

**Institutt for Bygg- og energiteknikk - Bygg**  
Postadresse: Postboks 4 St. Olavs plass, 0130 Oslo  
Besøksadresse: Pilestredet 35, Oslo

## BACHELOROPPGAVE

Hva kjennetegner prosjekter som har nytte av 3D-Laserskanning?	DATO 25. mai 2022
	ANTALL SIDER / ANTALL VEDLEGG 87 / 4
FORFATTERE Benjamin Craig, Emil Hæreid Steen, Morten Roska	VEILEDER Kamalan Rashasingham

UTFØRT I SAMARBEID MED Betonmast Asker og Bærum	KONTAKTPERSON Sander Felberg
--	---------------------------------

<p><b>SAMMENDRAG</b></p> <p>Rapporten, «Hva kjennetegner prosjekter som har nytte av 3D-Laserskanning?» tar for seg 3D-laserskanning og dens bruk som en kvalitetssikringsmetode. Rapporten setter søkelys på hvilke typer prosjekter som tar fordel av å bruke 3D-skanning fremfor tradisjonelle målemetoder, med både et økonomisk og helhetlig perspektiv.</p> <p>Vi har benyttet kvalitativ og kvantitativ metode for å svare på problemstillingen. Ved gjennomføring av dybdeintervjuer og en spørreundersøkelse, har vi fått identifisert hvilke påvirkninger 3D-laserskanning har på et prosjekt, og hva det betyr for totalentreprenører å ta i bruk 3D-laserskanning.</p> <p>Måleverktøyet medfører store økonomiske investeringer, samtidig viser resultatene at verktøyet gir en målbar tids- og kostnadsbesparelse på byggeprosjekter. På prosjekter med en viss størrelse og kompleksitet så vil kostnadsbesparelsen overgå investeringskostnadene. Kontraktsum og BRA-areal har sterk sammenheng med kostnadsbesparelsen. Terskelen der besparelsen overgår faste kostnader blir identifisert og usikkerheten blir estimert.</p> <p>Resultatene viser i tillegg at 3D-laserskanning medfører ikke-målbare effekter på prosjekter. Effekter som konkurransefortrinn, økt kvalitet og en belærende effekt. Totalentreprenøren vil få trygghet på at bygget deres er tilfredsstillende, som bidrar til en mindre stressende hverdag.</p>
---

3 STIKKORD 3D-Laserskanning
Punktsky
Økonomi

## Forord

Denne rapporten er et avsluttende prosjekt for bachelorprogrammet ved Institutt for bygg- og energiteknikk, Fakultetet for teknologi, kunst og design ved OsloMet Storbyuniversitetet våren 2022. Rapporten er skrevet i samarbeid med Betonmast Asker og Bærum AS.

Oppgaven ble valgt som en utfordring fra Betonmast til å vurdere 3D-Laserskannerens eventuelle fordeler, særlig det økonomiske aspektet. 3D-skanning er en fin teknologi som kan være nyttig, men de ønsket mer innsikt i hvordan det påvirker et prosjekt.

Målgruppen for denne rapporten er hovedsakelig entreprenører som vurderer å investere i 3D-laserskanning. Oppgaven kan også være interessant for personer som er interessert i digitaliseringen av byggebransjen, og studenter for inspirasjon om fremtiden av bransjen.

Vi ønsker å takke vår eksterne veileder Sander Felberg, for samarbeid, tilbakemelding, oppfølging og muligheten til å dra på befaring og bruke en 3D-laserskanner.

Vi ønsker å også takke vår interne veileder Kamalan Rashasingham, for hjelp og tilbakemelding for oppgaveskriving og den vitenskapelige metoden.

Avslutningsvis vil vi takke alle de som deltok i dybdeintervjuer og spørreundersøkelsen som ga oss grunnlag for resultatene som vi fikk.

Oslo, 2022



Benjamin Craig



Emil Hæreid Steen



Morten Roska

## Sammendrag

Rapporten «Hva kjennetegner prosjekter som har nytte av 3D-Laserskanning», tar for seg hvilke effekter kvalitetssikring med 3D-laserskanning gir byggeprosjekter. Slutningene identifiserer hvilke prosjekter som tar fordel av 3D-laserskanning fremfor manuelle målemetoder, igjennom et økonomisk og helhetlig perspektiv. Rapporten skaper et grunnlag for vurdering om totalentreprenører skal avvente eller anvende 3D-laserskanning teknologi.

Det er viktig for totalentreprenører å videreutvikle konkurransedyktigheten ved å se muligheter i ny teknologi. 3D-laserskanning gjør kvalitetssikring med et omfang og nøyaktighet på en skala aldri sett før i entreprenørbransjen. Kvalitetssikring i dette omfanget med denne nøyaktigheten kommer med en stor kostnad, det er stor usikkerhet om fordelene kan redegjøre for investeringskostnaden.

Formålet var å kartlegge prosjektene der fordelene overgår ulempene fra 3D-laserskanning. Problemstilling til rapporten ble derved: «*Hva kjennetegner byggeprosjekter hvor 3D-laserskanning er fordelaktig over manuell måling til kvalitetssikring?*». Rapporten begrenses til spesifikke prosjekttypen med totalentreprisekontraksform.

Rapporten benytter blandet kvalitativ og kvantitativ metode, igjennom datasamling fra intervjuer og en spørreundersøkelse. Kvalitative intervjuer ga data som viser forståelse og sammenhenger. Kvantitativ spørreundersøkelse ga målbar tallfestet data, som er felles representativt til en liten grad. Metodens resultater kan derfor konkludere med forståelse av sammenhenger og tallfestede slutninger.

Slutningene viser at prosjekter mottar en rekke fordeler som følge 3D-laserskanning. Prosjekter bygges raskere, billigere og med en høyere kvalitet, samtidig som verktøyet betrygger entreprenøren på at kvaliteten er tilfredsstillende. Analysen avslører at større mengder kontraktsum og BRA-areal medfører større kostnadsbesparelse. Terskelen der kostnadsbesparelsen overgår investeringskostnaden blir identifisert og usikkerheten blir estimert. Rapporten gir totalentreprenører grunnlag for en kontrollert beslutning om teknologien skal anvendes eller avventes. Ved å bedre beslutningsgrunnlaget kan rapporten medføre en bredere implementering av teknologien.

## Abstract

The report "What characterizes projects that benefit from 3D laser scanning", addresses the effects quality assurance with 3D laser scanning has on construction projects. The conclusions identify which projects benefit from 3D laser scanning rather than manual measurement methods, through an economic and comprehensive perspective. The report creates a basis for assessing whether turnkey contractors should postpone or utilize 3D laser scanning technology.

It is important for contractors to further develop their competitiveness by seeking opportunities in new technology. 3D laser scanning enables quality assurance with a scope and accuracy on a scale never seen before in the construction industry. Quality assurance to this extent with this accuracy comes with a large cost, there is great uncertainty as to whether the benefits can account for the costs of investment.

The purpose of the report was to map the projects whose advantages outweigh the disadvantages of 3D laser scanning. The proposed problem was thus: "What characterizes construction projects where 3D laser scanning is advantageous over manual measurement for quality assurance?". The report is limited to specific project types with a turnkey contract form.

The report uses a combination of qualitative and quantitative methods, through data collection from interviews and a survey. The qualitative interviews provided data that shows understanding and connections. The quantitative survey provided measurable quantified data, which is commonly representative on a small scale. The results of this method can therefore conclude with an understanding of connections and numerical conclusions.

The conclusions show that projects receive several benefits because of 3D laser scanning. Projects are built faster, cheaper and with higher quality, in the meantime the scanning-instrument assures the contractor that the quality is satisfactory. The analysis reveals that larger contract sums and net usable area result in greater cost savings. The threshold where the cost savings exceed the investment cost is identified and the uncertainty is estimated. The report provides turnkey contractors with a basis for a controlled decision for whether the technology should be utilized or postponed. By improving the basis for decision, the report can lead to a broader implementation of the technology.

# Innholdsfortegnelse

<b>FORORD</b> .....	<b>II</b>
<b>SAMMENDRAG</b> .....	<b>III</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>IV</b>
<b>INNHALDSFORTEGNELSE</b> .....	<b>V</b>
<b>LISTER</b> .....	<b>VIII</b>
FIGURLISTE.....	VIII
BILDELISTE .....	IX
TABELLISTE.....	IX
<b>1. INNLEDNING</b> .....	<b>1</b>
1.1 BAKGRUNN.....	1
1.1.1 <i>Litteraturstudie</i> .....	1
1.2 FORMÅL .....	3
1.3 PROBLEMSTILLINGEN.....	3
1.3.1 <i>Delspørsmål</i> .....	3
1.4 HYPOTESE .....	4
1.5 AVGRENSNINGER.....	4
1.6 FORUTSETNINGER.....	5
<b>2. TEORI</b> .....	<b>7</b>
2.1 BYGGEPROSESS .....	7
2.1.1 <i>Aktører og roller i byggeprosjekter</i> .....	7
2.1.2 <i>Rollen som utførende entreprenør</i> .....	9
2.1.3 <i>Rollen som totalentreprenør</i> .....	9
2.2 PRODUKSJON.....	10
2.2.1 <i>Fremdrift og ansvarsforhold</i> .....	10
2.2.2 <i>Utførelse og ansvarsforhold</i> .....	11
2.2.3 <i>Avvikshåndtering</i> .....	12
2.2.4 <i>Avvikshåndteringsverktøy</i> .....	14
2.3 BIM.....	14
2.3.1 <i>BuildingSMART</i> .....	15
2.3.2 <i>OpenBIM</i> .....	15
2.3.3 <i>As-built Dokumentasjon</i> .....	15
2.4 3D-LASERSKANNER OG PUNKTSKY .....	16
2.4.1 <i>3D-laserskanners oppløsning og nøyaktighet</i> .....	17
2.4.2 <i>3D-laserkanner i praksis</i> .....	18

2.4.3	Imerso .....	20
2.5	FLYT OG RESSURSEFFEKTIVITET .....	25
2.5.1	Administrative ressurser og kostnader .....	26
<b>3.</b>	<b>METODE</b> .....	<b>28</b>
3.1	KVALITATIV METODE .....	28
3.2	KVANTITATIV METODE .....	29
3.3	KVANTITATIVE OG KVALITATIVE KARAKTERTREKK .....	30
3.4	BLANDET METODE .....	30
3.5	METODEVALG .....	30
3.5.1	Prosedyre for gjennomføring .....	32
3.5.2	Informanter .....	32
3.5.3	Respondenter .....	33
3.5.4	Datasamling .....	34
3.5.5	Databehandling .....	35
3.6	METODEKRITIKK .....	36
3.6.1	Validitet .....	36
3.6.2	Reliabilitet .....	39
3.6.3	Objektivitet .....	40
3.6.4	Generaliserbarhet .....	41
<b>4.</b>	<b>RESULTATER</b> .....	<b>43</b>
4.1	GENERELLE FORSKJELLER MELLOM MÅLEMETODENE .....	43
4.1.2	Brukervennlighet .....	43
4.1.3	Bruktid og nøyaktighet ved begge målemetoder .....	44
4.2	KVALITETSSIKRING FOR TOTALENTREPRENØR MED 3D-LASERSKANNER .....	44
4.2.1	Viktigste områder å kvalitetssikre med 3D-laserskanning .....	44
4.2.2	Ansvarsforhold til kvalitetssikring for totalentreprenør .....	45
4.2.3	Tillit til kvalitetssikring med 3D skannerskanner .....	45
4.3	FREMDRIFT OG FLYTEFFEKTIVITET .....	46
4.3.1	Flyteffektivitet .....	46
4.3.2	Fremdriftsbesparelse som følge laserskanning .....	47
4.4	RESSURSEFFEKTIVITET .....	49
4.4.1	Ressurseffektivitet under kvalitetssikring .....	49
4.4.2	Besparelse av administrativ tid .....	50
4.5	KOSTNADSBESPARELSE .....	51
4.5.1	Grunnlaget for kostnadsbesparelse .....	51
4.5.2	Kostnadsbesparelsen som følge 3D-Laserskanner .....	52
4.6	PROSJEKTER SOM HAR BRUK FOR 3D-LASERSKANNING .....	53

4.6.1	Prosjektfaktorer som øker fordeler ved laserskanning .....	53
4.6.2	Prosjekter som har størst fordeler ved 3D-laserskanning.....	54
4.7	LASERSKANNINGS HELHETLIGE EFFEKTER PÅ PROSJEKTER .....	57
4.7.1	As-built og trygghet .....	57
4.7.2	Belærende effekt.....	58
4.7.3	Konkurransefortrinn .....	58
4.7.4	Fordelene oppveier for ulempene .....	58
<b>5.</b>	<b>ANALYSE .....</b>	<b>60</b>
5.1	FORDELER MED 3D-LASERSKANNING .....	60
5.1.1	Laserskanning kontrollerer et stort omfang .....	60
5.1.2	Kostnadsbesparelse .....	61
5.1.3	Flyteeffektivitet bedres av 3D-laserskanning .....	62
5.1.4	Ressurseeffektiviteten bedres av 3D-Laserskanning.....	64
5.1.5	Økt kvalitet som følge 3D-skanning.....	65
5.1.6	Trygghet og as-built dokumentasjon.....	66
5.2	PROSJEKTFAKTORER SOM GIR FORDELER VED 3D-LASERSKANNING .....	66
5.2.1	Størrelsen på prosjekter som tar fordel av 3D-laserskanning.....	67
5.2.2	Slutningsstatistikk av regresjonsanalysen .....	72
5.3	FREMTIDEN FOR 3D-LASERSKANNING .....	77
5.3.1	Belærende effekt.....	78
5.3.2	Skann kompetanse vil øke .....	78
5.3.3	Effektivisering av bruksmodell.....	79
5.3.4	Endring av lisens og innkjøpskostnad .....	80
<b>6.</b>	<b>KONKLUSJON .....</b>	<b>81</b>
<b>7.</b>	<b>VIDERE FORSKNING.....</b>	<b>83</b>
	<b>KILDELISTE.....</b>	<b>84</b>
	<b>VEDLEGG .....</b>	<b>87</b>

## Lister

### Figurliste

Figur 2.1 Byggeprosessens delprosesser fra Teoretisk analyse av byggeprosesser (Eikeland, 2001, s. 25) .....	7
Figur 2.2 Aktører kan ha flere roller (Eikeland, 2001, s. 51) .....	9
Figur 2.3 Skjematisk fremstilling av avvikshåndtering (Byggforskserien, 2020).....	13
Figur 2.4 Laserprodukt (Leica Geosystems, 2021, s. 11).....	17
Figur 2.5 Skannvarighet mot oppløsning (Leica Geosystems, 2021, s. 36).....	18
Figur 2.6 Skanner nøyaktighet (Leica Geosystems, 2021, s. 36).....	18
Figur 2.7 Nøyaktighet på forskjellige radius. Skjerm bilde fra AutoCAD. ....	19
Figur 2.8 Blindsoner under skanning. Skjerm bilde fra AutoCAD. ....	20
Figur 2.9 Sammenhengen mellom flyt og ressurseffektivitet.....	26
Figur 3.1 Prosedyre for gjennomføring. ....	32
Figur 3.2 Forvridningsmatrise .....	38
Figur 4.1 Korrelasjon (Frøslie, 2022). ....	55
Figur 4.2 Fordel/Ulempe bruk av 3D-skanning. ....	59
Figur 5.1 Normalfordelingen for kostnadsbesparelse. (Geogebra, 2022). ....	62
Figur 5.2 Normalfordelingen for fremdrift besparelse. (Geogebra, 2022). ....	64
Figur 5.3 Normalfordelingen for administrativ tid. (Geogebra, 2022).....	65
Figur 5.4 Regresjonsformel for kostnadsbesparelse.....	69
Figur 5.5 Kostnadsbesparelse mot kontraktsum .....	70
Figur 5.6 Kostnadsbesparelse mot BRA.....	70
Figur 5.7 Terskel for kostnadsbesparelse med faste utgifter. ....	71
Figur 5.8 Terskel for størrelsesorden areal kostnadsbesparelse. ....	72
Figur 5.9 Dataanalyse for regresjon-kontraktsum. ....	73
Figur 5.10 Øvre og nedregrense kontraktsum. ....	75
Figur 5.11 Dataanalyse for regresjon-BRA-areal.....	75
Figur 5.12 Øvre og nedregrense BRA-areal.....	77



