Dette er naturlig, da dette er relativt nye programmer i markedet som ikke har like lang fartstid. Dalux og BIMcollab ZOOM tilbyr derimot ikke en automatisk kontroll av avvik.

7.4.2 Generell kost vs. nytte med programmene

Det er ikke enkelt å måle kostanden og nytten av programmene, da det må gjøres en del antakelser om hvor mye man eventuelt sparer ved å bruke slike programmer. Kostnadene knyttet til bruken av denne teknologien er derimot noe som kan beregnes, spesielt etter at et prosjekt er utført. Da er det mulig å komme fram til ganske nøyaktige tall på hvor mye som er brukt på laserskanning. Kostandene er hovedsaklig knyttet til en laserskanner (maskinvare) og et dataprogram for å utnytte resultatene fra

skanningen. Andre kostnader kommer i form av tid, opplæring for bruk av laserskanner og dataprogram, samt menneskelig arbeidskraft for å utføre den fysiske prosessen av å skanne byggeplassen.

Nyttene som kommer fram fra intervjustudie som ble presentert i kapittel 6, gjelder hovedsaklig tidsbesparelser på kvalitetskontroll, og unngåelse av forsinkelser fordi feil blir oppdaget sent. Samtidig får man en god dokumentasjon av as-built forhold og bedre kommunikasjon mellom entreprenører og underentreprenører, fordi det fjerner diskusjoner om hvem som har gjort feil og lignende. Det som er spennende og interessant for flere entreprenører er å se om disse besparelsene har en verdi som er høyere enn det kostnadene er ved å benytte denne teknologien. Dette er vanskelig å dokumentere da det varierer fra prosjekt til prosjekt. I de få tilfellene hvor alt går etter planen, eller det ikke skjer noen store feil som har noen betydninger for et prosjekt, vil ikke skanningen ha like stor effekt. Dette fordi prosjektet var gjennomført perfekt, og det er selvfølgelig positivt, men da ser man nødvendigvis ikke laserskanningens effekt. Som regel er det derimot vanskelig å unngå at det vil forekomme feil på byggeplassen, spesielt i komplekse prosjekter, og da kan laserskanningen være veldig verdifull.

Det var kun et av intervjuobjektene som var åpen for å dele informasjon om kostnader knyttet til laserskanning (både programvare og maskinvare/skanner). Det er forståelig at intervjuobjektene ikke ønsker å dele denne informasjonen, da det også avhenger av om leverandørene ønsker å offentliggjøre avtalene som blir gjort mellom entreprenør og leverandør. Et intervjuobjekt forteller derimot om kostnadene som var knyttet til laserskanning på Spor X prosjektet i Drammen. Disse er presentert i neste avsnitt med en enkel kost vs. nytte analyse. Både entreprenør (Betonmast Buskerud Vestfold) og leverandør (Scaled Robotics) bekrefter at det er ok å dele denne informasjonen.

Spor X skal bli til et 10 etasjer kontorbygg på 6800 kvadrat meter. Laserskanningen har blitt brukt siden November 2020, og er planlagt å brukes fram til prosjektet leveres i Desember 2021 (13 måneder). Her har det blitt brukt en laserskanner som var kjøpt inn for 230 000 kr, samt Scaled Robotics hvor de landet på en rabattert avtale på 14 500 kr pr måned for dette prosjektet. Den totale kostanden for skanneren og programvaren for hele dette prosjektet er dermed beregnet til å koste 418 500 kr. I tillegg er det kun hovedsaklig intervjuobjektet selv som har vært den største ressursen for utnyttelsen av denne teknologien. Intervjuobjektet har hatt ansvaret for å både skanne byggeplassen, og etterbehandle dataene før og etter analysen fra Scaled Robotics. Det har blitt estimert et tidsbruk på ca. 50% av den totale arbeidstiden til intervjuobjektet, som utgjør ca. 400 000 kr i lønnskostander per år for denne tiden. Estimert total kostand for laserskanning på dette prosjektet er dermed 818 500 kr.

Dersom det regnes med en fortjeneste på 10% av kostnadsrammen (200 000 000 kr) til prosjektet, utgjør dette 20 000 000 kr. Den totale kostanden til laserskanningen utgjør da kun 4,09% av den totale fortjenesten (20 000 000) på prosjektet. Sammenlignet med den nytten det har medført prosjektet har laserskanningen vært svært verdifullt og nyttig på dette prosjektet, bekrefter intervjuobjektet.

I eksemplet over har det blitt gjort en del antakelser. Her er det også gitt at den som jobber med laserskanningen er godt kjent med denne teknologien, og vet hvordan det brukes. Som regel kan det forekomme opplærings kostander, og det er også ønskelig at flere partier (andre arbeidere) inkluderes. Dersom den som jobber med laserskanningen er sykemeldt, krever det for eksempel at andre kan ta over. Det kan derfor gjerne forekomme ytterligere kostander for bruken av laserskanning. De fleste intervjuobjektene mener derimot at potensiale til laserskanning er mer verdifullt enn kostnadene. Med tiden er det også forventet at dette vil bli både bedre og billigere, og nytten vil sannsynligvis derfor bli større og større i forhold til kostnadene etterhvert.

Konklusjon

Med litteraturstudie, spørreundersøkelse og intervjustudie er det forsøkt å svare på forskningsspørsmålene og formålet med oppgaven. I dette kapitlet vil det bli gitt en oppsummering av funnene, og en kortfattet konklusjon på problemstillingen. Tilslutt er det gitt en refleksjon rundt vurderingen av funnene i oppgaven og anbefalinger til videre arbeid.

Hensikten med denne oppgaven var å undersøke hvordan bruken av laserskanning teknologi kan effektivisere produksjonsfasen med fokus på kvalitetssikring, og hvilken sammenheng dette har med digitale tvillinger. På bakgrunn av funnene, kan man se en tydelig indikasjon på at laserskanning effektiviserer produksjonsfasen ved å unngå forsinkelser i et prosjekt. Dette fordi man kan identifisere alle avvik enkelt og raskt, så fort det forekommer en feil på byggeplassen. I tillegg bringer det merverdi i form av en god dokumentasjon av det som er utført på byggeplassen. Det resulterer i bedre kommunikasjon mellom entreprenører og underentreprenører, da man unngår diskusjoner om hvem som har ansvaret for å rette opp i en eventuell feil. Det fører dermed til bedre flyt i prosjektet. Barrieren for å benytte seg av denne teknologien derimot, henger sammen med kostnadene og pris knyttet til laserskanner og programvare, men også kunnskap og kompetanse om teknologien. Hvordan, og til hvilke prosjekter det derfor egner seg mest å benytte seg av laserskanning er derimot ikke like enkelt å konkludere.

Fra intervjustudie kommer det tydelig fram at laserskanning er det mest optimale alternativet for bruk i renoveringsprosjekter som ikke har gode tegninger fra før. Med bruken av laserskanningen til slike prosjekter kan man dokumentere faktiske forhold før projektering og produksjon. I nybygg er det hovedsaklig i råbyggfasen laserskanning kommer til størst nytte, da det er i denne fasen konsekvensene av følgefeil blir størst. Det undersøkes også om laserskanningen kan bli benyttet for å spore fremdriften i et prosjekt, og det er derfor noe som muligens kan forventes med tiden. Det avhenger derimot av at man tar nye skanninger i løpet av hele produksjonsfasen. 360 foto blir derfor nevnt som et bedre alternativ for dette formålet, både fra intervjustudie og spørreundersøkelsen.

Holdningen til laserskanningens potensiale er generelt god blant samtlige intervjuobjekter. Det forteller at bransjen er positive til denne teknologien. Laserskanning virker som en type forsikring for prosjekter. Den følger godt med på det som skjer på

byggeplassen, og dersom det dukker opp feil blir det oppdaget tidlig. Det gir mulighet for umiddelbare tiltak slik at man unngår forsinkelser og andre kostnader. Den er dermed også et ekstra insentiv for underentreprenører, som vet at laserskanneren vil rapportere alle avvik og feil som er utført. Dette sikrer bedre nøyaktighet i arbeid utført av underentreprenører ved førstegangs utførelse, da de vil stå ansvarlig for feilretting ved eventuelle avvik. Dette er derfor også med på å føre til bedre flyt i prosjektene, og mindre feil.