## Bildeliste

Bilde 2.1 Nærbilde av punktsky med fargekoder. Skjerm bilde tatt på Iverso.....	17
Bilde 2.2 Blindsone i punktskyen. Skjerm bilde tatt i Iverso. ....	20
Bilde 2.3 Kollisjon med elektrisk kabelbro og planlagte ventilasjonskanaler. Tatt i Iverso....	22
Bilde 2.4 Skjerm bilde tatt i Iverso. Toleranse stilles inn og markeres med rødt.....	22
Bilde 2.5 Kamerabilde tatt fra samme posisjon. ....	23
Bilde 2.6 Bygget areal i virkeligheten. ....	23
Bilde 2.7 BIM 3D-modell fra samme område. Tatt i Iverso. ....	24
Bilde 2.8 3D-skanning/punktsky fra samme område. Tatt i Iverso. ....	24
Bilde 2.9 Punktsky sammenlignet med 3D-modellen i samme område. Rødt viser avvik. Tatt i Iverso.....	25

## Tabelliste

Tabell 0.1 Definisjonsliste.....	x
Tabell 0.2 Forkortelser .....	xi
Tabell 3.1 Kjennetegn til kvantitativ og kvalitativ metode (Dalland, 2017, s. 53). ....	30
Tabell 3.2 Informanter .....	33
Tabell 3.3 Spørreundersøkelse respondenter.....	33
Tabell 4.1 Fremdrifts besparelse dager per måned. Skjerm bilde fra Excel. ....	48
Tabell 4.2 Besparelse av administrativ tid dager per måned. Skjerm bilde fra Excel.....	50
Tabell 4.3 Kostnadsbesparelse kroner per måned. Skjerm bilde fra Excel.....	52
Tabell 4.4 Korrelasjonsgrad (Johannessen et al., 2016, s. 306). ....	55
Tabell 4.5 Størrelsesordener fra spørreundersøkelse. Skjerm bilde fra Excel.....	56
Tabell 4.6 Matrise av alle korrelasjoner. Skjerm bilde fra Excel. ....	56
Tabell 4.7 Korrelasjoner sortert etter materialer og bygningstyper. Tatt fra Excel.....	57
Tabell 5.1 Dataanalyse for regresjon-kontraktsum.....	73
Tabell 5.2 Dataanalyse av regresjons- kontraktsum og kostnadsbesparelse. ....	74
Tabell 5.3 Dataanalyse for regresjon-BRA-areal. ....	75
Tabell 5.4 Dataanalyse av regresjon- BRA-areal og kostnadsbesparelse. ....	76

Tabell 0.1 Definisjonsliste

Begrep	Definisjon
As-built dokumentasjon	Som bygget. Tegninger eller punktsky av et ferdigbygget byggverk, hvor man kan sammenlikne prosjektert og utført bygg (Som bygget-dokumentasjon, 2017).
Avvik	«Et avvik er manglende samsvar mellom definerte krav og utførte arbeid eller et produkt» (Byggesaksforskriften (SAK10), 2010, §1-2k).
Byggherre	«Den som skal ha utført bygg- eller anleggsarbeid i henhold til kontrakt med hovedentreprenøren» (Standard Norge, 2008b, s. 4).
Flyteeffektivitet	«Flyteeffektivitet fokuserer på hvor lang tid organisasjonen bruker på å behandle en enhet» (Hoxmark, 2014).
Hoved entreprenør	«Kontraktspart som har overlatt til underentreprenøren å oppfylle en del av de forpliktelser som hans kontrakt med byggherren omfatter» (Standard Norge, 2008b, s. 5).
Kontraktssum	«Det opprinnelig avtalte vederlaget for entreprenørens oppfyllelse av sine kontraktsforpliktelser, inkludert merverdiavgift. Til kontraktssummen hører også det opprinnelig avtalte anslaget over vederlag for ytelser som skal avregnes etter enhetspriser eller etter regning» (Standard Norge, 2008b, s. 5).
Kvalitetssikring	«Planlagte og systematiske aktiviteter som gjøres for å oppnå at et produkt eller en tjeneste vil oppfylle kravene til kvalitet» (Halbo, 2020).
LIDAR	Lidar er en fjernmålingsteknikk som baserer seg på tilbakespredning av lys. Lidar bruker altså lys på tilsvarende måte som radar bruker radiobølger. Begrepet lidar brukes også om selve måleinstrumentet (Holtet, 2022).

Line of sight	En rett linje mellom observatør og et punkt (Line of sight, 2022).
Produksjon	«produksjon er en prosess som omdanner en eller flere varer til en helt forskjellig vare» (Johnsen, 1977, s. 13).
Punktsky	«Et produkt av laserskann. En mengde punkter med koordinater» (Alfsen et al., 2020).
Ressurseffektivitet	«Ressurseffektivitet er den dominerende måten å tenke effektivitet på i næringslivet, og handler om å utnytte <i>ressursene</i> så effektivt som mulig» (Hoxmark, 2014).
Total entreprenør	«En kontraktspart som har påtatt seg ansvaret for prosjekteringsarbeid og utførelse av kontraktsarbeidet» (Standard Norge, 2011, s. 10).
Under entreprenør	«Kontraktspart som har påtatt seg utførelsen av en del av de forpliktelser som omfattes av hovedentreprenørens kontrakt med byggherren» (Standard Norge, 2008b, s. 5).
Utførelse	«Aktiviteten å oppføre et byggverk»  «Termen dekker arbeid på byggeplassen. Den kan også angi fremstilling av komponenter utenfor byggeplassen og etterfølgende montering på byggeplassen. I utførelsen ligger også dokumentasjon av arbeidet» (Standard Norge, 2005, s. 5).

Tabell 0.2 Forkortelser

Forkortelser	Betydning
AR	Augmented reality
BIM	Bygningsinformasjonsmodellering
BRA	Bruksareal
IFC	Information Foundation Classes
KS	Kvalitetssikring

LIDAR	Light Imaging Detection and Ranging
NS	Norsk Standard
TE	Totalentreprenør
UE	Underentreprenør

# 1. Innledning

## 1.1 Bakgrunn

Totalentreprenører kontraktfester seg til å levere et ferdig byggeprosjekt etter beskrivelser fra byggherren til et gitt tidspunkt. De påtar seg ansvaret for prosjektering og utførelsen av bygget på bakgrunn av det prosjekterte underlaget. Samtidig står entreprisen ansvarlig for å følge lover, forskrifter og offentlige vedtak. Gjennom en byggeprosess er det alltid en mulighet for at det skjer feil i det prosjekterte underlaget eller utførelsen av bygget. Slike feil blir omtalt for avvik og det er totalentreprenøren sin jobb å rydde opp i det.

Totalentrepriser gjør kvalitetssikring med formål å avdekke mulige avvik. Tradisjonelt har manuell måling og innleid landmåler vært eneste tilgjengelige metode for å kontrollere at utførelsen av bygget er innenfor toleransekravet. I senere tid har det kommet en ny metode for å kontrollere og avdekke avvik, som bruker 3D-laserskanner basert på lidar-teknologi. 3D-laserskanner har vist seg til å være svært effektivt verktøy til å identifisere hvor utførelsen avviker fra det prosjekterte underlaget. Denne nye målemetoden har åpenbart et potensiale, men investeringskostnader er så høye at det er stor usikkerhet på om det er mulig å redegjøre for investeringen.

Byggebransjen er i kontinuerlig utvikling, og det kommer stadig nye måter å løse et problem. Et fåtall av Betonmast sine selskaper har implementert 3D-laserskann teknologi. De ser potensialet i teknologien og vurderer en større anvendelse over flere selskaper.

Implementeringen krever en opplæringsprosess i tillegg til store investeringskostnader. Kanskje laserskanning er en ny måte å løse et problem, men totalentreprenøren vil ikke bruke tid og ressurser på teknologien hvis ikke den har kommet for å bli.

### 1.1.1 Litteraturstudie

Tidligere oppgaver og rapporter har blitt lest gjennom en litteraturstudie for å gi en oversikt over tidligere oppdagelser og muligheter relatert til fagområdet.

Forfatter	Tittel	Type studie/ metode	Resultater, konklusjon
Faryad Daven, Mohammed Hamza Amar og Shahin Ezati	Implementering av BIM i produksjonsfasen – kvalitetssikring ved hjelp av punkttskyanalyse	Bacheloroppgave, 2020  Kvalitativ og Kvantitativ metode-  Ekspedisjon og casestudie	3D-laserskanning er et godt verktøy for kommunikasjon, dokumentasjon og kvalitetssikring. Er en dyr løsning, egnet for store prosjekter av høy kompleksitet.
Stine Valø Sundbeck, Henrik Viken, Lars Martin Sunde og Øystein Reitan	Implementering av 3D- laser skanning i produksjonsfasen	Bacheloroppgave, 2021  Kvalitative intervjuer og kvantitativ spørreundersøkelse	3D-laserskanning finner reelle avvik og øker kvalitetssikring. Skanning er hensiktsmessig i produksjonsfasen, spesielt for prosjekter med høy kompleksitet og store krav.
Jevarunen Nagalingam	Bruk av 3D laser skanning teknologi i byggeprosjekter for kvalitetssikring i produksjonsfasen	Masteroppgave, 2021  Spørreundersøkelse og kvalitative intervjuer	Kan oppdage avvik tidligere og minke forsinkelser med 3D- laser skanning. God dokumentasjon på det som er bygget og kommunikasjon mellom forskjellige parter. Barrierer kan være prisen og kompetanse.

## 1.2 Formål

For totalentreprenører er det viktig å se mulighetene i ny teknologi som kommer på markedet. Formålet med rapporten er derfor å finne ut for hvilke typer byggeprosjekter bruk av 3D-laserskanner er fordelaktig ovenfor manuelle målemetoder. Entrepriser frykter at kostnadene overgår nytten. Vi skal derfor objektivt redegjøre besparelsene og bekostningene knyttet til bruken av 3D-laserskanner og manuelle målemetoder på diverse eksisterende prosjekter. På den måten kan vi avgjøre om 3D-laserskanner kan anses til å være fordelaktig på fremtidige byggeprosjekter. Denne oppgaven skal danne et grunnlag for å ta en kontrollert avgjørelsen om total entreprenøren skal anvende eller avvente ny 3D-laserskann teknologi.

For en bedrift med stor omsetning og mange hendelser per dag, kan det være vanskelig å ha oversikt over alle aspekter der bedriften kan jobbe mer effektivt. Rapporten er utarbeidet i samarbeid med Betonmast med mål om å redegjøre hvilke prosjekter fordelene veier opp for ulempene som følge 3D-laserskanning. Derved vil vi indentifisere muligheter for at entrepriser kan jobbe mer effektivt og bidra til en konstruktiv teknologisk utvikling av entreprenørbransjen.

## 1.3 Problemstillingen

På grunnlag av formålet og bakgrunnen har vi laget problemstilling i samarbeid med Betonmast:

**«Hva kjennetegner byggeprosjekter hvor 3D-laserskanning er fordelaktig over manuell måling til kvalitetssikring?»**

### 1.3.1 Delspørsmål

For å hjelpe til å besvare problemstillingen har vi to delspørsmål. Disse delspørsmålene skal skape mer nyanser og aspekter til problemstillingen. Spørsmålene er som følger:

1. Hvilke mengder på størrelsesordener til byggeprosjekter gjør at det er fordelaktig for total-entreprisen å benytte 3D-laserskanner istedenfor manuelle målemetoder til kvalitetssikring gjennom råbyggsfasen?
2. Hva er 3D-laserskannerens påvirkning på prosjektet i sin helhet?

## 1.4 Hypotese

Bachelorrapporten baseres på hypotesen:

*«Det finnes en terskel som avhenger av kompleksitet og størrelse på et byggeprosjekt som vil være hovedfaktoren for vurdering av hvilke målemetoder til kvalitetssikring som er fordelaktig»*

Dette er grunnlaget for rapporten. Vi skal forske på om denne terskelen eksisterer, dersom den eksisterer, vil vi finne brytningspunktet for når det begynner å være fordelaktig å bruke 3D-skanner fremfor manuell måling til kvalitetssikring av bygg.

## 1.5 Avgrensninger

Rapporten avgrenses til totalentreprenør, spesifikke bygningstyper, måleverktøy og programvare. Avgrensningene begrenser omfanget til rapporten som gir anledning til dypere forståelse av effekten laserskanning gir på vår eksterne samarbeids bedrift. Måltrettet forskningen gjør at slutningene fra rapporten står til en større verdi for Betonmast.

### **Totalentreprenører og bygningstyper**

Vi avgrenser rapporten til totalentreprenører, næringsbygg og bolig. Næringsbygg er både offentlig og privat bygg, for eksempel kontor, produksjonsbygg, skoler og sykehus (Melvik, 2017, s. 9). Bolig defineres som «en boenhet som består av ett eller flere rom, er bygd eller ombygd som helårs privatbolig for en eller flere personer, og har egen atkomst uten at man må gå gjennom en annen bolig» (Statistisk Sentralbyrå, 2022).

Vår eksterne samarbeidsbedrift er en totalentreprenør som i dag stort sett bygger næringsbygg og boliger. Begrensinger blir gjort for å se hvilken effekt 3D-laserskanning gir for vår eksterne samarbeidsbedrift.

### **3D-Laserskanner og programvare**

Rapporten avgrenses til en type 3D-laserskanner og en type programvare. Det finnes mange 3D-laserskannere og mange programvarer. I denne rapporten skriver vi bare om måleverktøyet Leica BLK360 (Hexagon, 2022) med programvare fra Imerso (Imerso, 2022). Dette verktøyet og programvaren er det vår eksterne samarbeidsbedrift bruker i dag.



## 1.6 Forutsetninger

Rapporten forutsetter hva som menes med forskjellige begreper. Vi forutsetter betydningen til begrepene *manuelle målemetoder*, *fordelaktig* og *størrelsesorden*, samt *kontinuerlig og periodisk* bruk av 3D-laserskanner. Forutsetningene er nødvendige for å gi klarhet til omtalte temaer i rapporten.

### **Manuelle og maskinelle målemetoder**

Ordet manuell defineres som noe som utføres med hendene eller med kroppen, i motsetning til maskinell (Manuell, 2021). Maskinell defineres som arbeid som utføres av maskiner eller tilhører maskiner (Maskinell, 2020).

Manuelle målemetoder anser vi derfor til å være måleoperasjoner som blir gjort med hendene. Vi anser derfor manuelle måleverktøy til å være vertikal og horisontal sirkellaser, avstandslaser, målestokk og målebånd. Vi definerer den manuelle måleprosessen fremgangsmåte som beskrevet i *Håndbok for Toleranser* (Betonmast, 2015).

Måling ved bruk av 3D-laserskanner anser vi til å være maskinell måling fordi arbeidet utføres av maskiner. Rapporten forutsetter at det eksisterer et skille mellom manuelle målemetoder og maskinell målemetode ved bruk av 3D-laserskanner.

### **Fordelaktig**

For at en løsning skal være fordelaktig må fordelene overgå ulempene ved løsningen. Besparelse av kostnader, ressurser samt tidsbruken som følge målemetodene igjennom en byggeprosess ser vi som fordeler. Samtidig ser vi på andre aspekter med målemetodene som fordeler fordi det er bra for totalentreprenører. Vi ser ulemper til å være investeringskostnader og praktiske vansligheter ved løsninger. Målemetoden er bare fordelaktig dersom fordelene oppveier for ulempene.

### **Kontinuerlig og periodisk bruk av 3D-laserskanner**

Rapporten forutsetter hva som menes med kontinuerlig og periodisk bruk av 3D-laserskanner. Kontinuerlig er «vedvarende, uopphørlig og fortløpende» (Hervik, 2017). Periode defineres som «tiden mellom gjentakelse av et fenomen som gjentar seg ved jevne mellomrom.» Slike fenomen er periodiske (Hofstad, 2018). Kontinuerlig vil si at bruken skjer vedvarende mens periodisk bruk foregår i forskjellige perioder.

På et byggeprosjekt hvor 3D-laserskanning er tatt i bruk kan skanneren bli brukt enten kontinuerlig eller periodisk. Hvis et prosjekt benytter skanning kontinuerlig betyr det at

skanning gjennomføres på et uopphørlig tidsgrunnlag. Det betyr ikke nødvendigvis at skanneren er brukt gjennom hele prosjektet. Et eksempel kan være et prosjekt som skanner vedvarende i 20 uker, uten å sende skanneren til andre prosjekter i løpet av den perioden. Motsetningen til dette er periodisk skanning, der man skanner i noen perioder av prosjektet. Et eksempel er et prosjekt som skanner utført arbeid etter visse stadier av prosjektet, en runde med skanning for å sjekke bunnledninger, en annen runde for å sjekke utsparinger, og en til for å sjekke tekniske føringer. I denne rapporten skiller vi mellom prosjekter som benytter 3D-laserskanning kontinuerlig og periodisk.

### **Størrelsesorden**

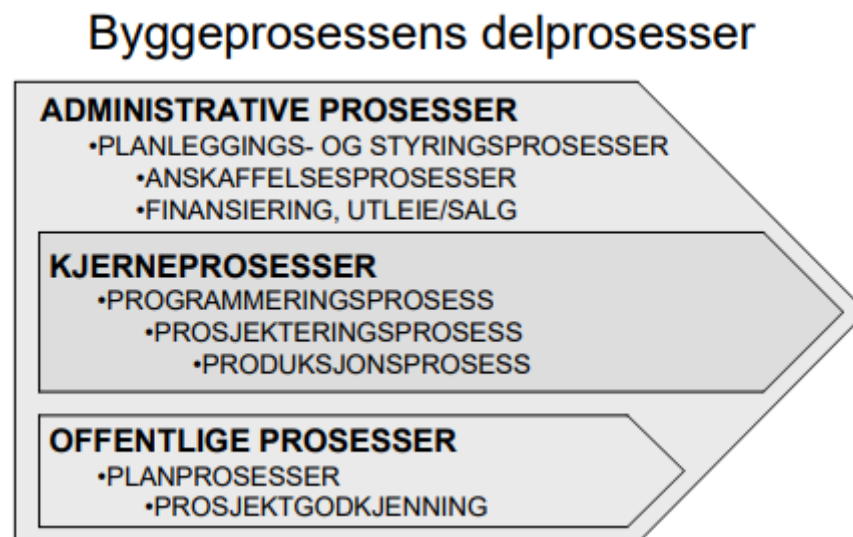
Rapporten forutsetter hva som menes med størrelsesorden. Størrelsesorden blir definert som en «*tallmessig størrelse*» eller «*grad av størrelse eller dimensjoner*» (NAOB, 2022). Rapporten forutsetter betydningen av størrelsesorden til å være tallmessige størrelser relatert til prosjektets størrelse eller kompleksitet. Noen eksempler på størrelsesorden er kontraktssum, areal og antall etasjer. Størrelsesordenene brukes for å sortere forskjellige prosjekter basert på størrelse og kompleksitet.

## 2. Teori

### 2.1 Byggeprosess

«Byggeprosessen omfatter alle prosesser som fører fram til eller er en forutsetning for det planlagte byggverk» (Eikeland, 2001, s. 68). Byggeprosess er et felles begrep til mange forskjellige delprosesser. Alt fra planlegging, finansiering, prosjektering, produksjon til driftsstart og mye annet er del av byggeprosessen. Når hele prosjektet er utgangspunktet og det er mål om å skape verdi på kundenes premisser, så vil det være naturlig å skille mellom administrative prosesser, kjerneprosesser og offentlige prosesser (Eikeland, 2001, s. 21).

Byggeprosessen deles opp i offentlige prosesser, kjerneprosesser og administrative prosesser som vist i figur 2.1. Offentlige prosesser er arealplanlegging etter plan- og bygningsloven. Prosjekt og tiltak skal godkjennes av de offentlige bygningsmyndighetene. Kjerneprosesser er første-ledd i produksjonen og produktutviklingen av et byggverk. Administrative prosesser planlegger, styrer og legger til rette for kjerneprosessene. Hensikten til de administrative prosessene er å administrere, kontrollere og styre de ulike delprosessene som en helhet igjennom en byggeprosess (Eikeland, 2001, s. 25).



*Figur 2.1 Byggeprosessens delprosesser fra Teoretisk analyse av byggeprosesser (Eikeland, 2001, s. 25)*

#### 2.1.1 Aktører og roller i byggeprosjekter

En aktør er et sentralt begrep og kan være en gruppe, person eller virksomhet. Aktører er enheter som handler i systemet. Forskjellige aktører tildeles forskjellige oppgaver og roller.

De har egne verdier, ressurser, kompetanse og interesser. Derfor legges det mye arbeid i å koble aktørenes interesser til prosjektorganisasjonens mål, gjennom formelle avtaler. (Eikeland, 2001, s. 43).

En rolle kjennetegnes av hvilken oppgave, funksjon, ansvar og myndighet den enkelte aktør har. Disse bidragene knyttes til belønninger som primært består av økonomiske motytelser. Belønninger for bidragene kan også bestå av annerkjennelse for innsatsen, egen tilfredsstillelse og forretningsmessige relasjoner. Interesser, prioriteringer og verdier blant de interne aktørene vil påvirkes i stor grad av deres roller i prosjektet. Rollene avgjør derfor hvem som skal ta forskjellige beslutninger og hvilken formell rett en aktør har til å gjøre seg gjeldende i den endelige beslutningen (Eikeland, 2001, s. 49).

Nedenfor vises noen sentrale, funksjonelle roller som eksisterer på byggeprosjekter:

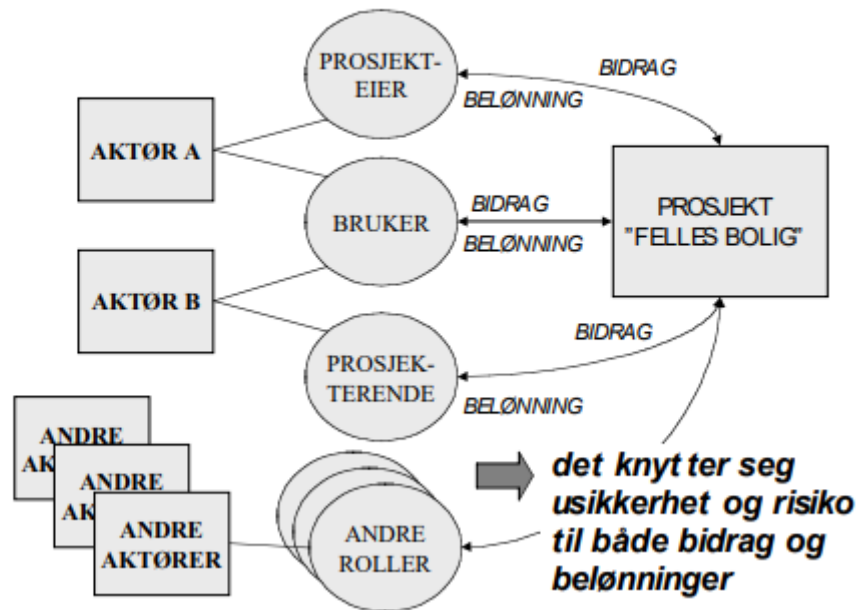
- Prosjekteier (iltakshaver, byggherre)
- Prosjektledelse
- Prosjekteringsledelse
- Prosjekterende (arkitekt, ingeniører)
- Kontrollerende for prosjektering
- Byggeplassledelse (samordner for utførelsen)
- Utførende (entreprenører)
- Kontrollerende for utførelsen (byggeledelse)
- Leverandører (av byggevarer)
- Brukere (beboere, leietagere)

(Eikeland, 2001, s. 50)

Det er ikke et en-til-en forhold mellom generiske roller og aktører. En aktør kan ivareta flere roller, og flere aktører kan ivareta en rolle i felleskap som vist i figur 2.2. Enkeltaktører ivaretar generiske roller, og deres bidrag og belønninger knyttes til de ulike rollene. Dette hjelper oss til å forstå aktørenes handlinger. Gjennom oversikt over de generiske rollene skaper dette grunnlag til å drøfte ulike organisasjonsmodeller (Eikeland, 2001, s. 51).

Følgende figur illustrerer dette:

## Aktører - roller - interesser



Figur 2.2 Aktører kan ha flere roller (Eikeland, 2001, s. 51)

### 2.1.2 Rollen som utførende entreprenør

Rollen som utførende entreprenør omfatter fysisk arbeid på en byggeplass, samt ledelse, organisering, planlegging og de administrative funksjonene knyttet til utførelse av arbeid. En utførende entreprenør starter arbeidet etter at prosjekteringsprosessen har frambragt en beskrivelse av produktet som skal produseres. Entreprenørrollen deltar i alle byggeprosjekter som blir gjennomført (Eikeland, 2001, s. 61).

Entreprenørrollen kan innebære administrativ samordning av underentreprenører og risiko knyttet til underentrepriser. Når en entreprenør har overlatt deler av kontrakts forpliktene sine med byggherren til underentreprenører, defineres den da som en hovedentreprenør (Standard Norge, 2008b, s. 5).

### 2.1.3 Rollen som totalentreprenør

Entreprenørrollen eksisterer i alle byggeprosjekter, totalentreprenør-rollen er derimot ikke generisk. En totalentreprise skal ivareta en stor del av den overordnede ledelse og organisering på et byggeprosjekt. TE-rollen er en kombinasjon av entreprenørrollen, ansvar for prosjektering, prosjekterende produkt og prosjektleidelse. Helhetsansvar for ledelse og organisering kan bli tildelt totalentreprisen gjennom kontrakt med prosjekteier. TE får derfor tilnærmet et totalansvar for utførelse, prosjektering og leveranse av bygget. (Eikeland, 2001, s. 62).

Totalentreprenøren kan også overgi noen deler av kontraktsforpliktelser til UE. Hvor mye av arbeidet de gir til UE kommer an på organisasjonen til totalentreprenøren. TE kan ha en funksjonær organisasjon der det meste av fysisk arbeid er leid inn og påtar seg da rollen som hovedentreprenøren som har ansvar for koordinering av forskjellige UE.

## 2.2 Produksjon

Gjennom en produksjonsprosess omdannes en eller flere varer til en ny adskillig vare (Johnsen, 1977, s. 13). I bygg og anleggsprosjekter omdannes mange forskjellige varer og materialer til et bruksklart bygg eller område. Gjennom produksjonsprosessen er fremdrift, utførelse og ansvarsforholdet mellom de forskjellige aktørene viktig. Det er viktig å forstå at alle de forskjellige aktørene kontraktfester seg til forhåndsbestemte beskrivelser og fremdriftsplaner.

### 2.2.1 Fremdrift og ansvarsforhold

I et byggeprosjekt har man en bestemt tidsfrist for når prosjektet skal være ferdig. Man har en forhåndsbestemt kontraktssum som skal dekke alle kostnader. For å kunne planlegge tidsbruk og ressursbruk, er det vanlig å lage en fremdriftsplan.

Ifølge NS 8405 skal entreprenøren utarbeide fremdriftsplan og legge frem hovedaktiviteter og hvilke aktiviteter som er avhengige av hverandre. Dette skal gjøres innen seks uker etter kontraktsinngåelsen med byggherren. I tillegg skal entreprenøren informere byggherren om status for fremdriften i prosjektet. Entreprenøren skal varsle om avvik eller andre hindringer i fremdriften. Byggherren kan kreve at fremdriftsplanen revideres dersom entreprenøren avviker nok fra planen slik at det ikke er hensiktsmessig å rapportere mot den originale. (Standard Norge, 2008a, s. 13).

Dersom entreprenøren ikke leverer oppgaver til riktig tid eller avviker fra det som er prosjektert, kan byggherren kreve påslag og dekning av indirekte kostnader, risiko og fortjeneste ifølge NS 8405 (Standard Norge, 2008a, s. 23).

### **Fremdrift totalentreprenører**

Ifølge NS 8407, dersom totalentreprenør overskrider tidsfristen i fremdriftsplanen, er det vanlig at oppdragshaver får dagmulkt. Normalt er dagmulkt på en ‰ av total kontraktssum per dag (Standard Norge, 2011, s. 37). På et prosjekt med en kontraktssum på 500MNOK tilsvarer dagmulkten 500 tusen kroner dagen. Er prosjektet en uke eller fem arbeidsdager forsinket vil det koste entreprenøren 2,5MNOK. Dagmulkt vil fort bekoste entreprenøren

store pengesummer. Det er derfor viktig at totalentreprenøren opprettholder en god fremdrift gjennom hele prosjektet.

### **Fremdrift underentreprenører**

Ifølge NS 8415 har hovedentreprenøren rett til å belaste underentreprenører med påslag eller merkostnader dersom fremdriften avviker fra planen. Hvis hovedentreprenøren blir vesentlig hindret i sin fremdrift på grunn av en underentreprenør, kan hovedentreprenøren gripe inn i underentreprenørens arbeid. Hovedentreprenøren må gi dem en rimelig frist til å utføre arbeidet. Underentreprenøren skal ikke belastes for mer enn 50% av kontraktssummen. Hvis forsinkelsen er grunnet hovedentreprenøren, har underentreprenøren krav på fristforlengelse (Standard Norge, 2008b, s. 14).

### **2.2.2 Utførelse og ansvarsforhold**

Ifølge NS 8407 skal en totalentreprenør levere kontraksarbeidet i henhold til avtalte krav og tilhørende tegninger, modeller eller beskrivelser. Kvaliteten på bygget skal være i overensstemmelse med referanseobjektets materialvalg, utførelse og funksjonalitet. Samtidig skal totalentreprenøren følge lover, forskrifter og offentlige vedtak. Hvis ikke annet er planlagt skal totalentreprenøren også tilfredsstille kravene i Norsk Standard (Standard Norge, 2011, s. 16).

Hovedentreprenøren kan overgi noen deler av kontraktsforpliktelser til UE. Ifølge NS 8415 skal utførelsen av arbeidet oppfylle kravene som er angitt i kontrakten. Hovedentreprenøren står ansvarlig for at forskrifter som Norsk Standard blir dokumentert i kontrakten med UE. Dersom UE gjør en kontaktstridig utførelse, må UE foreta utbedring og dekke nødvendige kostnader for utbedring. Hovedentreprenøren kan kreve prisavslag for kontaktstridig utførelse (Standard Norge, 2008b, s. 9).

### **Toleranser**

Norsk Standard, herunder NS, beskriver hvilke toleranser utførende foretak må forholde seg til i ulike deler av et ferdig bygg. Hvis ingenting annet står i kontrakten, skal entreprenøren følge NS. Ifølge NS 8405 skal utførende entreprenør sørge for å kontrollere at arbeidet er innenfor toleransen angitt i kontrakten eller NS (Standard Norge, 2008a, s. 8).