For å få mest ut av laserskanning og oppnå de fordelene dette medfører er undertegnede anbefaling å starte å bruke laserskanning i råbyggfasene av komplekse prosjekter. Det blir også nevnt blant enkelte intervjuobjekter at det kan være hensiktsmessig å kjøpe en egen laserskanner, som kan benyttes kontinuerlig i et prosjekt. Slik kan man øke kompetanse og kunnskap om teknologien, samt høste gode erfaringer. I tillegg kan det være praktisk å ha noen spesifikke ansatte til å utføre den fysiske prosessen med å skanne byggeplassen, og for å etterbehandle dataene. Disse vil da enklere akkumulere kunnskap om hvordan laserskanning bør brukes, både når det gjelder den fysiske prosessen med å skanne, og for å få en bedre forståelse for hva som er viktig å kontrollere. Slik vil man også øke kompetanse om programvarene, og det vil åpne muligheter for å gi tilbakemeldinger og egne ønsker til leverandørene som selv er i en utviklingsfase. Dersom man i tillegg klarer å dokumentere/anslå kostnader og besparelser fra prosjekter dette brukes til, vil dette også gi en bedre forståelse for hvilke prosjekter det passer å bruke laserskanning i fremtiden.

Når det gjelder hvilken sammenheng dette har med digitale tvillinger ble det observert mange ulike meninger, men også flere fellestrekk. Begrepet digitale tvillinger ble også tolket på ulike måter blant intervjuobjektene, noe som var naturlig og forventet. Undertegnede konklusjon er at det er veldig få likheter mellom laserskanning/punktskyer og digitale tvillinger. Det kan i beste tilfelle bli regnet som en digital tvilling med laveste grad av modenhet. Årsaken er at den ikke forteller noe mer enn geometrien, og det er i tillegg kun et stillbilde. Punktskyen har ikke mulighet til å endre seg. Dersom man ønsker en ny oppdatering er man nødt til å ta en ny skanning og generere en ny punktsky. Hvis det derimot i fremtiden kommer nye løsninger for å ta skanninger av byggeplassen som er såpass enkle at man kan oppdatere byggeplassen med hyppige punktskyer, og i tillegg klarer å inkludere annen type informasjon enn kun geometri, kan det begynne å ligne mer på en komplett digital tvilling.

8.1 Vurdering av funn

Slik det ble nevnt i kapittel 2.3 om troverdighet til empirisk data, består hovedsaklig intervjuobjektene av de som selv har testet, brukt og høstet erfaringer fra bruken av laserskanning. De har også roller tilknyttet digitalisering, innovasjon og teknologi. I tillegg viser de til gode eksempler på hvordan verktøyene har blitt benyttet for å skape verdi i deres prosjekter. Funnene i oppgaven kan derfor antas å være relevante og anvendelige. Eventuelle svakheter kan være det ensidige utvalget av intervjuobjektene. En stor andel er engasjerte brukere av teknologien, eller med stor interesse for den. Dermed kommer det ikke like klart frem hva kritikerne mener. Fra intervjustudie kom det allikevel fram både gode og konstruktive tilbakemeldinger om teknologien, og det har vært en indikasjon på god troverdighet av resultatet.

Det er muligheter for at det er enkelte i bransjen som har testet laserskanning som ikke er like overbeviste om nytten sammenlignet med kostnadene. Enkelte har muligens også tapt store beløp på bruken av denne teknologien. Dette blir derimot kun spekulasjoner og antakelser, men det er viktig å legge vekt på kostnadene og de ekstra ressursene som kreves for å få dette til å fungere. Det som derimot er klart, er at dette er en teknologi som vil utvikle seg til det bedre, og mest sannsynlig også bli billigere. Det er derfor viktig å følge med på utviklingen av de nye programmene og løsningene som blir introdusert i markedet.

8.2 Videre arbeid

Denne oppgaven har avdekket et par interessante emner som kan være nyttige for videre forskning.

Resultatet i denne oppgaven er hovedsaklig basert på et intervjustudie blant individer med god erfaring med bruken av laserskanning fra flere forskjellige prosjekter. For å etablere et sammenligningsgrunnlag kan det være interessant å samle inn mer detaljert informasjon om ett eller flere spesifikke prosjekter hvor laserskanning har blitt brukt jevnlig gjennom hele prosjektet. Dette vil åpne mulighet for å gå i dybden av denne teknologien, og det kan dermed utføres en grundig kost vs. nytte analyse av et spesifikt program.

Et eksempel kan være å undersøke prosjektene Nye SUS og Spor X, som er to prosjekter hvor laserskanning har blitt brukt jevnlig gjennom hele produksjonsfasen. Her har det

også blitt brukt henholdsvis Imerse og Scaled Robotics, som er de to programmene som er mest brukt for kvalitetssikring ved hjelp av laserskanning i den norske byggebransjen. Dette vil da samtidig gi mulighet for å sammenligne programmene opp mot hverandre.

Et annet spennende tema har vært bruken av laserskanning til å spore fremdrift. En mulighet er å gå dypere inn på hvordan laserskanning kan bli brukt til å spore fremgang, og om dette er noe som burde bli satset på. Eventuelt kunne det vært nyttig å se hvordan dette kan løses med 360 foto løsninger.

Til slutt kan det også være interessant å teste ut et par av verktøyene selv, og sammenligne disse opp mot hverandre. Dette vil da gi et annet grunnlag enn ved bruk av kvalitative intervjuer for å svare på den samme problemstillingen i denne oppgaven. Det vil også være verdifullt om man kan kartlegge fordelene og ulempene med de ulike programmene, og hva som faktisk kreves av kompetanse for å benytte seg av disse.

Bibliografi

- Academic Work. (u.d.). *3 intervjuteknikker - hvilke velger du?*. Academic Work. <https://www.academicwork.no/insights/arbeidsgivere/3-intervjuteknikker>.
- AF Gruppen. (2020, 04. februar). *Skyter inn millioner i automatisering*. <https://afgruppen.no/nyheter/2020/02/skyter-inn-millioner-i-automatisering/>.
- Amanda Swygart-Hobaugh. (2018, 16. juli). *An Intro to NVivo Qualitative Data Analysis Software* [Video]. YouTube. https://youtu.be/QNjEygXM_bE.
- Angeles, F. (2018, 13. august). *Bim Foundations: BIM workflow* [Video]. LinkedIn Learning. <https://www.linkedin.com/learning/bim-foundations-2/bim-workflow>.
- Augustine, P. (2020). Chapter Four - The industry use cases for the Digital Twin idea. I P. Raj & P. Evangeline (red.), *Advances in computers* (1. utg., s. 79-105). Elsevier.
- Bjørheim, K. (2019, 24. januar). *Imersos nye laserskanner har avdekket mer enn tusen byggefeil på Campus Ås*. *Teknisk Ukeblad, TU Bygg*. <https://www.tu.no/artikler/imersos-nye-laserskanner-har-avdekket-mer-enn-tusen-byggefeil-pa-campus-as-br/456149?key=QUngqHgv>.
- Blakstad, S. (2018, 3. juli). *Skanner Operaen i 3D og lager innvendig Google street view*. <https://www.bygg.no/skanner-operaen-i-3-d-og-lager-innvendig-google-street-view/1360430!/?image=0>.
- BrandStudio & Geodata. (u.d.). *Digitale tvillinger har blitt en av de viktigste trendene: Den som ikke har det vil bli akterutseilt*. <https://e24.no/annonsorinnhold/betalt-innhold/bak-tallene/digitale-tvillinger-har-blitt-en-av-de-viktigste-trendene-den-som-ikke-har-det-vil-bli-akterutseilt/24657037/>.

- Bråthen, K. & Molad, L.E. (2016). *Samhandlingsfase og BIM på byggeplass: Erfaringer fra Urbygningen ved NMBU*. Fafo-rapport 20578. <https://www.fafo.no/zoo-publikasjoner/fafo-rapporter/item/samhandlingsfase-og-bim-pa-byggeplass>.
- buildingSMART. (2013, 12. oktober). *Kollisjonskontroll: Prosess*. <https://buildingsmart.no/bs-guiden/prosesser/kollisjonskontroll>.
- buildingSMART. (2014, 20. mai). *buildingSMART Datamodell*. <https://arkiv.buildingsmart.no/hva-er-apenbim/bs-datamodell>.
- buildingSMART. (2017, 19. april). *buildingSMART Dataordbok*. <https://arkiv.buildingsmart.no/hva-er-apenbim/bs-dataordbok>.
- buildingSMART. (2020, 31. januar). *buildingSMART Prosess*. <https://arkiv.buildingsmart.no/hva-er-apenbim/bs-prosess>.
- Capture3D. (u.d.). *Best Uses of 3D Scanning and Its Applications*. <https://www.capture3d.com/knowledge-center/blog/best-uses-of-3d-scanning-software>.
- Charef, R., Alaka, H. & Emmitt, S. (2018). Beyond the third dimension of BIM: A systematic review of literature and assessment of professional views. *Journal of Building Engineering*, 19, 242-257. doi: 10.1016/j.jobbe.2018.04.028
- Chen, P.-H., Cui, L., Wan, C., Yang, Q., Ting, S. & Tiong, R. (2005). Implementation of IFC-based web server for collaborative building design between architects and structural engineers. *Automation in Construction*, 14(1), 115-128. doi: 10.1016/j.autcon.2004.08.013
- Dahlum, S. (2021, 9. mars). *validitet*. Store norske leksikon. <https://snl.no/validitet>.
- Dalux. (u.d.). *Dalux Field*. Hentet 17. juni 2021 fra. <https://www.dalux.com/no/dalux-field/>.
- Davies, D. (2013). *Modelled on Software Engineering: Flexible Parametric Models in the Practice of Architecture* [Doktorgradsavhandling, RMIT University]. Daniel Davis. <https://www.danieldavis.com/thesis/>.

- Deloitte. (u.d.). *Tre ting du må vite om kunstig intelligens* Hentet 31. mai 2021 fra. <https://www2.deloitte.com/no/no/pages/technology/articles/tre-ting-vite-kunstig-intelligens-ai.html>.
- Denzin, N.K. & Lincoln, Y.S. (2018). *The SAGE handbook of qualitative research* (5. utg.). Sage.
- DigitalNorway. (2021a). *Digitale tvillinger i praksis*. <https://digitalnorway.com/modul/digitale-tvillinger-i-praksis/>.
- DigitalNorway. (2021b, 20. januar). *Digitale tvillinger: Slik brukes det i dag*. <https://digitalnorway.com/digitale-tvillinger-slik-brukes-det-i-dag/>.
- DigitalNorway. (2021c). *Hvordan fungerer en digital tvilling*. <https://digitalnorway.com/modul/hvordan-fungerer-en-digital-tvilling/>.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R. & Liston, K. (2011). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors* (2. utg.). Wiley.
- Ebrahim, M. (2014). 3D LASER SCANNERS: HISTORY, APPLICATIONS, AND FUTURE. doi: 10.13140/2.1.3331.3284
- Edl, M., Mizerák, M. & Trojan, J. (2018). 3D LASER SCANNERS: HISTORY AND APPLICATIONS. *Acta Simulatio*, 4(4), 1–5. doi: 10.22306/asim.v4i4.54
- Eikeland, P.T. (2001). *Teoretisk analyse av byggeprosesser*. Samspillet i byggeprosessen.
- Eshkenazi, A. (2021, 21. september). *Real benefits from Digital Twins*. Association for Supply Chain Management. <https://www.ascm.org/ascm-insights/real-benefits-from-digital-twins>.
- Gallagher, W. (2021, 5. mars). *How to use the LiDAR scanner in iPhone 12 Pro*. <https://appleinsider.com/articles/21/03/02/how-to-use-the-lidar-scanner-in-iphone-12-pro>.
- Giel, B. & Issa, R. (2011). Using Laser Scanning to Access the Accuracy of As-Built BIM. *Computing in Civil Engineering (2011)*, 665-672. doi: 10.1061/41182(416)82

- Grieves, M. & Vickers, J. (2017). Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems. I F.-J. Kahlen, S. Flumerfelt & A. Alves (red.), *Transdisciplinary perspectives on complex systems: New findings and approaches* (s. 85-113). Springer. doi: 10.1007/978-3-319-38756-7_4
- Grønmo, S. (2020a, 3. november). *kvalitativ metode*. Store norske leksikon. https://snl.no/kvalitativ_metode.
- Grønmo, S. (2020b, 4. juni). *kvantitativ metode*. Store norske leksikon. https://snl.no/kvantitativ_metode.
- Hellevik, O. (2002). *Forskningsmetode i sosiologi og statsvitenskap* (7. utg.). Universitetsforlaget.
- Helse Stavanger. (2020a, 06. oktober). *SUS2023 er verdens beste digitale byggeprosjekt*. <https://helse-stavanger.no/om-oss/nyheter/sus2023-er-verdens-beste-digitale-byggeprosjekt>.
- Helse Stavanger. (2020b, 11. mai). *Teknologi*. <https://helse-stavanger.no/om-oss/sus2023/teknologi>.
- Hjelle, E.S. (2021, 04. juni). *3D skanning gir nye muligheter*. KLP Eiendom. <https://www.klpeiendom.no/oslo/nyhetsarkiv/digitale-tvillinger-gir-smidige-og-noyaktige-renoveringsprosjekter>.
- Holocreators GmbH. (2019, 1. november). *What is a Point Cloud?* [Video]. YouTube. <https://youtu.be/PL6wD8jczkE>.
- Hultgren, J. & Lundstrøm, K. (2020). *The concept of digital twins in the manufacturing industry: A study untangling the digital twin concept to utilize its benefits* [Masteroppgave, Chalmers University of Technology]. Chalmers Open Digital Repository. <https://hdl.handle.net/20.500.12380/301074>.
- Imerso. (u.d.). *How it works: Automatic BIM Inspection*. <https://www.imerso.com/platform>.
- Imerso. (2020a, 20. august). *Scanning a construction site is a slow process. Myths about 3D laser scanning the Building Industry*. <https://medium.com/imerso/>

scanning-a-construction-site-is-a-slow-process-myths-about-3d-laser-scanning-the-job-site-160c3d3a084e.

Imerso. (2020b, 17. mars). *What is 3D Scanning ?* <https://medium.com/dataseries/what-is-3d-scanning-6aec67e719c9>.

Jacobsen, D.I. (2015). *Hvordan gjennomføre undersøkelser?: Innføring i samfunnsviten-skapelig metode* (3. utg.). Cappelen Damm.

Kritzinger, W., Karner, M., Traar, G., Henjes, J. & Sihn, W. (2018). Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 1016-1022. doi: 10.1016/j.ifacol.2018.08.474

Kubba, S. (2016). *Handbook of Green Building Design and Construction: LEED, BREEAM and Green Globes* (2. utg.). Elsevier Science & Technology. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/uisbib/detail.action?docID=4719183>.

Leica Geosystems. (u.d.). *Leica Cyclone 3DR - All-in-one Deliverable Solution*. Hentet 17. juni 2021 fra. <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/software/leica-cyclone/leica-cyclone-3dr>.

Leica Geosystems. (2021, 25. februar). *Leica Geosystems Offers Mobile, Agile 3D Reality Capture Solution for Boston Dynamics Spot*. https://leica-geosystems.com/en-us/about-us/news-room/news-overview/2021/02/2021_02_22_boston_dynamics.

Linge, G.N. (u.d.). *Hva er egentlig... BIM*. Relasjon. Hentet 19. februar 2021 fra. <https://relasjon.skanska.no/hva-er-egentlig-bim/>.

LinkedIn. (u.d.). *Imerso AS*. Hentet 17. juni 2021 fra. <https://www.linkedin.com/company/imerso-3d/?originalSubdomain=no>.