Ifølge NS 3420 må entreprenører gjøre toleransekontroll på sitt eget arbeid med målestyr som tilfredsstiller toleransekravets nøyaktighet. Toleranser på konstruksjonen som danner et underlag for etterfølgende arbeidsoperasjoner må kontrolleres og dokumenteres før

påfølgende arbeidsoperasjon. Samtidig skal avvik kontrolleres med et måleutstyr som har en avlesningsnøyaktighet som samsvarer til toleransekravets nøyaktighet. Toleransekrav for ferdig bygg blir beskrevet i NS 3420 (Standard Norge, 2019, s. 14).

### **Ansvarsforhold for kontroll**

Ifølge NS 8415 har utførende UE ansvar for å ta kontroll av eget arbeid. I tillegg har hovedentreprenøren og byggherren rett til å føre kontroll på utførelse og materialer. Hvis noe ikke stemmer overens med kontrakten skal hovedentreprenøren melde til UE så fort som mulig (Standard Norge, 2008b, s. 11).

UE skal dekke eventuelle utgifter knyttet til avvik og utbedring av arbeid som var i strid med kontrakten. I noen tilfeller kan UE be om unntak dersom kostnadene er uforholdsmessig store i forhold til det som må oppnås ifølge NS 8415 (Standard Norge, 2008b, s. 9).

#### 2.2.3 Avvikshåndtering

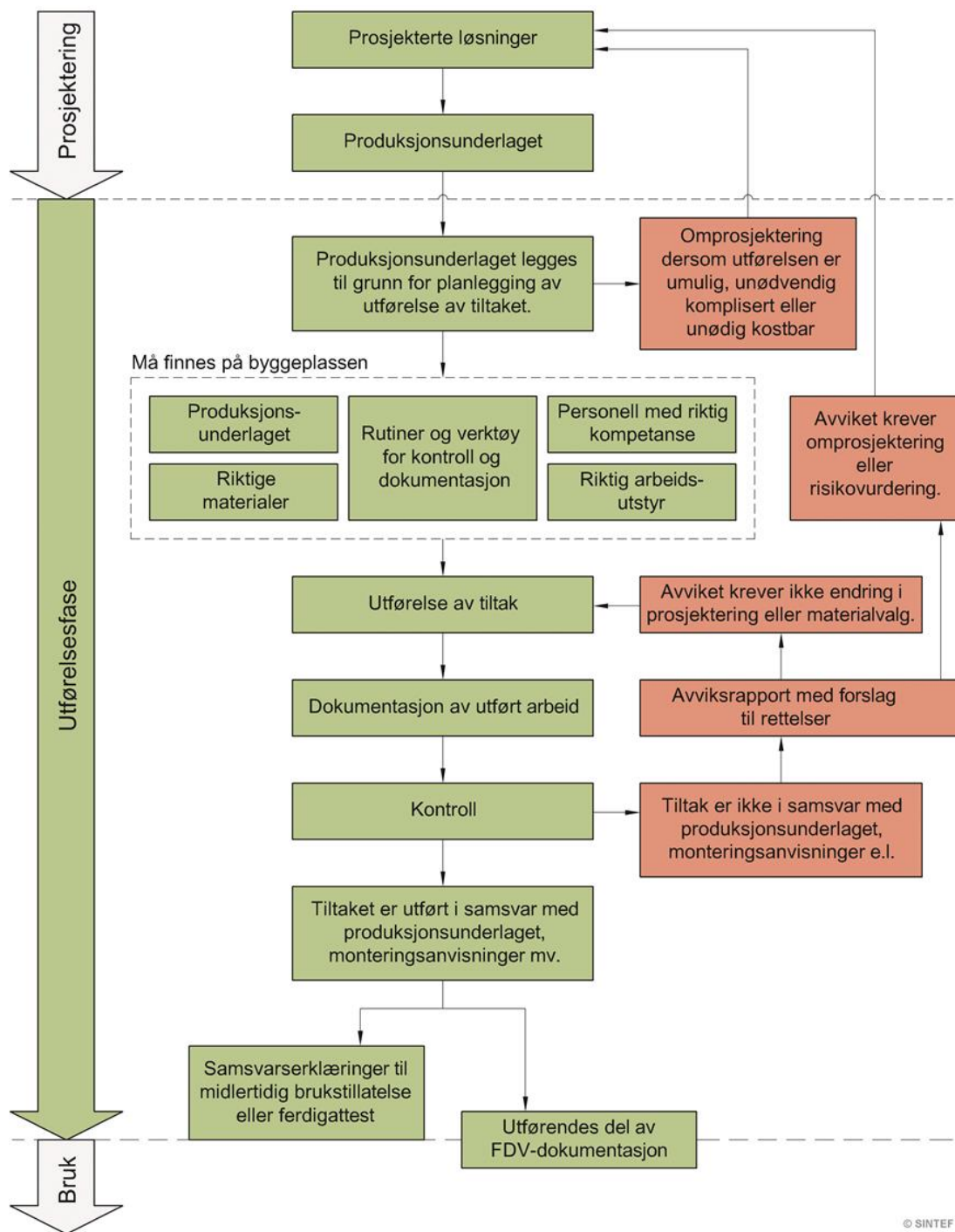
Avvik og geometriske avvik forekommer når komponenter av bygget ikke utføres i henhold til prosjektets byggetegninger. Et avvik kan defineres som manglende samsvar mellom utførte arbeid eller et produkt og definerte krav. Geometriske avvik menes komponentens plassering, dimensjon og retning. Toleranser for forskjellige geometriske avvik blir beskrevet i NS 3461 (Standard Norge, 2005).

Avvikene som avdekkes av kontrollpersoner skal meldes til de som har ansvar for utførelsen av arbeidet. Deretter har utførende eller prosjekterende foretak ansvar for å lukke avviket. Med åpent og lukket avvik menes statusen til avviket. Hvis det er åpent betyr det at det har ikke blitt løst ennå. For å lukke et avvik må avviket utbedres og meldes til kontrollerende om hva som ble gjort (Temaveileder uavhengig kontroll, 2012, §6.2).

Etter oppdagelse av avvik skal det varsles og avtales en rimelig frist for når avviket skal være lukket mellom kontrollerende foretak og utførende foretak. I tilfeller der fristen for lukking av avvik overskrides, må kontrollerende foretak varsle om det. Partene kan bli enige om utvidelse av frist. (Temaveileder uavhengig kontroll, 2012, §6.3).

I figur 2.3 ser vi hvordan avvikshåndtering skjer i praksis. Avvikshåndteringen blir illustrert ved de røde tekstboblene.





Figur 2.3 Skjematisk fremstilling av avvikshåndtering (Byggforskserien, 2020).

Det skjer først en kontroll av det prosjekterte produksjonsunderlaget. Hvis det prosjekterte produksjonsunderlaget viser seg å være umulig, unødvendig komplisert eller unødig kostbart, opprettes det et avvik og den delen må omprosjekteres. Ved å kontrollere produksjonsunderlaget før utførelsen, unngår man umulige, unødvendig kompliserte eller unødig kostbare konstruksjonsløsninger.

Når noe er utført og dokumentert, gjøres en kontroll på det utførte arbeidet. Hvis det oppdages at arbeidet ikke er i samsvar med produksjonsunderlaget, blir det laget en avvikrapport med forslag til rettelser. Hvis avviket ikke krever omprosjektering, utbedres avviket og blir lukket. Dersom avviket krever omprosjektering eller risikovurdering, blir det sendt tilbake til prosjekterende for omprosjektering eller risikovurdering. Da blir det prosjektert en ny løsning eller nye tilfredsstillende tiltak som siden må utføres. Ved å kontrollere, opprette avvik og håndtere avvik gjennom utførelsesfasen kan man utbedre utførelse som ikke står til samsvar med definerte krav.

#### 2.2.4 Avvikshåndteringsverktøy

På bygg og anleggsprosjekter brukes elektroniske avvikshåndteringsverktøy, som er en del av openBIM. Med disse verktøyene får man oversikt over sine prosjekter og avvik som oppstår under utførelsesfasen. Avvikshåndteringsverktøyene forenkler kommunikasjonen mellom aktører gjennom avvikshåndteringsprosessen. Betonmast Asker og Bærum bruker Dalux.

#### **Dalux**

Dalux brukes for kvalitetssikring på byggeplassen og er koblet til plantegninger og 3D-modeller. Man kan dermed fylle ut sjekklister, føre inn avvik og annen informasjon for så å tildele ansvar til personer på prosjektet. Programvaren brukes via en vanlig smarttelefon eller PC (Banka et al., 2019, s. 21). Dalux er et eksempel på avvikshåndteringsverktøy som baseres på openBIM konseptet der man deler informasjon over et åpent, digitalt format med flere aktører.

#### 2.3 BIM

BIM står for «Bygningsinformasjonsmodellering,» eller «Building information modelling». I bygg- og anleggsbransjen brukes BIM for å lage digitale versjoner eller modeller av prosjekter. Disse modellene skapes digitalt og inneholder nøyaktig geometri og data for konstruksjon, fabrikasjon og anskaffelsesvirksomhet knyttet til realisasjon av bygget (Eastman et al., 2011, s. 1).

BIM modeller inneholder også informasjon om enkelte elementer i et prosjekt som dimensjoner, materiale, og forhold mellom andre elementer i et bygg. Ved å se på forholdene mellom elementer kan vi lettere finne feil, kollisjoner og ting som mangler i en modell. For å ta det ett steg videre kan andre egenskaper legges til ulike elementer, som viser hvor lang tid byggelementer tar å bygge. Det er også mulig å legge inn kostnaden til

produkter og elementer og karbonfotavtrykk for enkelte deler, noe som blir stadig mer aktuelt i dag med et større fokus på miljø (Fewings & Henjewele, 2019, s. 396).

Digitalisert konstruksjon ved hjelp av BIM er en måte å integrere flere aktører på i prosjektet slik at det er en mer transparent kultur av samarbeid (Fewings & Henjewele, 2019, s. 385).

BIM lar forskjellige aktører kommunisere med hverandre som prosjekterende, byggherre, arkitekt, utførende og underentreprenør. Bruk av digitale verktøy fører til at det er lettere å oppdage feil og kollisjoner før prosjektet er satt i gang. Forskjellige aktører kan følge opp modellen og arbeidet som må gjøres fortløpende som bedrer flyt i arbeidsprosessen.

### 2.3.1 BuildingSMART

BuildingSMART er en internasjonal organisasjon dedikert til standardene IFC (Industry Foundation Class). Forskjellige aktører kan bruke forskjellige programvarer som er egnet sitt fag, og så dele med andre via IFC-filformat. (buildingSMART, 2022a). Standardisering av BIM gjennom IFC-format bedret tverrfaglig samarbeid.

BuildingSMART Norge er en nasjonal del av den internasjonale buildingSMART organisasjonen. De arbeider for å forbedre den digitale informasjonsflyten i byggeprosessen og deltar i utvikling av de åpne internasjonale buildingSMART-standardene (buildingSMART Norway, 2022).

### 2.3.2 OpenBIM

OpenBIM utvider fordelene BIM har å tilby ved å bedre tilgjengelighet, brukbarhet og styring til digital data som en ressurs i byggindustrien. OpenBIM kan bli definert som delt prosjektinformasjon som tillater tverrfaglig samarbeid. Ved å gi kritisk prosjektinformasjon til alle deltagerne bedrer det samarbeid mot prosjektleveranse. Nøytrale filformater som IFC tillater digital arbeidsflyt mellom aktører og muliggjør for OpenBIM. OpenBIM bedrer effektiviteten til prosjektstyringen ved å gjøre digitale ressurser som tillater samarbeid tilgjengelig for alle prosjektdeltagerne (buildingSMART, 2022b).

### 2.3.3 As-built Dokumentasjon

BIM har blitt til en standard i byggebransjen som har vist seg å øke produktivitet og gi kostnadsbesparelse. As-designed BIM, eller 3D-modellen som er laget i prosjekteringsfasen skal representere det som er planlagt eller designet. En as-built BIM-modell representerer det som faktisk ble bygget og er mer sjeldent siden det krever datasamling av ferdigbygget tilstand. For å lage en as-built BIM modell kan vi samle data gjennom en punktsky for å så

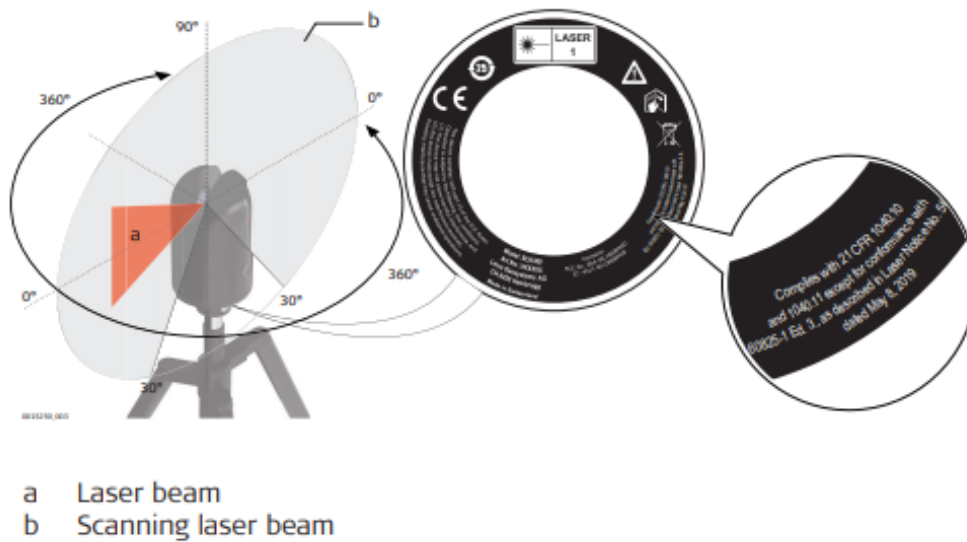
skape en modell ut ifra det (Pătrăucean et al., 2015, s. 162). En effektiv måte å føre as-built dokumentasjon på kan være ved hjelp av 3D laserskanner.

Det kan være vanskelig og krevende å utvikle en detaljert BIM modell fra punktskyen. Til tross for det, kan punktskyen bli brukt til å sjekke mot as-designed BIM modellen for avvik og ikke minst oppdatere BIM modellen til å reflektere as-built tilstand (Pătrăucean et al., 2015, s. 167). As-built tegninger er en viktig del av dokumentasjon til hvordan et bygg ble bygget i virkeligheten. Mens det ikke er vanlig å lage en omfattende og detaljert as-built BIM modell, kan punktskyen dokumentere det som er bygget og oppdatere as-designed modellen.

#### 2.4 3D-Laserskanner og punktsky

Det finnes mange forskjellige 3D-laserskannere i dagens marked. I denne rapporten skrives det om Leica BLK360. Listepriisen på Leica BLK360 den 24.04.2022 er 19 740 USD (Leica Geosystems, 2022).

En 3D-laserskanner baseres på LIDAR teknologi for å måle avstand (Leica Geosystems, 2022). Laserskanneren sender ut laserstråler med 830nm bølgelengde, og måler så tiden det tar for bølgen å bli reflektert tilbake. Laserstrålene sendes mot et speil som roterer 360 grader om sin tverrakse. I tillegg til at speilet roterer, roterer selve skanneren 300 grader om sin egen vertikallakse som vist i figur 2.4. Dette gir laserskanneren full dekning rundt sitt eget midtpunkt, og alt som er synlig fra skanneren, vil bli lagret som punktdata. Den fanger inn alt i «line of sight», og innen 60 meter radius (Leica Geosystems, 2021, s. 36). BLK360 fanger opp 360,000 punkter per sekund (Leica Geosystems, 2022). Alle disse punktene danner en tre-dimensjonal punktsky tilnærmet lik objektene du skanner.