Lorek, S. (2021, 01. februar). *What is BIM (Building Information Modeling)*. Constructible. <https://constructible.trimble.com/construction-industry/what-is-bim-building-information-modeling>.

Madni, A., Madni, C. & Lucero, S. (2019). Leveraging Digital Twin Technology in Model-Based Systems Engineering. *Systems*, 7, 13. doi: 10.3390/systems7010007

- Monk, A. (2019, 17. juni). *4 Use Cases for 3D Laser Scanning in Construction*. E-ARC. <https://www.e-arc.com/blog/4-use-cases-for-3d-laser-scanning-in-construction/>.
- Moussy, L. (2020, 24. november). *Three ways to determine distance using LiDAR*. YellowScan. <https://www.yellowscan-lidar.com/knowledge/three-ways-to-determine-a-distance-with-lidar/>.
- NavVis . (u.d.). *Versatile reality capture* . <https://www.navvis.com/vlx>.
- NGI. (u.d.). *Hva er BIM?* Hentet 19. juni 2021 fra. <https://www.ngi.no/Tjenester/Fagekspertise/BIM/Hva-er-BIM>.
- Piamulholland. (u.d.). *Mesh Construction*. <https://piamulholland.wordpress.com/unit-66/mesh-construction/>.
- Scaled Robotics. (u.d.). *TRACK PROGRESS AND ENSURE QUALITY*. Hentet 17. juni 2021 fra. <https://scaledrobotics.com/product/>.
- Seehusen, J. (2017, 7. september). *Mobilskanning kutter byggekostnadene med over 100 millioner* . *Teknisk Ukeblad, TU Bygg*. <https://www.tu.no/artikler/mobilskanning-kutter-byggekostnadene-med-over-100-millioner/405382>.
- Strand, S.S. (2020a, 18. juni). *Dalux vil utstyre 35.000 norske bygningsarbeidere med AR-teknologi*. *Byggeindustrien*. <https://www.bygg.no/dalux-vil-utstyre-35-000-norske-bygningsarbeidere-med-ar-teknologi/1436841!/>.
- Strand, S.S. (2020b, 03. juni). *Harbitz Torg* . *Byggeindustrien*. <https://www.bygg.no/harbitz-torg/1434453!/>.
- Strand, S.S. (2021, 17. februar). *La ned grunnplanke på trebygget Spor X i Drammen* . *Byggeindustrien*. <https://www.bygg.no/la-ned-grunnplanke-pa-trebygget-spor-x-i-drammen/1458949!/>.
- Tao, F., Zhang, H., Liu, A. & Nee, A.Y.C. (2019). *Digital Twin in Industry: State-of-the-Art*. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 15(4), 2405-2415. doi: 10.1109/TII.2018.2873186

- Tekna. (2020, 12. oktober). *Helt enkelt: Hva er en digital tvilling - og hva kan den brukes til?* <https://www.tekna.no/kurs/innhold/helt-enkelt-hva-er-en-digital-tvilling--og-hva-kan-den-brukes-til/>.
- Telenor. (u.d.). *Hva er IoT?* Hentet 31. mai 2021 fra. <https://www.telenor.no/bedrift/iot/hva-er-iot/>.
- Thilmany, J. (2018, 27. februar). *What Is a Point Cloud?*. Constructible. <https://constructible.trimble.com/construction-industry/what-is-a-point-cloud>.
- Varmedal, J. (2018, 18. januar). *Fremtidens byggeplass*. Byggeindustrien. <https://www.bygg.no/fremtidens-byggeplass/1340855!/>.
- Yusuf, B. (2020, 05. mai). *Everything you need to know about scan-to-BIM*. NavVis. <https://www.navvis.com/blog/everything-you-need-to-know-about-scan-to-bim>.

Spørreskjema

A

Google skjemaet er delt inn i 5 seksjoner. Hvilke seksjoner man kommer til avhenger av enkelte svar som blir oppgitt fra tidligere seksjon. Det som er markert i gul, er en kort forklaring på hva som skjer dersom man velger et bestemt alternativ når man trykker på “neste” i spørreskjemaet.

Laser Skanning og Digitale Tvillinger

Spørreskjema - Et verktøy for å hente relevante erfaringer med laser skanning og digitale tvillinger fra bygge bransjen

*Må fylles ut

1. Hva er din nåværende stilling? *

Markér bare én oval.

- Arkitekt
- BIM - Koordinator
- Rådgivende Ingeniør
- Konsultent
- Prosjekt-/prosjekteringsleder
- Formann
- Mellom- eller toppleder
- HMS-ansvarlig
- Andre: _____

2. Hvor mange års erfaring har du innen byggebransjen? *

Markér bare én oval.

- Under 2 år
- Mellom 2 og 5 år
- Mellom 5 og 10 år
- Over 10 år

3. Hvilken type aktør jobber du for? *

Markér bare én oval.

- Byggherre
- Entreprenør
- Rådgiverselskap
- Leverandør
- Andre

4. Hvor mange ansatte har bedriften totalt? *

Markér bare én oval.

- Mindre enn 50
- 50-100
- 100-500
- Mer enn 500
- Vet ikke

5. I hvilken byggefase er du involvert i? *

Merk av for alt som passer

- Idefase og forstudie
- Forprosjekt eller detaljprosjektering
- Gjennomføring/Produksjon
- Overtakelse/reklamsjonstid
- Forvaltning, drift og vedlikehold
- Andre: _____

6. Er du kjent med begrepet digitale tvillinger? *

Markér bare én oval.

Ja

Nei

7. Er du kjent med laser skanning og hvordan det kan brukes i byggebransjen? *

Markér bare én oval.

Ja **Fortsett til neste seksjon**

Nei **Send inn skjema**

3D Laser Skanning

8. Har du selv vært med på å teste/bruke laser skanning på byggeplass, eller vært en del av teamet som jobber med resultatene fra laser skanningen? *

Markér bare én oval.

Ja **Fortsett til neste seksjon**

Nei **Hopp til spørsmål 17 etter denne seksjonen**

9. Hvordan omtaler du kopien som blir laget av laser skanneren? *

Markér bare én oval.

Digital kopi

Digital tvilling

Reality capture

As-built kopi

3D skanningen/3D skanning kopien

Andre: _____

10. Til hvilke formål har du brukt laser skanning? *

Merk av for alt som passer

- Kun til testing av utstyr og teknologi
- Kvalitetskontroll/sikring (sammenligne det som bygges med BIM modell)
- Renoveringsprosjekter
- Dokumentere/Oppdatere as-built forhold/tilstander
- Andre: _____

11. Hvilke programvarer som tilbyr behandling av laser skanningen/digitale tvillinger har du brukt/testet selv? *

Merk av for alt som passer

- IMERSO
- Scaled Robotics
- Dalux
- Andre: _____

12. Hvilken er du mest fornøyd med, om du har testet flere?

Markér bare én oval.

- IMERSO
- Scaled Robotics
- Dalux
- Andre: _____

13. Hvilken laser skanner har du brukt/testet? *

Merk av for alt som passer

Leika

Faro Fokus

Vet ikke/husker ikke

Brukte ikke selv laser skanneren, men jobbet med resultatene/kopien av laser skanningen

Andre: _____

14. Hvis du vet hvilke modell dere brukte i forrige spørsmål (feks Leika BLK 360), kan du nevne hvilke(n)?

15. Har dere kjøpt egne 3D skannere, eller har det vært leid? *

Markér bare én oval.

Kjøpt

Leiet

Begge deler

16. Dine erfaringer med testing/bruk av laser skanner (basert på den laser skanneren og programvaren du er mest fornøyd med hvis du har testet flere) *

Markér bare én oval per rad

	Svært uenig	Litt uenig	Nøytral	Litt enig	Svært enig
Det var vanskelig å bruke 3D skanning utstyret	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Prosessen med å skanne byggeplass tar mye tid	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3D skanningen har bidratt til å spare mye penger på prosjekter det har blitt brukt	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3D skanning oppdaget flere feil, som hadde vært vanskelig å oppdage uten denne teknologien	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3D skanningen har vært en effektiv metode for kvalitetskontroll/sikring	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3D skanning har bidratt til mer økonomisk verdi, enn kostanden til utstyr, programvare og opplæring til sammen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Brukervennligheten til programvare som ble brukt til å behandle 3D skanning var enkel	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Hopp til spørsmål 19 etter denne seksjonen

17. Hva er årsaken til at du/dere ikke har valgt å teste/bruke 3D skannere i prosjekt?

*

Merk av for alt som passer

- Ser ikke behovet/verdien med 3D skannere
- For dyrt å implementere (kun med tanke på pris av utstyr og programvare)
- Vanskelig å implementere (pga tilgjengelighet for opplæring, tidsbruk)
- Brukervennlighet til programvare (vanskelig å importere/sammenligne med BIM modell, krever mye manuelt arbeid)
- Andre: _____

18. Hva skal til for at dere skal implementere denne teknologien?

Merk av for alt som passer

- Billigere
- Mer brukervennlig
- Mulighet til å koble opp mot systemer dere allerede bruker
- Mulighet til å sammenligne med BIM modell
- Andre: _____

19. Hvor enig/uenig er du i følgende utsagn? *

Markér bare én oval per rad

	Svært uening	Litt uening	Nøytral	Litt enig	Svært enig
3D laser skanning utstyr (både skanner og programvare) er for dyrt	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3D laser skanning utstyr (både skanner og programvare) er for dyrt i forhold til verdien den tilbringer i prosjekter	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bruk av 3D laser skannere på byggeplass er for komplisert og vanskelig	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Å skanne en bygge plass er en langsom prosess	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3D laser skanning er en effektiv metode for å spore fremgang (kvalitetskontroll/sikring) i produksjons-/gjennomførings fasen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3D laser skanning er unødvendig	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Det finnes alternative metoder for å spore fremgang (kvalitetskontroll/sikring) enn laserskanning, som er like effektiv, men mer økonomisk	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

20. Hvis du svarte svært enig eller litt enig på siste utsagn på forrige spørsmål om alternative metoder for laser skanning. Kan du nevne hvilke(n)?

21. Kan du nevne alle de programvarer du har hørt om som tilbyr å lage digitale tvillinger/laser skanning? *

Merk av for alt som passer

IMERSO

Scaled Robotics

Dalux

Kjenner du til andre programvarer? Hvis ja, noter på feltet "Annet"

Andre: _____

22. Hvis det er ok for deg/dere, kan du nevne hvilke selskap du jobber for? (Alle svar vil bli holdt anonyme, det er kun for å ikke få skjeve tall dersom undersøkelsen blir besvart av flere i samme bedrift, da det forventes at disse vil svare likt på spørsmål som, om dere har investert i egne 3D skannere)

23. Har du mulighet til å gjennomføre et digital intervju for å gå dypere inn på disse temaene og diskutere mer spesifikt fordeler og utfordringer ved implementering av laser skanning i bygge prosjekter? Hvis ja, send meg gjerne en mail på "minmail@gmail.com", eller noter din mail adresse jeg kan kontakte deg på.

Det ble laget en formell intervjuguide, som ble sendt til alle intervjuobjekter, både leverandører og entreprenører. Denne ble sendt sammen med de tilhørende spørsmålene. Enkelte spørsmål var like både for leverandørene og entreprenørene, mens andre var rettet spesifikt mot enten leverandøren eller entreprenøren. Intervjuguiden som ble sendt til intervjuobjektene er vist på neste side. I seksjon B.1 er de tilhørende spørsmålene som ble sendt til leverandørene vedlagt, mens de tilhørende spørsmålene som ble sendt til entreprenørene er vedlagt i seksjon B.2.

Intervjuguide

Bakgrunn og formål

Mitt navn er Jevarunen Nagalingam. Jeg er for øyeblikket i mitt siste semester på studieprogrammet industriell økonomi ved UiS med spesialisering innenfor entreprenørskap og teknologiledelse, og bachelorgrad som bygg ingeniør. Masteroppgaven har som formål å kartlegge fordelene og utfordringene ved bruk av digitale tvillinger i produksjonsfasen av byggeprosessen, og informasjon om de digitale verktøy vi har tilgjengelig for å benytte oss av denne teknologien. Derfor er det viktig for oppgaven å hente informasjon fra aktører innenfor bransjen som har erfaringer med bruk av denne type teknologi.

Intervjuguidens inndeling

Intervjuguiden er delt opp i 3 deler:

1. Informasjon om oppgaven, intervjuet og gjennomføringen av det.
2. Generelle spørsmål om deg og ditt forhold til digitale tvillinger og 3D skanning.
3. Utdypende spørsmål som baserer seg på bruk av digitale tvillinger, 3D skanning, de digitale verktøy, kostnad og gevinst.

Gjennomføring av intervjuet

Denne intervjuguiden med tilhørende spørsmål blir sendt til intervjuobjektene, slik at det er mulig å forberede seg før intervjuet. Intervjuene er tiltenkt å gjennomføres digitalt, men om situasjonen tillater det, er det også åpent for andre forslag. Det er satt tidsbegrensning på ca. 1 time.

Avklaring: Det er ønskelig å ta lydopptak av intervjuene for analyse. Opptaket vil bli slettet umiddelbart etter at analysen er gjennomført. Hvis noen ved formodning ikke ønsker dette, bes det om at det blir sagt ifra om på forhånd.

B.1 Tilhørende spørsmål for leverandører

Det som er markert i blått i spørsmålene, ble erstatt med enten Imerso, Scaled Robotics, Dalux eller BIMcollab ZOOM. Spørsmålene for leverandørene ble laget i både en norsk og engelsk versjon, da flere av intervjuobjektene for disse selskapene var fra andre land enn Norge. Den engelske versjonen som ble sendt til intervjuobjektene er også vedlagt, den kommer bak den norske versjonen.

1. Introduksjon

- a. Ønsker du å være anonym i denne oppgaven og studiet?
 - i. Hvis ja. Kan jeg bruke din stillingstittel som ID?
 - ii. Hvis nei. Hva er ditt navn?
 - iii. Hvis nei. Hva er din stillingstittel?
- b. Hvor lenge har du jobbet for selskapet?
- c. Hvor lenge har du hatt stillingen du har i dag?
 - i. Har du hatt andre stillinger i selskapet tidligere?
 - ii. Hvilken utdanning har du fullført?
- d. Kan du kort forklare hva selskapet jobber med i et avsnitt?
- e. Kan du kort forklare hva du spesifikt jobber med i selskapet?

2. Generelt om konseptet digitale tvillinger

- a. Hvordan vil du beskrive konseptet om digitale tvillinger?
- b. Har du tenkt noe på om konseptet om digitale tvillinger kan deles inn i ulike nivåer eller grupper?
 - i. Hvis ja. Kan du beskrive hvordan du ville delt det inn i ulike nivåer/grupper?
- c. Vil du si at det er viktig at en digital tvilling oppdateres i sanntid?
 - i. Hvis ja, hvorfor?
 - ii. Hvis nei, hvorfor?
- d. *De fleste definisjoner av digitale tvillinger, mener at det burde utveksles data mellom det virkelige objektet/rommet og den virtuelle representasjonen for å klassifiseres som en digital tvilling. For eksempel ved bruk av sensorer og IoT.* Vil du si at den digitale kopien som blir produsert ved hjelp av laser skanning, også kan defineres som en digital tvilling?
 - i. Hvis ja, hvorfor? Har du noen tanker om dette?
 - ii. Hvis nei, hvorfor?
- e. *Kan det være en løsning å kategorisere digitale tvillinger i 2 ulike grupper, for eksempel lukket og åpen digital tvilling. Hvor en åpen digital tvilling oppdateres i sanntid med sensorer, IoT o.l., mens i en lukket digital tvilling er det behov for manuelle oppdatering ved hjelp av for eksempel laser skanning.* Hva tenker du om denne grupperingen av digitale tvillinger?