Figur 2.4 Laserprodukt (Leica Geosystems, 2021, s. 11)

Når man utfører et 3D-laserskann, fanger skanneren opp mange punkter. Hvert punkt representerer det punktet hvor laserstrålen ble reflektert fra overflaten og tilbake til laserskanneren som vist i bilde 2.1. Et punkt har en posisjon og fargekode i et tredimensjonalt aksesystem. Punktene danner en tre-dimensjonal representasjon av objektene som blir skannet. Samlingen av alle disse punktene kan sammen kalles for en punktsky (Hexagon, 2022).



Bilde 2.1 Nærbilde av punktsky med fargekoder. Skjerm bilde tatt på Imerso.

#### 2.4.1 3D-laserskanners oppløsning og nøyaktighet

Skannere har spesifiserte verdier for nøyaktighet og oppløsning. Nøyaktighet beskriver hvor stor feilmargin det er mellom målte datapunkter og virkelige datapunkter. Oppløsning beskriver hvor tett det er mellom hvert punkt, eller hvor mange punkter det er i en areal-enhet (Alferink, 2013).

Det er mulig å ha en kombinasjon av lav oppløsning og høy nøyaktighet, eller høy oppløsning og lav nøyaktighet, eller en annen kombinasjon.

På 3D-laserskanneren BLK360 kan man velge forskjellig grad av oppløsning på punktskyen som vist i figur 2.5. Avhengig av oppløsning, vil tiden for et skann variere. Et skann med høyest mulige oppløsning tar lengre tid enn et skann med lav oppløsning. Det er mulig å skanne større arealer på kortere tid ved å velge en lav oppløsning på bekostning av tettheten mellom punktene.

**Scan duration for 3 settings:**

Point density mode	Resolution [mm @ 10m]	Estimated scan duration [MM:SS] for a full dome scan
Fast	35	00:40
Standard	10	01:50
High density	5	03:40

*Figur 2.5 Skannvarighet mot oppløsning (Leica Geosystems, 2021, s. 36)*

Det må tas med i betraktning at lengre avstand gir lavere nøyaktighet på et skann. BLK360 har en nøyaktighet på 4mm ved 10m avstand og 7mm ved 20m avstand som vist i figur 2.6. Det er mulig å skanne større arealer på kortere tid ved å øke avstanden mellom skannpunktene, men det går på bekostning av punktenes nøyaktighet.

Scanning data	Value
Beam divergence	0.4 mrad (FWHM, full angle)
Beam diameter at front window	2.25 mm (FWHM)
Minimum range	0.6 m
Maximum range	60 m @ 78% albedo
Range accuracy	4 mm at 10 m and 7 mm at 20 m

*Figur 2.6 Skanner nøyaktighet (Leica Geosystems, 2021, s. 36)*

#### 2.4.2 3D-laserskanner i praksis

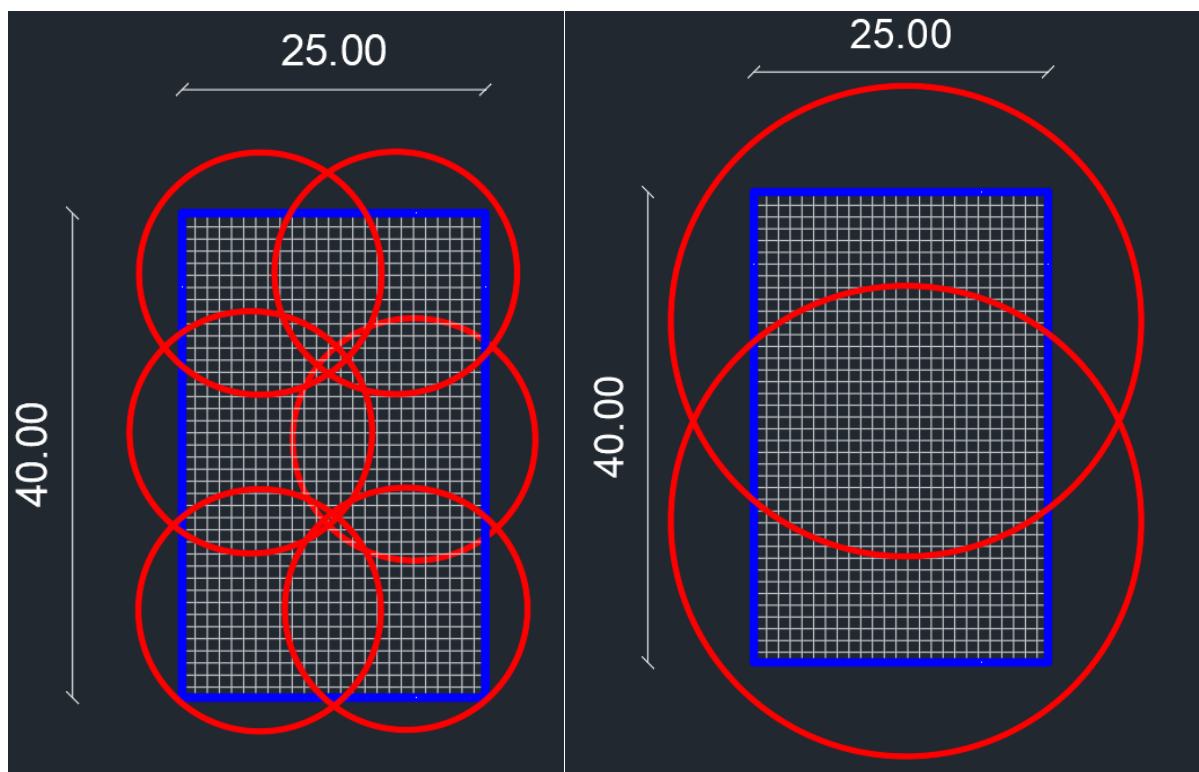
Det er ingen spesielle hensyn å ta når man forflytter seg, annet enn at skannområdene må overlappe. Overlapp er viktig for at programvaren skal kunne samle flere lokale punktskyer til en samlet punktsky. Det tar omtrent et halvt minutt å flytte skanneren fra nåværende skannepunkt til neste skannepunkt. Man forflytter seg vilkårlig, og plasserer skanneren der

man ønsker. Nøyaktigheten og kvaliteten til punktskyen vil være avhengig av hvilke skannposisjoner du velger.

Skanningen skjer i sirkler eller sfærer rundt skanneren. Velger du kortere avstand mellom skannpunktene får punktskyen høyere nøyaktighet, men det tar lengre tid. Hvis man for eksempel ønsker 4mm nøyaktighet i et rom på 25x40 meter, må man utføre 6 skann.

Dersom man klarer seg med inntil 7mm nøyaktighet trenger man bare 2 skanninger for å dekke rommet fullstendig.

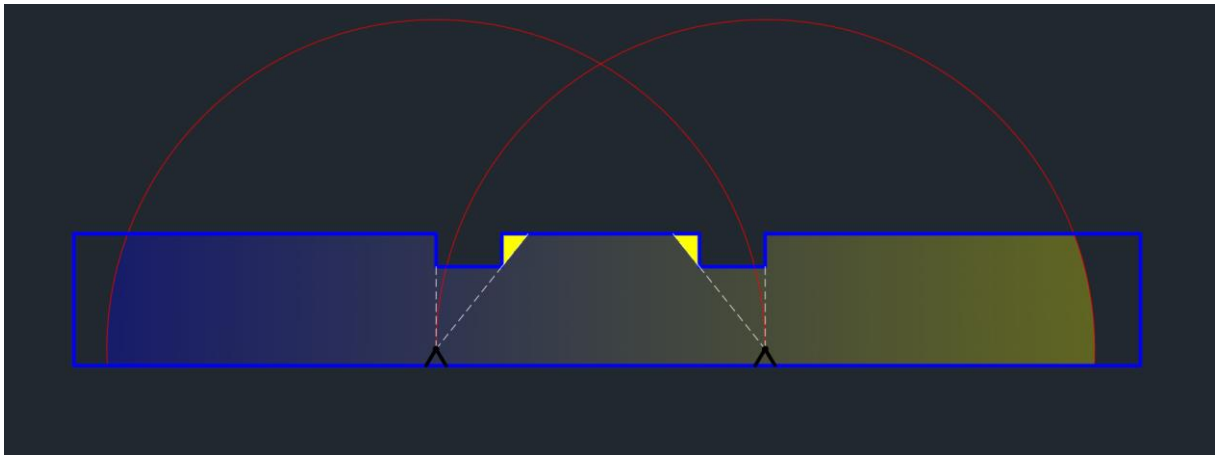
Figur 2.7 til venstre viser prinsipp for skanning med 10 meter radius og 4mm nøyaktighet. Figur 2.7 til høyre viser prinsipp for skanning med 20 meter radius og inntil 7mm nøyaktighet.



Figur 2.7 Nøyaktighet på forskjellige radius. Skjerm bilde fra AutoCAD.

Når man utfører et 3D-laserskann, kan blindsoner skape hull i punktskyen. Blindsoner er alt som ikke er synlig fra skanneren. For å eliminere slike hull i punktskyen må skanneren plasseres slik at området er synlig fra laserskanneren. Dersom det er søyler, vegger eller objekter i rommet, må skanneren plasseres strategisk, slik at mest mulig flater blir synlig fra skanneren.

Figur 2.8 viser tverrsnitt av et rom, hvor det gule feltet er usynlig for en av skannepunktene, men synlig fra den andre.



*Figur 2.8 Blindsoner under skanning. Skjermbilde fra AutoCAD.*

Bilde 2.2 viser ett eksempel på en blindsoner som skaper et hull i punktskyen:



*Bilde 2.2 Blindsoner i punktskyen. Skjermbilde tatt i Imerso.*

#### 2.4.3 Imerso

En 3D- laserskanner må brukes i samband med en programvare. Ved å skanne på en posisjon får man en lokal punktsky. Dersom man gjør ti skanninger og ønsker å samordne det til en felles punktsky trenger man en programvare som samler de lokale punktskyene.

Programvaren samordner punktskyene til en sammenhengende punktsky, med forutsetning



av at punktskyene overlapper hverandre. Imerso er en av mange programvarer som brukes i samband med en 3D-laserskanner på byggeplass.

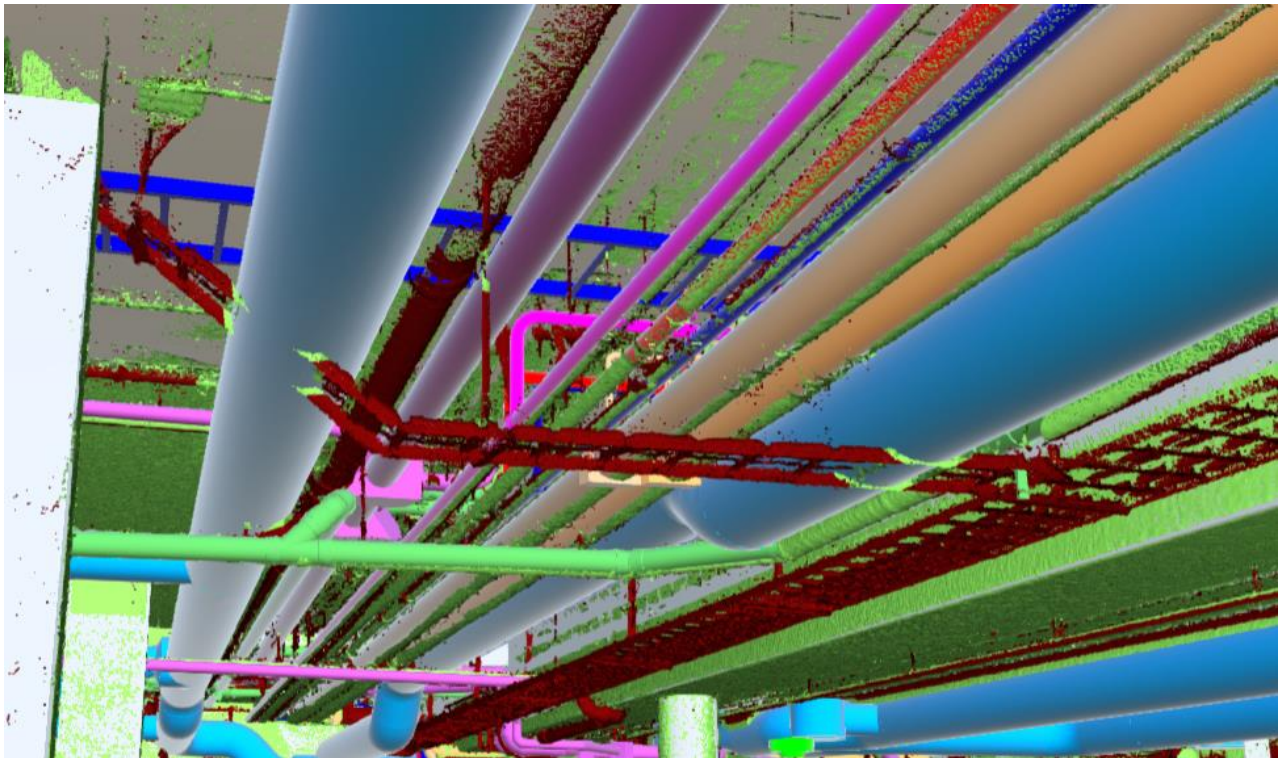
Prisen på programvaren Imerso varierer avhengig av hvilken avtale man tegner med Imerso. Imerso offentliggjør ikke prisene sine, men etter å ha tatt personlig kontakt med dem fikk vi et estimat på en abonnementsløsning. Prisen kan variere med størrelse på prosjekt, bindingstid, lagringskapasitet og databehov. Per i dag har en plattformslisens med kapasitet på 500 GB en standard årspris på 270 000kr. Det tilsvarer cirka 2500 skann med BLK360 som er nok til cirka fem forskjellige prosjekter samtidig (M. Lohne fra Imerso AS, personlig kommunikasjon, 21. april 2022).

Imerso kan visuelt representere hvordan bygget er bygget. Når programvaren Imerso har sammordet de forskjellige lokale punktskyer til en samlet punktsky, representerer det hvordan bygget har blitt bygget (Imerso, 2022). Denne 3D-punktskyen vises i programvaren eller lastes over i forskjellige BIM-filformater som Autodesk ReCap prosjekt (rcp.) filformat. Det betyr at punktskyen kan lastes over i Revit, AutoCAD eller annen BIM programvare. Dette gir mulighet for å sende den bygde modellen tilbake til prosjekteringsteamet for eventuell omprosjektering.

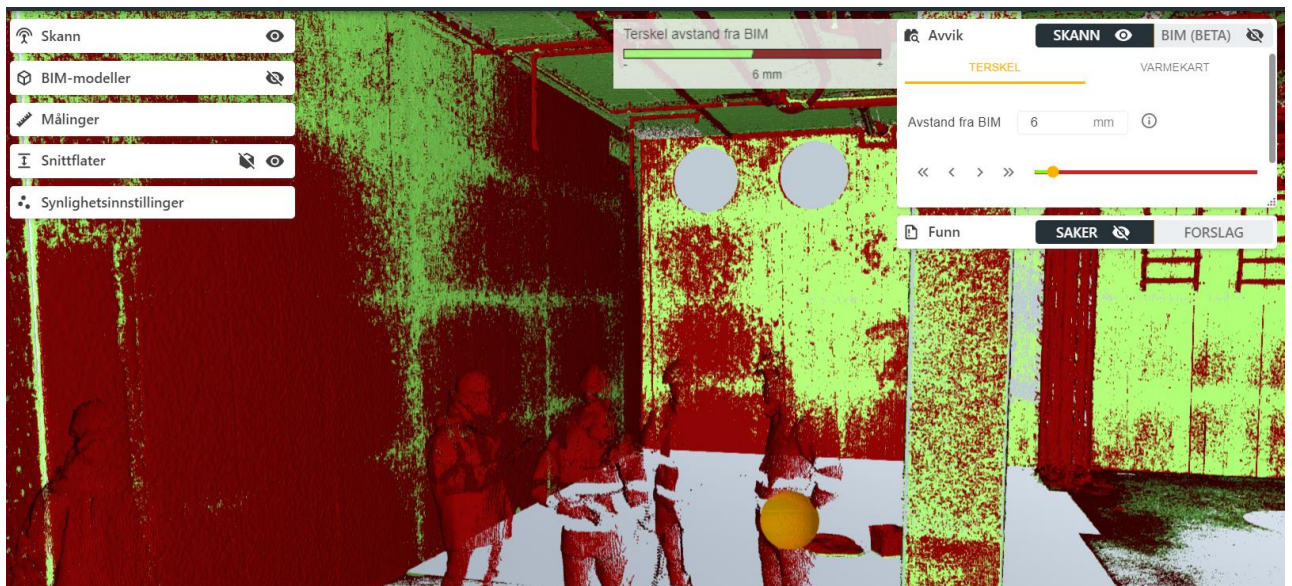
Imerso kan identifisere avvik og kollisjoner mellom bygget og den prosjekterte 3D-modellen av bygget som vist i bilde 2.3. Programvaren Imerso kan legge prosjekterte IFC-modeller og den skannede punktskyen sammen og se hvor bygget avviker fra den prosjekterte modellen. Imerso viser hvor bygget avviker fra modellen ved bruk av farger. Nøyaktigheten til hva Imerso oppfatter som et avvik kan justeres til toleransen som kreves for bygningsdelen.