- f. Hvordan omtaler du kopien som blir laget av laser skanneren, som dere benytter i programvaren deres?
 - i. For eksempel: digital kopi, digital tvilling, as-built kopi, punktsky, reality capture, eller noe annet?
 - ii. Har dere noen spesiell årsak for at dere omtaler kopien på denne måten?

3. Spørsmål om selskapet

- a. Kan du forklare prosessen fra det utføres laser skanning av en byggeplass, til man får en digital tvilling av byggeplassen i deres programvare?
- b. *Ofte er det behov for å kalibrere punktskyen (de rå skannedataene) i et spesifikt program før det er klart for deling med andre eller for import til designprogrammer, BIM eller i et prosjekts vanlige datamiljø.*

Er dette noe dere tilbyr? Hvis ja,

 - i. Hvordan behandler dere punktskyen (rå skannedata) som blir produsert ved hjelp av laser skanneren?
 - ii. Overføres punktskyen direkte til programvaren deres?
 - iii. Er det behov for å manuelt modellere over punktskyen for å få en fin overflate (polygon mesh) av byggeplassen? (scan to BIM)
 - 1. Kan dette gjøres i programvaren deres, eller må det bli gjort før man overfører filen til deres programvare?
 - 2. Krever dette noen spesiell form for kompetanse?
 - 3. Er dette en langsom prosess, som tar mye tid?
- c. Er det slik at programvaren deres sammenligner den digitale tvillingen (as-built) med en BIM modell (as-designed) for å indentifisere avvik?
 - i. Hvis nei, kan du forklare hvordan dere indentifiserer avvik mellom det som blir bygget og as-designed med deres programvare?
 - ii. Hva ja,
 - 1. Hvor enkelt/vanskelig er det å koble resultatene opp mot BIM modellen? Kan du si noe om dette?
 - 2. Skjer det automatisk?
 - 3. Krever dette noen spesiell form for kunnskap? (Tilbyr dere noen form for opplæring av programvaren for deres kunder?)

4. Vil du tro at dette vil bli lettere/mer automatisk med tiden?
Eventuell hvor lang tid før det en enklere/mer automatisk prosess?
- d. Normalt går priser på programvarer og tjenester ned over tid. Kan dette forventes å skje med deres programvare (og konkurrenters)?
- i. Hvis ja, hvor lang tid kan du tenke deg før prisene reduseres?
- e. *Mange av dagens byggefirmaer/entreprenører jeg har snakket har valgt å vente med å bruke denne teknologien pga pris. Dette kan fort endre seg hvis prisen går ned.*
- Hva forventer dere i forhold til økning i utbredelse av programvaren deres?
- f. *Mange av dagens byggefirmaer/entreprenører har valgt å bruke 360 bilder som metode for å spore fremgang og indentifisere avvik, da de syntes dette er en mer brukervennlig og økonomisk metode, som heller ikke krever noen spesiell form for kompetanse. Altså som alternativ for laser skanning.*
- Hva er fordelene dere har sammenlignet med 360 bilder?
- i. Hvorfor burde man bruke deres programvare istedenfor 360 bilder?
- g. Kan framdrift måles automatisk med deres systemer?
- i. Hvis ja, hvordan?
- ii. Hvis nei, vil du tro det blir mulighet for dette i fremtiden. I så fall, kan du si noe mer om dette?

4. Avslutning

- a. Mer generelt: Hva er de store (og de mindre) fordelene med bruk av deres systemer?
- b. Mer spesifikt: Hvordan kan bruk av deres løsning bidra til
- i. Raskere fremdrift
- ii. Lavere kostnader
- iii. Mindre feil og feiloppretting
- iv. Mindre ressursbruk
- c. Har dere oversikt over deres konkurrenter i dag og hva de tilbyr?
- i. Hvis du kjenner til andre selskaper som tilbyr noe lignende som dere gjør i dag, kan du nevne hvilke?
- d. Er det noe annet du tenker jeg burde få med meg om **selskapet** som ikke har blitt nevnt?

1. Introduction

- a. Do you want to be anonymous in this thesis and study?
 - i. If yes. Can I use your title as an ID?
 - ii. If no. What is your name?
 - iii. If no. What is your title?
- b. For how long have you worked at **this company**?
- c. For how long have you had the position you have now?
 - i. Did you have any prior position at **this company**?
 - ii. What kind of education do you have?
- d. Can you shortly describe what **this company** is working with?
- e. Can you shortly describe your specific work tasks at **this company**?

2. General questions about the digital twin concept

- a. Generally, how would you describe the digital twin concept?
- b. Have you reflected anything about if it is possible to split up the concept of digital twins into different levels or groups?
 - i. If yes, can you describe how these levels or groups look like?
- c. Would you say that it is important that a digital twin is updated in real-time?
 - i. If yes, why?
 - ii. If no, why?
- d. *Most definitions of digital twins believe that data should be exchanged between the real object/space and the virtual representation in order to be classified as a digital twin. For example, by using sensors and IoT.*

Would you say that the digital copy produced by the laser scanning also can be defined as a digital twin?

 - i. If yes, why?
 - ii. If no, why?
- e. *Could it be a solution to categorize digital twins into 2 different groups, for example closed and open digital twins. Where an open digital twin is updated in real time with sensors, IoT and such, while in a closed digital twin there is need for manual updates, by use of for example laser scanners.*

What do you think about this classification of digital twins?
- f. How do you describe the copy made by the laser scanner, which is used in your software?

- i. For example, digital copy, digital twin, as-built copy, point cloud, reality capture or something else?
- ii. Do you have any specific reason for referring to the copy in this way?

3. Questions about **this company**

- a. Can you explain the process from scanning a construction site, until you get a digital twin of it, which can be used in your software?
- b. *Very often there is a need to calibrate the point cloud (the raw scan data) in a specific program before it is ready for sharing with others or for importing into design programs, BIM or in a project's normal data environment.*

Is this something you offer? If yes,

- i. How do you process the point cloud (raw scan data) that is produced by the laser scanner?
- ii. Is the point cloud transferred directly to your software?
- iii. Is there a need to manually model over the point cloud to get a nice surface (polygon mesh) of the construction site? (scan to BIM)
 - 1. Can this be done in your software, or must it be done before transferring the file to your software?
 - 2. Does this require any special kind of competence?
 - 3. Is this a time-consuming process, which takes a lot of time?
- c. Is it correct that your software compares the digital twin (as-built) with a BIM model (as-designed) to identify errors on the construction site?
 - i. If no, can you explain how your software identifies errors between what is being built (as-built) and BIM model (as-designed)?
 - ii. If yes,
 - 1. How easy/difficult is it to connect the results to the BIM model? Can you say something about this?
 - 2. Does it happen automatically?
 - 3. Does this require any specific kind of knowledge? (If so, do you provide any training in using **this platform** for your customers?)
 - 4. Do you think this will become easier (more automatic) over the time? (Eventually how long will it take before this becomes an automatic process?)

- d. Normally, prices of software and services reduces over time. Can this be expected to happen to your software (and competitors) as well?
 - i. If yes, how long can you imagine before prices are reduced?
- e. *Many of today's construction companies/contractors I have talked with, have chosen to still wait before using this technology due to economic reasons. This can quickly change if the price goes down.*
 What do you expect in terms of increased the prevalence of your software?
- f. *Many of today's construction companies/contractors have chosen to use 360 photos as a method of tracking progress and identify errors (discrepancies), as they believe this is more user-friendly and economical method at the moment. In addition, they say it does not require any form of expertise/competence for using this. This is being used as an alternative to laser scanning.*
 What are the advantages you have compared to 360 photos?
 - i. Why should one use your software instead of 360 photos?
- g. Can progress be measured automatically with your software/systems?
 - i. If yes, how?
 - ii. If no, do you think this will be possible in the future? If so, can you say something about this?

4. Sum-up

- a. More generally: What are the major (and minor) benefits of using your software/systems?
- b. More specifically: How can the use of your solution contribute to
 - i. Faster propulsion
 - ii. Lower costs
 - iii. Less errors (discrepancies) and error correcting
 - iv. Less resource usage
- c. Do you have an overview of your competitors and what they offer?
 - i. If yes, can you name your competitors, and other companies that offer something like your services?
- d. Is there anything else you think I should know about your company, that has not been mentioned?

B.2 Tilhørende spørsmål for entreprenører

Oppklaring: Med programvare eller programmet, så referer jeg til enten Imerso, SR, Dalux eller BIMcollab

1. Introduksjon

- a. Ønsker du å være anonym i denne oppgaven og studiet?
 - i. Hvis ja. Kan jeg bruke din stillingstittel som ID?
- b. Hvor er din rolle i bedriften og prosjektet du jobber på nå?
- c. Hvor lenge har du hatt stillingen du har i dag?
 - i. Har du hatt andre stillinger i denne bedriften tidligere?
 - ii. Hvilken utdanning har du fullført?
- d. Kan du kort forklare hva dere bruker *programmet* til i dag, og hvordan det fungerer i praksis (rent teknisk)?
- e. Kan du kort forklare spesifikt hvordan du jobber med laser skanning og *programmet* i dag?
- f. I hvor stor grad tar dere i bruk laser skanning?
 - i. Alle prosjekter, noen spesifikke, annet?
- g. Har dere noen plan for hvordan dere skal gå fram for å ta i bruk laser skanning i et prosjekt, kan du si noe mer om det?
 - i. *For eksempel identifisere hva laser skanning skal brukes til, indentifisere hvilke deler av byggeplassen hvor det vil være mest nødvendig, hvilke laser skannere (nøyaktighet) som passer til dette prosjektet, hvor ofte det er ønskelig å ta skanning osv.*
- h. I hvilke prosjekter har du vært med på hvor dere har tatt i bruk denne teknologien?
- i. Hva er det mest omfattende prosjektet du har vært med på, som du har mest erfaring med fra laser skanning? (vi kommer tilbake til dette prosjektet i del 3 av intervjuet)

2. Generelt om konseptet digitale tvillinger

- a. Hvordan vil du beskrive konseptet om digitale tvillinger?
- b. Har du tenkt noe på om konseptet om digitale tvillinger kan deles inn i ulike nivåer eller grupper?
 - i. Hvis ja. Kan du beskrive hvordan du ville delt det inn i ulike nivåer/grupper?
- c. Vil du si at det er viktig at en digital tvilling oppdateres i sanntid?
 - i. Hvis ja, hvorfor?
 - ii. Hvis nei, hvorfor?
- d. *De fleste definisjoner av digitale tvillinger, mener at det burde utveksles data mellom det virkelige objektet/rommet og den virtuelle representasjonen for å klassifiseres som en digital tvilling. For eksempel ved bruk av sensorer og IoT. Vil du si at den digitale kopien som blir produsert ved hjelp av laser skanning, også kan defineres som en digital tvilling?*
 - i. Hvis ja, hvorfor? Har du noen tanker om dette?
 - ii. Hvis nei, hvorfor?
- e. *Kan det være en løsning å kategorisere digitale tvillinger i 2 ulike grupper, for eksempel lukket og åpen digital tvilling. Hvor en åpen digital tvilling oppdateres i sanntid med sensorer, IoT o.l., mens i en lukket digital tvilling er det behov for manuelle oppdatering ved hjelp av for eksempel laser skanning. Hva tenker du om denne grupperingen av digitale tvillinger?*
- f. Hvordan omtaler du den ferdige kopien som blir laget av laser skanneren, som dere benytter i *programvaren*?
 - i. For eksempel: digital kopi, digital tvilling, as-built kopi, punktsky, reality capture, eller noe annet?
 - ii. Har dere noen spesiell årsak for at dere omtaler kopien på denne måten?

3. Laser skanning i prosjekt

I denne delen ønsker jeg at du svarer på spørsmålene med hensyn på det prosjektet du har mest erfaring med laser skanning og programvaren som ble benyttet for dette.

- a. Kan du gi en kort beskrivelse av dette prosjektet?
- b. Hva jobbet du spesifikt med på dette prosjektet?
- c. *I resultatene fra spørreundersøkelsen kom det litt ulike svar angående tidsbruken av å skanne en byggeplass.*

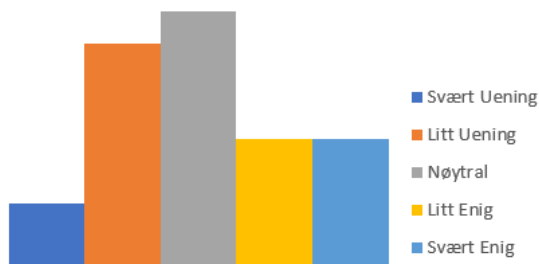
Kan du fortelle litt om selvet prosessen med laser skanningen på byggeplass?

- i. Hvor mange skanninger måtte dere utføre av byggeplassen, for å få en helhetlig representasjon av hele byggeplassen?
 - ii. Gjorde dere dette daglig, ukentlig?
 - iii. Var det en langsom prosess/hvor lang tid tok det?
 - iv. Er det noe dere skulle ønske var annerledes med denne prosessen?
- d. Hvordan samarbeidet dere med *Imerso/SR/Dalux/BIMcollab* i dette prosjektet?
- e. Ble den digitale as-built kopien sammenlignet med en as-designed BIM modell i *programmet* som ble brukt?
- i. Hvis nei, kan du forklare hvordan *programmet* ble brukt til å indentifisere avvik mellom det som ble bygget og as-designed modellen?
 - ii. Hvis ja,
 1. Hvor enkelt/vanskelig var det å koble resultatene opp mot BIM modellen? Kan du si noe mer om dette?
 2. Skjer det automatisk?
 3. Krever det noen spesiell form for kunnskap for å koble den opp mot BIM?
 4. Hvor fort blir den tilgjengelig på pc etter skanning? Og blir det tilgjengelig for alle som ønsker det?
 5. Var det enkelt å indentifisere hvor avvikene forekom, når resultatene først ble koblet opp mot BIM? Skjer det automatisk?
 6. *I resultatene fra spørreundersøkelsen kom det fram at 90 prosent av totalen var litt eller svært enig i at 3D skanning oppdaget flere feil som hadde vært vanskelig å oppdage uten denne teknologien.* Oppdaget dere noen avvik som var kritiske for prosjektet? Kan du fortelle noe mer om det?

- f. Hva var utfordringene dere møtte på ved å ta i bruk laser skanning på dette prosjektet og ved *programvaren* som ble brukt?
- g. Hvordan førte denne teknologien til (i dette spesifikke prosjektet)
 - 1. Raskere fremdrift
 - 2. Lavere kostander
 - 3. Mindre feil og feiloppretting
 - 4. Mindre ressursbruk
 - 5. Andre positive resultater?
- h. Har du noen antakelser på hvor mye dere muligens sparte/tapte ved å ta i bruk denne teknologien i dette prosjektet?
- i. Noe annet du vil legge til angående bruken av laser skanning og *programvaren* på dette prosjektet?

4. Avslutning

- a. Mer generelt: Hva ser du på som de store (og de mindre) fordelene med bruk av laser skanning i produksjonsfasen?
- b. Sett bort fra pris på laser skannere og *programvare*.
 - i. Hva savner du av funksjoner i *programvaren*?
 - ii. Hva tenker du kunne vært bedre med *programvaren*?
 - iii. Hva skal til for at denne teknologien blir tatt i bruk i større grad i produksjonsfasen (hvorfor har ikke alle/flere innført dette)?
- c. Tenker du at det er noen spesifikke prosjekter denne teknologien passer til, og at den er mindre nødvendig i andre prosjekter?
- d. *I resultatene fra spørreundersøkelsen er det en del variasjon i svarene når det kommer til følgende utsagn: «Det finnes alternative metoder for å spore fremgang (kvalitetskontroll/sikring) enn laser skanning, som er like effektiv, men mer økonomisk»*



Flere nevner 360 foto som et bedre alternativ, da det koster mye mindre.

- i. Hvis dere har valgt å satse på laser skanning istedenfor å bruke 360 foto. Hva er årsakene for at dere har valgt å satse mer på laser skanning?
- e. Noe annet du tenker jeg burde få med meg om laser skanning og *programvaren* som ikke har blitt nevnt?