Ved å legge sammen den prosjekterte modellen med den bygde modellen er det lett å identifisere kollisjoner og vurdere mulige tiltak for avvikshåndtering. Imerso kan selv søke etter og finne fremtidige kollisjoner og avvik som er utenfor toleransen. Dette gjør det mulig å forutse fremtidige kollisjoner mellom faggrupper.

Følgende bilder 2.3-2.9 er tatt fra observasjon hos Betonmast:



Bilde 2.3 Kollisjon med elektrisk kabelbro og planlagte ventilasjonskanaler. Tatt i Imerso.



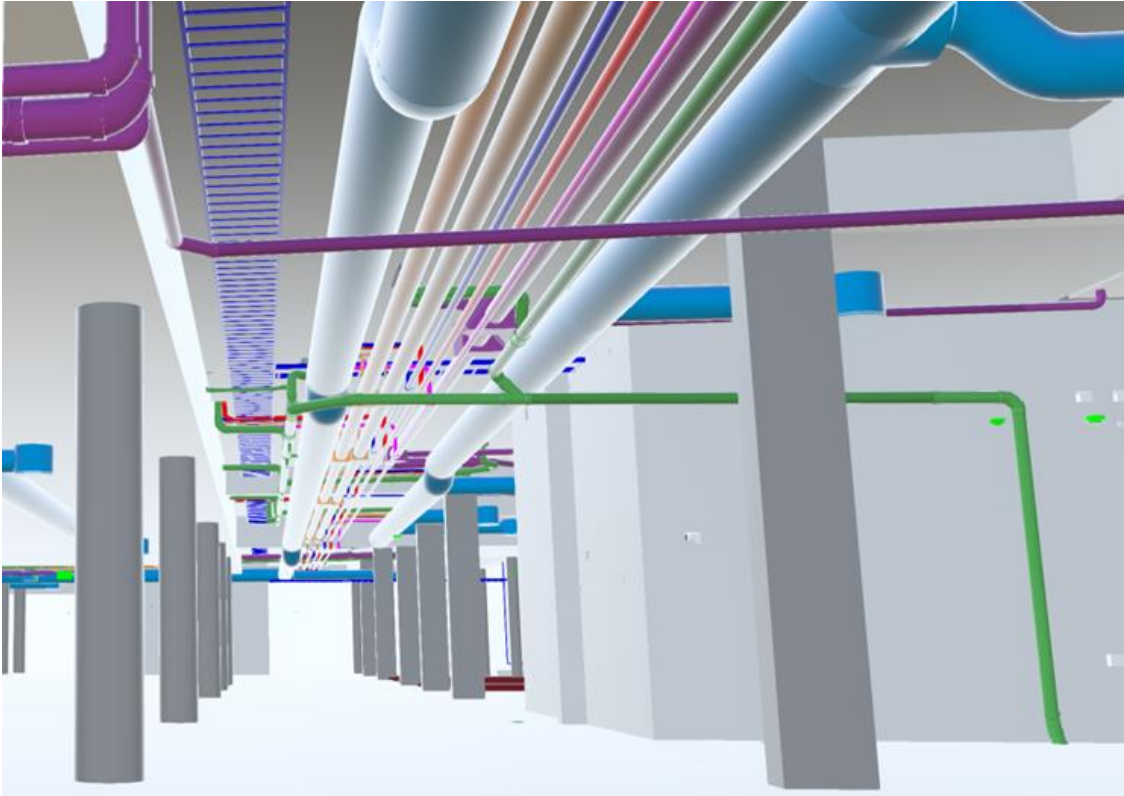
Bilde 2.4 Skjerm bilde tatt i Imerso. Toleranse stilles inn og markeres med rødt.



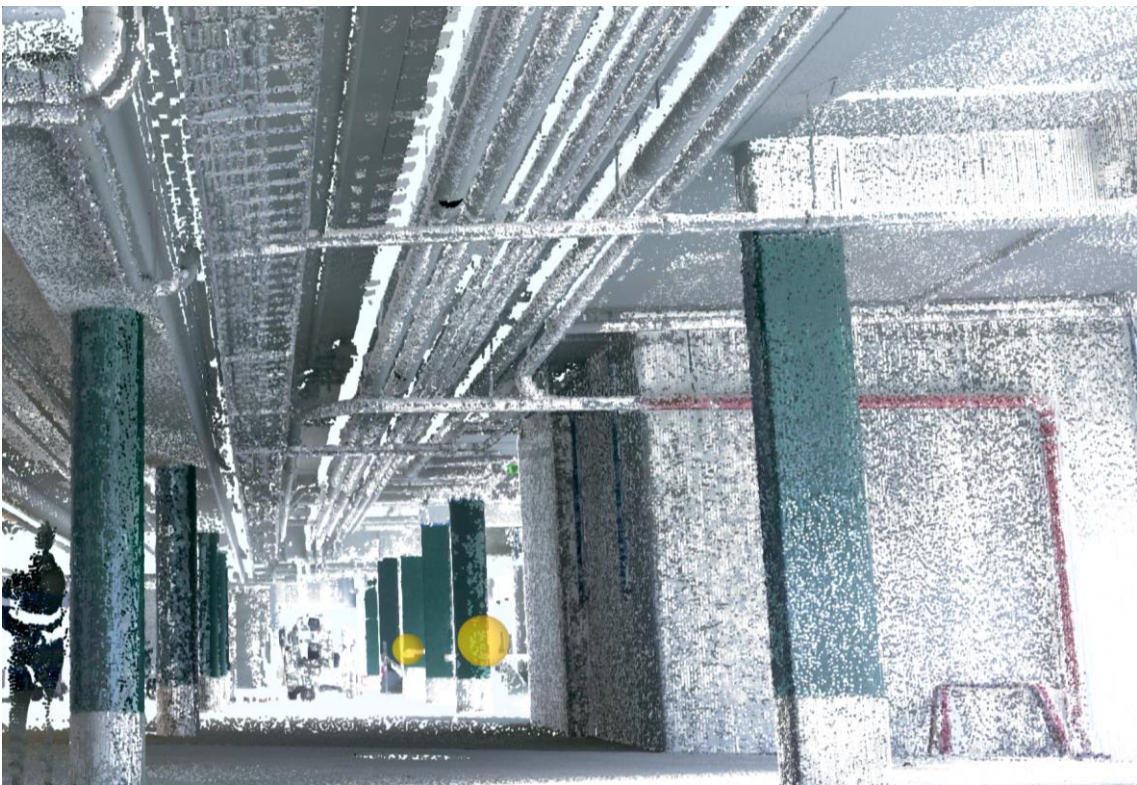
*Bilde 2.5 Kamerabilde tatt fra samme posisjon.*



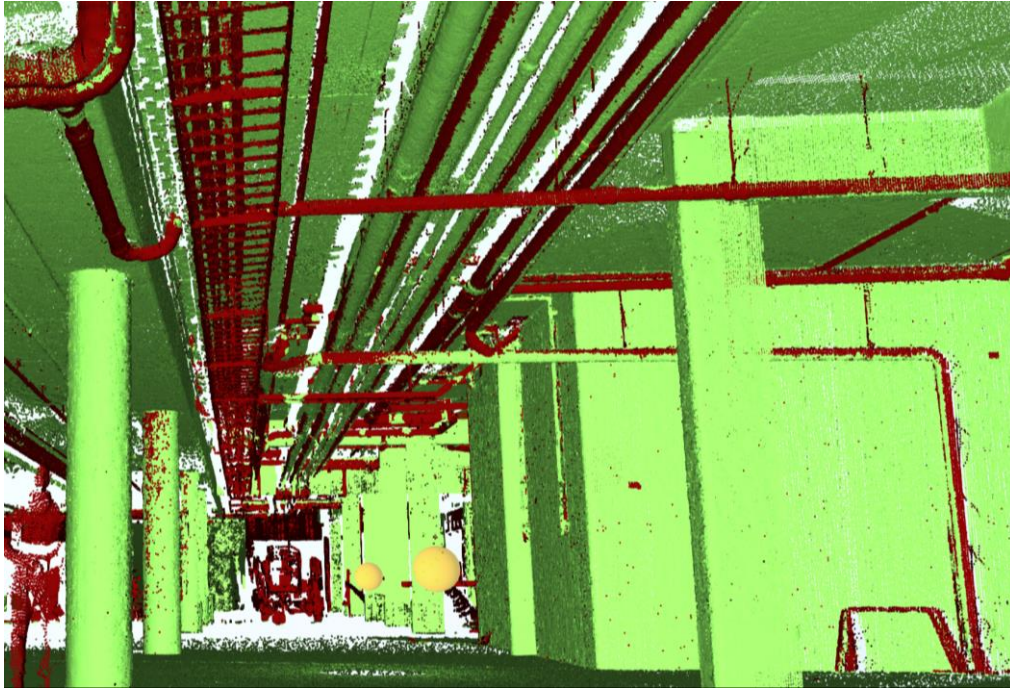
*Bilde 2.6 Bygget areal i virkeligheten.*



*Bilde 2.7 BIM 3D-modell fra samme område. Tatt i Imerso.*



*Bilde 2.8 3D-skanning/punktsky fra samme område. Tatt i Imerso.*



*Bilde 2.9 Punktsky sammenlignet med 3D-modellen i samme område. Rødt viser avvik. Tatt i Imerso.*

Imerso er en plattform som kan brukes til å dokumentere hvordan bygget ble utført, ved å lage as-built dokumentasjon (Imerso, 2020). Programvaren samordner mange lokale punktskyer til en sammenhengende punktsky som representerer hvordan bygget har blitt bygget. Den sammenhengende punktskyen kan brukes som as-built dokumentasjon.

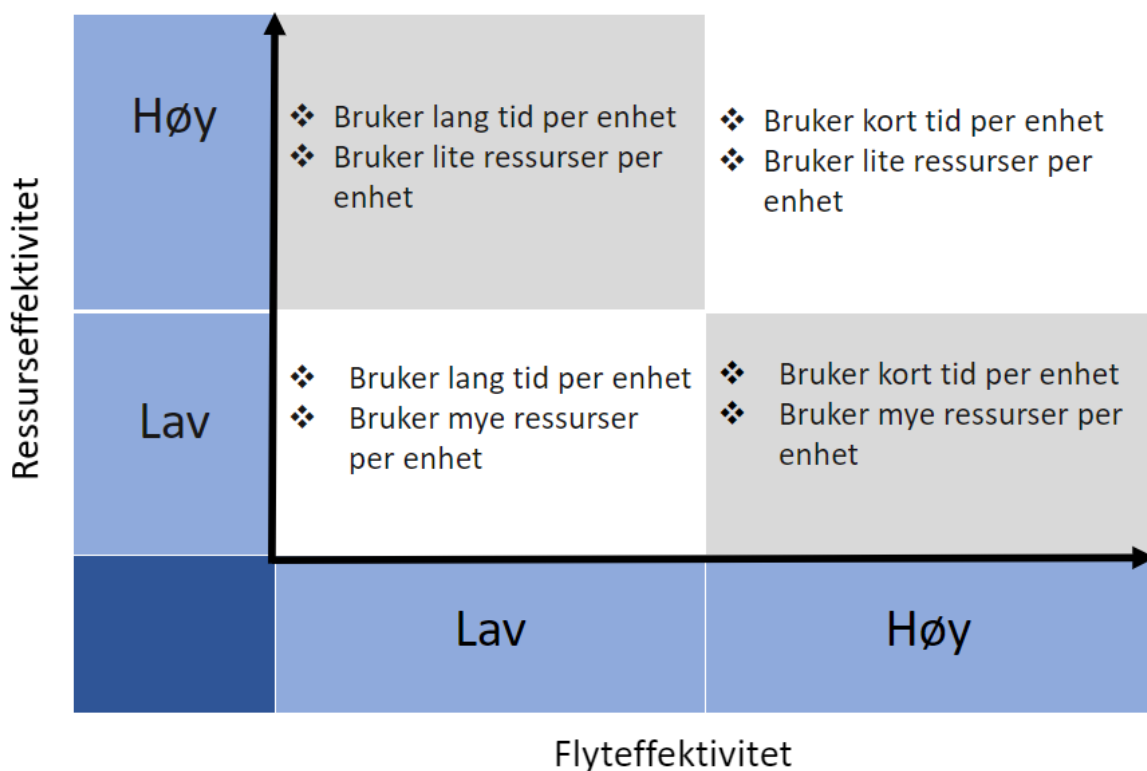
### 2.5 Flyt og ressurseffektivitet

I næringslivet må man utnytte tilgjengelige ressurser mest mulig effektivt. Ressurseffektivitet handler om utnyttelse av ressurser i størst mulig grad (Hoxmark, 2014). Når man har god ressurseffektivitet betyr dette at de tilgjengelige ressursene skaper verdi i mye større grad enn om man har lav ressurseffektivitet. De tilgjengelige ressursene har høy utnyttelsesgrad, og blir sjelden stående uten å produsere verdi.

Med flyteffektivitet menes hvor lang tid det tar for organisasjonen å behandle en enhet (Hoxmark, 2014). Når man har god flyteffektivitet betyr dette at bedriften alltid kan skape verdi, men verdiene blir skapt av ressursene. I tilfellet hvor bedriften har god flyteffektivitet må det være nok ressurser tilgjengelig for å skape verdier. Ved å etterstrebe høy flyteffektivitet er det fare for at ressurser blir stående å vente på tur. Enhetene må behandles til enhver tid og ressursene kan bli stående i kø for å behandle en enhet raskest mulig. Når ressursene blir stående uten å skape verdi viser det lav utnyttelse av ressursene.

Lav utnyttelse av ressursene medfører lav ressurseffektivitet. Ved høy flyteffektivitet behandles enheter raskt, men det kan medføre lav ressurseffektiviteten.

Det er naturlig å etterstrebe høy flyt og ressurseffektivitet, men i praktisk er det vanskelig å oppnå begge deler. Det er ofte nødvendig å finne en ideell avveining mellom ressurseffektivitet og flyteffektivitet. Hvis bedriftens fokus og prioritet er å skape verdi raskt, kan det medføre lavere ressurseffektivitet. Dersom ressursene er veldig billige å benytte, mens verdiene som skapes er veldig verdifulle, er det naturlig å gå for en modell hvor man har høy flyteffektivitet med påfølgende lavere ressurseffektivitet. Er bedriftens fokus å utnytte ressursene maksimalt, kan det gå på bekostning av hastigheten verdien blir skapt. Hvis ressursene er veldig dyre i forhold til verdiene som blir skapt, kan man gå for en modell med effektiv bruk av ressurser over lengre tid, som medfører høyere ressurseffektivitet, men lavere flyteffektivitet. En bedrift som produserer verdi, må ofte gjøre en avveining mellom ressurs og flyteffektivitet (Hoxmark, 2014). Figur 2.9 viser denne sammenhengen:



Figur 2.9 Sammenhengen mellom flyt og ressurseffektivitet.

### 2.5.1 Administrative ressurser og kostnader

Vi skiller mellom verdiskapende tid og ikke-verdiskapende tid. Verdiskapende tid er det motsatte av ikke-verdiskapende tid. Verdiskapende tid er all den tid hvor ressurser blir brukt

til å påføre verdi til produktet eller tjenesten. Dette kan ses på som tid som blir brukt på at prosjektet går fremover etter fremdriftsplan. Ikke-verdiskapende tid er når man bruker tid på noe som ikke påfører verdi til produktet eller tjenesten (Jordheim, 2012, s. 60). Ikke-verdiskapende tid kan være kvalitetssikring eller avvikshåndtering. Til tross for at tiden ikke er verdiskapende er det fortsatt nødvendig for at prosjektet skal henge med på fremdriftsplanen.

Administrasjonskostnader defineres som en bedrifts kostnader relatert til å dokumentere, finne frem til, lagre, rapportere eller gjøre tilgjengelig alle former for informasjon henhold til krav ifra offentlige regler (Rambøll, 2004a). «*Administrasjonskostnader er alle kostnader man ikke kan henføre direkte til en annen aktivitet. Et annet «beskrivende» navn kan være «driftskostnader».*» (Innsamlingskontrollen i Norge, 2022)

TE er ansvarlig for ledelse og organisering på byggeplass, som medfører administrative kostnader. Administrasjonskostnader produserer ikke verdi direkte, men er en nødvendig kostnadspost for at virksomheten skal gå rundt. Totalentrepriser skal ivareta en stor del av den overordnede ledelse og organisering på byggeprosjektet (Eikeland, 2001, s. 57). Derfor utgjør en stor del av en totalentreprenørs ressurser administrative oppgaver, som medfører administrative kostnader.

### 3. Metode

Metode er et redskap som brukes til å få frem ny kunnskap, samt etterprøve om påstander er gyldige, holdbare eller sanne. Grunnlaget for hvilken metode som blir valgt baseres på hvilken metode som på best mulig måte klarer å besvare problemstillingen. (Dalland, 2017, s. 51).

#### 3.1 Kvalitativ metode

Kvalitativ metode skal fange opp opplevelser og meninger som ikke er mulige å måle eller tallfeste. Metoden skal få frem det spesielle og det som er avvikende. Dataen skal gjenspeile sammenhenger og helheter. Dataen samles i direkte kontakt med feltet. Intervjuene er fleksible med ustrukturerte observasjoner og uten faste svaralternativer. Det samles en stor andel opplysninger på få undersøkelsesenheter. Forskeren er en deltager som ser fenomenet innenfra og erkjenner påvirkning og delaktighet (Dalland, 2017, s. 51).

#### **Intervju**

Intervjustrukturen baseres på rollefordeling blant deltakerne. Intervjueren stiller spørsmål som informanten svarer på. Ifølge Kvale og Brinkmann (2009) vil det kvalitative forskningsintervjuet bli karakterisert med formål og struktur når vi studerer holdninger, meninger og erfaringer. Informantenes erfaringer og oppfatninger fremgår best når informanten får frihet i svaralternativene sine (Kvale et al., 2009). Gjennom et intervju får informantene større frihet til å uttrykke seg enn hva en strukturert spørreundersøkelse tillater (Johannessen et al., 2016, s. 145).

Intervju kan deles opp i strukturert, ustrukturert og semistrukturert form.

I et strukturert intervju er spørsmålene fastsatt, uten rom for oppfølgingsspørsmål. Svaralternativene er smale, uten rom for tanker og refleksjoner. Siden intervjuguiden må følges, er det personlige forholdet mellom forsker og informant ikke avgjørende for innsamlede data. Forskeren vet akkurat hvilke svar forskeren får (Johannessen et al., 2016, s. 148).

Ustrukturerte intervjuer er uformelle, og det kan stilles oppfølgingsspørsmål rundt tema. Svaralternativene begrenses ikke av intervjuguiden. Informanten står fritt til å svare det de ønsker å fortelle. Det er mye rom for refleksjoner, tanker og egne meninger i et ustrukturert intervju. I et ustrukturert intervju kan forholdet mellom forsker og informant ha stor



betydning for innsamlede data. Forskeren vet ikke hvilke svar man ønsker eller kommer til å få (Johannessen et al., 2016, s. 148).

Et semistrukturert intervju er en avveining mellom strukturert og ustrukturert intervju. Semistrukturert intervju følger en intervjuguide, og det er fleksibilitet til å stille oppfølgings spørsmål under intervjuet. Informanten har fleksibilitet til å svare bredere og kunne snakke utover og rundt spørsmålene som blir stilt. Samtidig er relasjon mellom forsker og informant mindre avgjørende for utfall av data enn ved ustrukturert intervju, men mer avgjørende enn ved strukturert intervju. Det er rom for oppfølgings spørsmål og oppfølgings svar, man kan få andre nyttige svar utover det forskeren hadde regnet med (Johannessen et al., 2016, s. 148).

### 3.2 Kvantitativ metode

I kvantitativ metode gjøres det observasjoner og undersøkelser av fenomenet eller hendelsen man studerer. Dataene man samler inn er målbare, og kan tallfestes. En forutsetning for denne metoden er at den som utfører undersøkelser ikke påvirker datakilden. Denne metoden gir mulighet for et bredere datautvalg. Man får mindre antall opplysninger fra mange forskjellige datakilder. Metoden er systematisk, med fastsatte spørsmål og svaralternativer (Dalland, 2017, s. 51).

#### **Spørreundersøkelse**

Spørreundersøkelse gir forskeren mulighet til å samle inn data via standardiserte spørsmål med fastsatte svaralternativer. Man kan samle et begrenset datautvalg fra mange respondenter på kort tid. Ved en spørreundersøkelse har respondenten mulighet til å ta seg tid til å svare, uten påvirkning fra forskeren. Dette kan gi et mer korrekt svar fra respondentens side, men dersom svaralternativene ikke dekker respondentens svar, kan man få feil opplysninger. Dersom respondenten er usikker eller ikke vet korrekt svar, bør respondenten ha mulighet til å unnlate å svare, eller svare «vet ikke». Dette for å eliminere feil data (Johannessen et al., 2016, s. 261).

### 3.3 Kvantitative og kvalitative karaktertrekk

Kvantitativ og kvalitativ metode har forskjellige kjennetegn. Noen kjennetegn og motsetninger av karaktertrekkene beskrives i tabell 3.1.

Tabell 3.1 Kjennetegn til kvantitativ og kvalitativ metode (Dalland, 2017, s. 53).

Kvantitativt orientert	Kvalitativt orientert
<b>Presisjon</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Få frem mest mulig eksakt avspeiling av den kvalitative variasjonen.</li></ul>	<b>Følsomhet</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Få frem best mulig gjengivelse av den kvalitative variasjonen.</li></ul>
<b>Bredde</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Gå i bredden.</li><li>- Innhente et lite antall opplysninger om mange undersøkelsesenheter.</li></ul>	<b>Dybde</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Gå i dybde.</li><li>- Mange opplysninger om få undersøkelses enheter.</li></ul>
<b>Det gjennomsnittlige</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Få frem det som er felles, det representative.</li></ul>	<b>Det særegne</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Få frem det som er spesielt, eventuelt avvikende.</li></ul>
<b>Deler</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Data som samles inn, er knyttet til atskilte fenomener.</li></ul>	<b>Helhet</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Data som samles inn, tar sikte på å få frem sammenheng og helhet.</li></ul>
<b>Forklaring</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Fremstillingen tar sikte på å formidle forklaringer.</li></ul>	<b>Forståelse</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Fremstilling tar sikte på å formidle forståelse.</li></ul>

### 3.4 Blandet metode

Når observasjonene består av både målbare og tallfestede data, og ikke-målbare tallfestede data så brukes en kombinasjon av kvalitativ og kvantitativ metode. Kombinasjon og kvalitet og kvantitet kvantitativ metode medfører at manglene i den ene metoden utfylles av den andre metoden.

### 3.5 Metodevalg

#### Hva er nødvendig for å svare på problemstillingen

Hva gjør at 3D-laserskanning er fordelaktig ovenfor manuell målemetode? Det var mange aspekter på et byggeprosjekt som påvirket hva som var fordelaktig. Økonomi og fremdrift var målbare aspekter som kunne tallfestes. Samtidig fantes det aspekter som kvalitet og læring som ikke kunne beskrives med tall. For å redegjøre hva som anses fordelaktig måtte vi se sammenhenger mellom aspektene for å deretter se helheten.

Det var nødvendig at slutningene fra rapporten beskrev det som var felles for byggeprosjekter. For å finne ut hva som kjennetegner byggeprosjekter som bruker 3D-laserskanning fordelaktig, var det nødvendig at metoden ga et resultat som var felles representativt. Resultatene måtte være generaliserbare for flere byggeprosjekter, ikke bare i ett eller to tilfeller.

### **Fordeler og ulemper ved kvalitativ og kvantitativ metode**

Både kvalitativ og kvantitativ metode hadde fordeler og ulemper. Dette måtte vi ta høyde for når vi valgte hvilken metode som best svarte vår problemstilling. Det var tydelig at begge metodene hadde aspekter vi så nødvendig til å svare på problemstillingen.

Det var en fordel at kvalitativ metode ga et resultat som viser helheter og sammenhenger. Samt at kvalitativ metode gikk i dybden og fanget opp data som ikke kunne tallfestes. Ulempene var at metoden fikk frem det spesielle, men ikke det som var felles for flere byggeprosjekter. Derfor ga ikke kvalitativ metode alene svar på vår problemstilling.

Kvantitativ metode hadde fordeler og ulemper knyttet til å svare på vår problemstilling. Fordelene ved kvantitativ metode var at metoden fikk frem det som er felles, det representative, samt ga tallfestende og målbare resultater. Ulempen var at metoden ikke viste sammenhenger og helheter. Metoden kunne ikke gi et resultat som beskrev aspekter som kvalitet og læring. Kvantitativ metode alene ga ikke svar på problemstillingen vår.

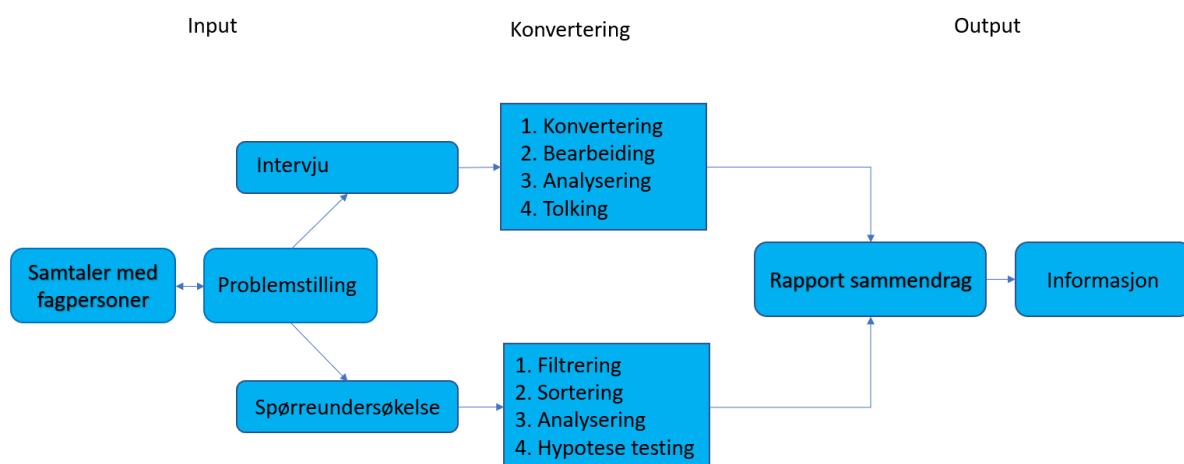
### **Valg av metode og begrunning**

I denne rapporten valgte vi blandet kvalitativt og kvantitativ metode for å svare på problemstillingen. Vi valgte den metoden vi anså til å være den optimale fremgangsmåten som var gjennomførbare i praksis. Metoden vi valgte tok hensyn til hva som er tidsmessig realistisk samt hva vi som forskere behersket. For å angripe problemstillingen med ideell fremgangsmåte så vi det nødvendig å benytte blandet kvantitativ og kvalitativ metode.

Blandet metode ble brukt for å eliminere svakheter de enkelte metodene hadde alene. Metoden ga oss mulighet til å se det som var felles, samt helheter og sammenhenger. Enkelte aspekter ved problemstillingen var målbare og kunne tallfestes. Samtidig fantes det andre aspekter som ikke kunne måles og redegjøres ved tallfestede enheter. Vi så det nødvendig å beskrive aspekter som fremdrift og økonomi med målbare og tallfestede enheter. Aspekter som læring og kvalitet kunne ikke tallfestes, samtidig ville det påvirket prosjektet som en helhet. Derfor valgte vi blandet kvantitativ og kvalitativ metode.

### 3.5.1 Prosedyre for gjennomføring

Prosedyren for gjennomføring av prosjektet ble gjort i planlagt rekkefølge som vist i figur 3.1. Vi startet med å lage en problemstilling. Deretter datasamling relatert til problemstillingen, etterfulgt av databehandling og rapportering av resultatene. Datasamling foregikk gjennom kvalitative semistrukturerte intervjuer og kvantitative spørreundersøkelser. Databehandling av kvalitative intervjuer ble gjort gjennom bearbeiding og tolking av informanternes svar på intervjuguiden. Behandling av data fra kvantitativ spørreundersøkelse ble gjort gjennom opptelling og statistiske teknikker. Vi samlet dataen, behandlet dataen og til slutt rapporterte dataen.



Figur 3.1 Prosedyre for gjennomføring.

### 3.5.2 Informanter

For oss var det aktuelt å intervjuer fagfolk i total-entreprenørbransjen med 3D-laserskanning bakgrunn. Fagfolk ser problemene fra sitt praksisfelt og er derfor primærkilder på sine områder (Dalland, 2017, s. 75). For å få data som svarte på problemstillingen, trengte vi informanter som kunne fortelle om effekten 3D-laserskanning hadde på byggeprosjekter hos totalentreprenører. Derfor intervjuet vi fagfolk i total-entreprenørbransjen med 3D-laserskanning erfaring.

For å begrense tid til datainnsamling og databehandling, hadde vi et utvalg på to informanter som er vist i tabell 3.2. Med et mindre antall informanter fikk vi tid til å gå i dybden på problemstillingen og bruke mer tid på spørreundersøkelsen. Begge informantene hadde samme relevant erfaring og mottok samme spørsmål. Dette gjorde det mulig å sammenligne svarene og se etter felles meninger.

Tabell 3.2 Informanter

Navn	Firma	Stilling
Christopher Carlsen	Betonmast Buskerud-Vestfold AS	Innovasjonssjef
Matilde R. Belsvik	Betonmast Oslo AS	Prosjekteringsleder

### 3.5.3 Respondenter

Utvalget i spørreundersøkelsen ble basert på strategisk utvalg gjennom snøballutvelging. Strategisk utvalg er å skille ut enheter fra teoretiske og analytiske formål som er mest interessante og relevante å inkludere i studiet. Snøballutvelging er når den første respondenten som velges, blir bedt om å foreslå andre respondenter som også kan inkluderes som datakilder. De foreslåtte respondentene vil igjen foreslå flere aktører (Grønmo, 2021).