Prosjektbeskrivelser

Her blir det gitt korte beskrivelser av noen av de prosjektene intervjuobjektene har akkumulert erfaring om laserskanning og de ulike programvarene. Intervjustudiet og undersøkelsen baserer seg på erfaringer intervjuobjekter hovedsaklig har hentet fra disse prosjektene. Fakta om prosjektene er hentet fra bygg.no, entreprenørens nettside eller fått direkte fra intervjuobjektene.

C.1 Nye SUS

Nye Stavanger universitets sykehus

Byggeherre: Helse Stavanger HF

Kostnadsramme: ca. 11,3 milliarder kroner

Areal: 120 000 kvadrat meter

Byggestart: Vår 2019

Innflytting: 2024

Programvare for kvalitetskontroll: Imerso

Sykehusbygget er planlagt å deles inn i flere byggetrinn, og det første byggetrinnet er forventet å stå klart i 2024. Det er planlagt til å bli 120 000 kvadratmeter, og er dermed det største byggeprosjektet som foregår på landsbasis. Sykehus prosjektet har hatt et stort fokus på teknologi og digitalisering, for å klare å gjennomføre det på en effektiv måte. I november 2020 ble det kåret til verdens beste digitale byggeprosjekt av IT-giganten Autodesk (Helse Stavanger, 2020a). Prosjektet har fått mye oppmerksomhet for satsningen og bruken av digital teknologi. Laserskanning har vært et av disse teknologiene. Bruken av denne teknologien har vist seg å skape god verdi for dette byggeprosjektet.

Med software fra Imerso gjennomføres det jevnlig laserskanning av det nye bygget for å dokumentere at vi bygger slik vi har planlagt. Dette fører til at avvik raskt blir dokumentert og korrigert, og det gir gevinster for fremdriften. (Helse Stavanger, 2020b)

C.2 Spor X

Byggeherre: Vestaksen Eiendom

Entreprenør: Betonmast Buskerud-Vestfold

Kostnadsramme: ca. 200 MNOK

Areal: 6801 kvadrat meter

Byggestart: August 2020

Innflytting: Desember 2021

Programvare for kvalitetskontroll: Scaled Robotics

Månedskostnad for programvare: 14 500,- pr md

Laserskanner: Leica BLK360

Pris laserskanner: 230 000,- inkl programvare lisens

Spor X i drammen skal bli til et kontorbygg på 6800 kvadratmeter med 10 etasjer, som skal gi arbeidsplass til 250 mennesker. Det er ventet å stå klart i 2021 som Norges tredje høyeste trebygg og et av Nordens mest bærekraftige bygg (Strand, 2021). Dette prosjektet var hovedintensjonen med innkjøpet av laserskanner for Betonmast Buskerud-Vestfold. Laserskanning blir brukt til å kvalitetssikre råbyggkonstruksjon forgående under montasje, for å deretter kvalitetssikre resterende installasjoner som tekniske fag leverer og lette konstruksjoner som skillevegger osv. Akkumulert data som blir samlet brukes også som dokumentasjon for innbygde bygningsdeler.

C.3 Harbitz Torg

Byggeherre: Harbitz Torg AS

Entreprenør: Veidekke Entreprenør

Kontraktssum eks. mva.: 960 MNOK

Areal: 48 000 kvadratmeter

Byggestart: Vår 2018

Innflytting: Høsten 2019

Programvare for kvalitetskontroll: Cylone v9.3

Laserskanner: BLK360

Pris laserskanner: ca. 160 000,- (2017 pris)

Haribritz Torg er et 10 etasjer kontorbygg på Skøyen i Oslo på 48 000 kvadratmeter som sto klart høsten 2019. Utbyggingen ble gjennomført parallelt mellom Veidekke som har stått for kontor- og næringslokaler, og WK Entreprenør som har stått for å

bygge boliger og parkeringskjelleren på tomten (Strand, 2020b). Da veidekke tok over råbygget for å jobbe med innredningen var de avhengig av at alt var bygget riktig med utsparinger og lignende. Anders fra Veidekke brukte dermed ca. 3 dager på å skanne alt sammen for å gjøre en kontroll mot BIM modellen for å avdekke eventuelle avvik. Dette ble gjort i programvaren Cyclone, med et tidsforbruk på ca. 60 timer.

C.4 Campus ÅS

Byggeherre: Statsbygg

Entreprenør: HENT

Kontraktssum: 650 MNOK

Areal: 63 000 kvadrat meter (fellesbygget: 1956 kvadratmeter)

Byggestart: 2019 (fellesbygget)

Innflytting: 2020

Programvare for kvalitetskontroll: Imerso

Campus ÅS er et prosjekt det var initiert av byggherre for å bruke laserskanning. Imerso har blitt brukt på Veterinærbygget, hvor prosjektdirektør for Campus Ås i 2017 anslo at de kan forvente å spare 100 millioner med denne løsningen (Seehusen, 2017). Eksempler på feil det har funnet er flere, blant annet ventilasjonsjakter som er ute av av posisjon, feilplasserte dører eller for store åpninger, feil støpt betong og mer.

C.5 Andre prosjekter

Bispevika

Prosjektet på Bispevika består av 2 individuelle prosjekter, Dronninglunden og Vannkunsten. Scaled Robotics ble brukt på et av byggene for kvalitetssikring av råbygg.

Byggeherre: Oslo S utvikling AS

Entreprenør: AF Gruppen

Kontraktssum: 1109 MNOK

Areal: 48 000 kvadrat meter

Byggestart: Juni 2017

Innflytting: Juli 2020

Programvare for kvalitetskontroll: Scaled Robotics

Scandic Helsefyr hotel

Scandic hotell i Helsefyr er Norges største Scandic hotell og ble oppgradert og utvidet i 2020 av AF gruppen. Det var et rehabiliteringsprosjekt som omfattet rehabilitering av bygget og utvidelse av hotellet. Scaled Robotics ble benyttet til kvalitetssikring av råbygg.

Byggeherre: Eiendomsspar

Entreprenør: AF Gruppen

Kontraktssum: 234 MNOK

Areal: 18 000 kvadrat meter

Byggstart: Februar 2019

Innflytting: Oktober 2020

Programvare for kvalitetssikring: Scaled Robotics

Kvernestua i Nittedal

Prosjektet Kvernestua i Nittedal består av 7 leilighetsbygg som skal gi plass til totalt 196 leiligheter. Prosjektet inneholder også et underjordisk garasjeanlegg. Scaled Robotics blir benyttet til kvalitetssikring av råbygg.

Byggeherre: Øie eiendomsutvikling

Entreprenør: AF Gruppen

Kontraktssum: 474 MNOK

Byggstart: Juni 2019

Innflytting: November 2021

Programvare for kvalitetssikring: Scaled Robotics

Sommerrogata 1

Sommerrogata 1 er et renoveringsprosjekt. Imerso ble benyttet for å pilotere kontroll av utførelse mot prosjektert underlag.

Byggeherre: Sommerrogaten utvikling AS

Entreprenør: HENT

Kontraktssum: 1,250 MNOK

Areal: 37 000 kvadratmeter

Byggstart: 2019

Innflytting: Vår 2022

Programvare for kvalitetssikring: Imerso

Dronning Ingrids Hage

Dronning Ingrids Hage skal bli til en hageby bestående av både bygg og uteområder.

Byggeherre: Omsorgsbygg Oslo KF

Entreprenør: HENT

Kostnadsramme: 450 MNOK

Areal: 16 000 kvadratmeter

Byggestart: 2018

Innflytting: 2021

Programvare for kvalitetskontroll: Imerso

Lindelia Bo- og behandlingssenter

Lindelia BBS er et nybygg bestående av 3 etasjer med parkeringskjeller.

Byggeherre: Bærum kommune Eiendom

Entreprenør: Backe Stor-Oslo

Kontraktssum eks. mva.: 353 MNOK

Areal: 13 400 kvadratmeter

Byggestart: 2018

Innflytting: 2020

Programvare for kvalitetskontroll: Imerso