Respondenter i spørreundersøkelsen måtte oppfylle noen kriterier for å kunne bidra med relevant data. Respondentene måtte være fagpersoner som jobber hos totalentreprise med spesifikt byggeprosjekterfaring. De måtte ha spesifikke erfaringer som å jobbe eller jobbet på et prosjekt som brukte 3D-laserskanning. Samtidig måtte respondenten ha god oversikt over prosjektets økonomi og fremdrift. Hvis respondenten ikke traff disse kriteriene, kunne ikke respondenten bidra med data fordi det krever innsikt og erfaring for å kunne gi riktige og relevante data. Respondentene er vist i tabell 3.3.

Tabell 3.3 Spørreundersøkelse respondenter

Firma	Stilling	Kjennskap til økonomi	Kjennskap til fremdrift
Betonmast	Anleggsleder	Godt kjent	Godt kjent
Betonmast	Innovasjonssjef	Ikke kjent	Godt kjent
Betonmast	Prosjekteringsleder	Godt kjent	Godt kjent
Betonmast	Prosjekteringsleder	Godt kjent	Godt kjent
Betonmast	Prosjekteringsleder	Godt kjent	Godt kjent
Betonmast	Prosjektleder	Godt kjent	Godt kjent
Betonmast	Prosjektleder	Godt kjent	Godt kjent
Betonmast	Prosjektleder	Godt kjent	Godt kjent
Betonmast	Prosjektleder	Godt kjent	Godt kjent
Betonmast	Prosjektsjef	Godt kjent	Godt kjent
Betonmast	Prosjektsjef	Litt kjent	Litt kjent

#### 3.5.4 Datasamling

I forskning samles data inn for å representere det man undersøker. Innsamlet data er dokumentasjon av den realiteten eller tilstanden til det man observerer befinner seg i. Valgt metode for datainnsamling må samsvare med utvalgets størrelse, strategi og hvordan man får tak i informanter (Johannessen et al., 2016, s. 29).

##### **Intervju prosedyre**

Gjennom semistrukturert intervju fikk informanten frihet til svaralternativer og vi sikret at passende data ble samlet inn. Forskeren fikk fleksibilitet til å tilpasse spørsmålene etter situasjonen. Det var mulighet til å tilpasse spørsmålene etter de forskjellige respondentene med varierende grad av erfaring og kunnskap om 3D-skanning.

Vi benyttet en intervjuguide til gjennomføring av de kvalitative semistrukturerte intervjuene. Intervjuet ble gjennomført i fire faser: introduksjon, bakgrunnsspørsmål, nøkkelspørsmål og oppsummering. Intervjuet ble tatt opp via UiOs diktafonapp. Intervjuguiden er vedlagt for å bedre reliabiliteten og gi mulighet til å vurdere validiteten av datasamlingen (Vedlegg A).

Intervjuguiden startet med å presentere oss selv, prosjektet vi gjennomfører og konsekvensen med å være deltager som informant. Deretter stilte vi bakgrunnsspørsmål til informantene for å indentifisere informantens erfaring og relevans til oppgaven. Hoveddelen av intervjuguiden besto av nøkkelspørsmål, som hadde delspørsmål og sjekklister for å sikre at ingen temaer ble oversett. Nøkkelspørsmål er åpne spørsmål som knyttes til problemstillingen. Delspørsmål dekker forskjellige aspekter knyttet til nøkkelspørsmålet. Sjekklisten er begreper relatert til delspørsmålene vi ønsket informanten skulle resonere litt rundt. Intervjuet ble avsluttet med en oppsummering av svarene i samtalen.

##### **Spørreundersøkelse prosedyre**

Vi gjennomførte en kvantitativ spørreundersøkelse for å samle objektiv og pålitelig data.

Spørreundersøkelse ble basert på standardisering gjennom faste spørsmål og svaralternativer. Vi brukte UiOs nettskjema for å gjennomføre spørreundersøkelsen.

Gjennom spørreundersøkelsen kunne vi se likheter og variasjoner i svarene til respondentene.

Spørreundersøkelsens oppbygning ble utarbeidet for å svare på problemstillingen og indentifisere validiteten blant respondentene. Undersøkelsen besto av bakgrunnsspørsmål,

prosjektidentifikasjonsspørsmål og hovedspørsmål. Spørreundersøkelsen er vedlagt for å bedre reliabiliteten og gi mulighet til vurdering av validiteten til datasamlingen (Vedlegg B).

Vi startet undersøkelsen med bakgrunnsspørsmål om respondenten. Dette er for å filtrere ut de svarene som kunne gi mindre presise resultater. Deretter stilte vi prosjektidentifikasjons spørsmål for å gi mulighet til å sortere prosjektene etter størrelse og kompleksitet.

Hovedspørsmålene i spørreundersøkelsen ble besvart med intervaller som svaralternativer. Intervallene ble valgt basert på at en i gruppen hadde erfaring fra totalentreprenørbransjen, samt fra samtaler med ekstern veileder. Gjennomsnittet av intervallene ble brukt til databehandling. Svarene ble basert på erfaringsbaserte approksimasjoner gjort av fagpersoner. Spørreundersøkelsen ga mulighet til filtrering og sortering av populasjonen for å samle kvantitativ data.

### 3.5.5 Databehandling

*«Enten analysen er kvalitativ eller kvantitativ, består en vesentlig del av*

*samfunnsforskningen av å tolke data»* (Johannessen et al., 2016, s. 29). Innsamlet data ble tolket og analysert. Det ble samlet inn data i både kvalitativ og kvantitativ form. Den kvalitative dataen var tekst og transkribering fra intervjuer, mens for den kvantitative dataen besto den av bestemte svar, samt opptelling av svarene fra spørreundersøkelse.

#### **Databehandling intervjuer**

For databehandling av kvalitativ data var konvertering, bearbeiding, analysering og tolkning viktige elementer for utfallet av konklusjonen. Vi konverterte lydopptakene til et skriftlig format, deretter bearbeidet vi transkriberingen ved å filtrere ut det som ikke var relevant til problemstillingen. Analysering ble gjort for å se likheter mellom de forskjellige informantene. Til slutt tolket vi dataen opp imot utarbeidet teori, og trakk en konklusjon i henhold til problemstillingen.

#### **Databehandling spørreundersøkelse**

Dataen fra spørreundersøkelsen ble filtrert, sortert, analysert og testet opp mot hypotesen og problemstillingen. Vi filtrerte bort svar der respondenten ikke var kjent med prosjektets fremdrift eller økonomi. Utvalget ble sortert i forskjellige grupper basert på type prosjekt og antall bærekonstruksjonsmaterialer. Analysen så etter likheter og sammenhenger gjennom deskriptive statistiske teknikker etterfulgt av slutningsstatistikk. Deskriptive statistiske teknikker beskriver resultatene fra utvalget og trenger ikke å representere hele

populasjonen (Brown Breslin et al., 2020, s. 2). Slutningsstatistikken beskriver resultatene knyttet til hele populasjonen (Johannessen et al., 2016, s. 30). Databehandlingen ble gjort for å teste resultatene opp mot hypotesen, og så trekke en konklusjon i henhold til problemstillingen.

Deskriptive statistiske teknikker vi brukte er gjennomsnitt, varians og standardavvik for å se normalfordelingen. Samtidig regnes korrelasjonen og regresjonsanalyse av utvalget der vi ser sterk korrelasjon. *«I og med at analysene da baserer seg på utvalg, vil det være usikkerhet knyttet til resultatene, og usikkerheten kan beregnes ved hjelp av forskjellig slutningsstatistikk»* (Johannessen et al., 2016, s. 30). Det blir gjort slutningsstatistikk av regresjonsanalysen for å avgjøre hvilken grad resultatene er pålitelige for hele populasjonen.

### 3.6 Metodekritikk

Metodekritikk er en prosedyre for å vurdere om de metodene vi har valgt, vil gi oss tilstrekkelig konklusjon, og om det er alternative metoder som kunne gitt os bedre konklusjon, og hva som er svakheter med vår konklusjon. Vi anser begrepene validitet, reliabilitet, objektivitet og generaliserbarhet til å være de viktigste aspektene knyttet til vår oppgave.

#### 3.6.1 Validitet

Begrepet validitet er viktig for å avgjøre om resultatene måler det man har satt seg mål om å undersøke. Validitet eller gyldighet forteller oss i hvor stor grad vi kan trekke gyldige slutninger fra resultatet. Begrepsvaliditet brukes for å vurdere hvor mye en indikator faktisk måler det forskeren prøver å måle. (Dahlum, 2021). Ved å vurdere metodens validitet kan vi avgjøre om metoden ga gyldige slutninger fra resultater.

#### **Validitet for kvalitativ del**

Gyldigheten av de kvalitative delene er i stor grad avhengige av informantenes erfaringer med 3D-laserskanner. Erfaringene deres vil være grunnlaget for om svarene deres var riktige eller ikke, med mindre de hadde intensjon om å påvirke resultatene subjektivt. Begge informantene hadde brukt laserskanning daglig over lengere tid. En informant hadde jobbet med laserskanning i nesten ett år mens den andre hadde halvannet år med 3D-laserskannererfaring. Informantene hadde god erfaring på bakgrunn av at det fortsatt er en relativt ny teknologi, men om et par år vil ikke dette betraktes som mye erfaring. Ved å intervjuet to



fagfolk ga det oss muligheten til å sammenligne deres meninger og se etter felles erfaringer. Ved at to informanter ga like erfaringer, anså vi resultatene til å være mer gyldige.

### **Validitet for kvantitativ del**

Svarene i hoveddelen på spørreundersøkelsen besto av erfaringsbaserte approksimasjoner gjort av fagpersoner. Det er fordi et tilnærmet nøyaktig svar var svært krevende for respondenten å legge frem, grunnet kompleksiteten et byggeprosjekt medbrakte. Ved å endre fra eksakte svar til approksimasjoner, senket vi vanskelighetsgraden på spørreundersøkelsen betraktelig. Vi hadde også «vet ikke» som svaralternativ for å hindre svar uten grunnlag.

Spørreundersøkelsen samlet data på begrepene fremdrift og kostnadsbesparelse. Gjennom sund fornuft - *face validity* (Johannessen et al., 2016, s. 66), anså vi kostnadsbesparelse og fremdrift til å være de største og viktigste indikatorene på hva som var fordelaktig for en total-entreprise. Vi så kostnadsbesparelse og fremdriftsbeparelse til å ha middels-høy begrepsvaliditet. Økonomi og fremdrift på byggeprosjekter var bare to indikatorer som bare er en del av en kompleks helhet. Disse to indikatorene var ufullstendige indikatorer på hva som gjør 3D-laserskanner fordelaktig.

Spørreundersøkelsen hadde noen verifiseringsspørsmål. Vi stilte spørsmål om respondentene var «godt kjent», «litt kjent» og «ikke kjent» til prosjektenes fremdrift og økonomi. Dersom respondenten svarte «ikke kjent» vekket det oppmerksomhet relatert til validiteten til svarene fra respondenten. I de tilfellene en respondent svarte «ikke kjent» tok vi ikke med deres svar til statistiske beregninger og vi økte gyldigheten relatert til resultatet.

Utvalget besto av fire prosjektledere, tre prosjekteringsledere, to prosjektsjefer, en anleggsleder og en innovasjonssjef. Prosjektleder, prosjektsjefer og anleggsledere kunne anses til å ha veldig god oversikt over deres prosjekts fremdrift og økonomi.

Innovasjonssjefer og prosjekteringsledere har kanskje litt mindre oversikt på et prosjekt fordi de kanskje ikke er like involvert i produksjonen. De fleste respondentene svarte de var «godt kjent» med prosjektenes økonomi og fremdrift. Vi anså respondentene til å være godt kvalifiserte til å ta en erfaringsbasert approksimasjon.

Selv om vi prøvde å avgrense utvalget til folk med kompetanse og erfaring, kunne deres svar avvike fra virkeligheten. Hvis dataen avviket fra virkeligheten, kunne dette medføre falske positive eller negative svar. Dersom begrepsvaliditeten er lav eller approksimasjonene ikke

er tilnærmet virkeligheten, kunne dataen avvike fra virkeligheten. Dette kan formuleres ved bruk av en 2x2 *forvriddningsmatrise* med to dimensjoner *faktisk og spådd tilstand* (Fawcett, 2006, s. 862). Falske negativ eller positive svar forekommer dersom dataen avviker fra virkeligheten slik illustrert i figur 3.2.

		3D-laserskanner er fordelaktig i virkeligheten	
		Positiv	Negativ
3D-laserskanner er fordelaktig ifølge data	Positiv	Sann positiv	Falsk positiv
	Negativ	Falsk negativ	Sann negativ

Figur 3.2 Forvriddningsmatrise

### Validitet for teoridel

Kildene vi benyttet i teoridelen besto i stor grad av standarder, rapporter og byggdetaljblad. Samtidig besto deler av kildene av bloggartikler, brukerveiledninger og markedsføringsnettsider. Vi anså standarder, rapporter og byggdetaljblad til å ha høy validitet på bakgrunn av institusjoners eller forfatterens økonomiske interesser knyttet til temaet. Samtidig anså vi blogg og markedsføringsnettsider som mindre gyldige på bakgrunn at de som publiserer innholdet har økonomiske interesser til temaet. Vi benyttet markedsføringsnettsidene og bloggartiklene til å bringe klarhet og kontekst for leseren og ikke til å trekke konklusjoner. Disse kildene var gyldige i noen grad, men sto nødvendigvis ikke til en vitenskapelig standard. Teoridelen besto av mange kilder som sto til en vitenskapelig standard, samtidig var det kilder som ikke tilfredstilte vitenskapelige metode. Prosjektgruppen hadde tilgang på måleverktøyet og programvaren og vi fikk sett på et prosjekt under bygging. Noen av bildene i teorien er tatt fra egne observasjoner under bruk av programvaren Imerso og 3D-laserskanneren Leica BLK 360. Bildene blir brukt for å gi forståelse om temaet til leseren. Vi ser disse bildene til å være eksakte representasjoner av programvaren og laserskanneren.

### 3.6.2 Reliabilitet

Reliabilitet er graden av korrelasjon eller samsvar mellom testen og gjentatt testing under samme betingelser. Sannsynligheten for at undersøkelsen observerer samme forskjeller eller sammenhenger, dersom undersøkelsen gjøres på nytt med annet utvalg fra samme populasjon (Svartdal, 2020).

#### **Reliabilitet kvalitative intervjuer**

Til tross for at intervjuguiden er vedlagt, kan intervjuet gi forskjellige resultater ved gjentatt testing. Det er fordi intervjueren og informantens personlige forskjeller vil påvirke resultatet fra datasamlingen. Intervjuguiden består av delvis åpne spørsmål som gir forskeren og deltageren stor innflytelse på resultatet. Derfor får man ikke samme resultater ved gjentatt testing.

Ved kvalitative semistrukturerte intervju kunne forskeren i stor grad påvirke utfallet av de data man samlet inn (Johannessen et al., 2016, s. 158). Det er rom for spørsmål rundt spørsmålene, og nye spørsmål dukker opp etter hvert som intervjuet forløper. Personlige forskjeller var derfor utslagsgivende på datasamlingen. Forskerens forståelse og oppfatning av problemstillingen kan også påvirke datasamlingsprosessen. Derfor vil forskjellige forskere få varierende resultater.

Resultatet vil variere avhengig av hvilken informant som deltar. Informantene vil ha varierende grad av erfaring, og oppfatning av hva som anses fordelaktig. Forskjellige deltagere kan ha opplevd forskjellige effekter på byggeprosjekter, og kan oppleve samme effekt på forskjellig måte. I våre resultater var de forskjellige informantene relativt enige på noen temaer. Til tross for det var de også uenige på andre temaer. Forskjellige informanter fra samme populasjon kan gi varierende resultater.

Informantene kan svare forskjellig på akkurat samme intervjuguide på bakgrunn av mer eller mindre erfaring med 3D-skanneren. Samme informant vil mest sannsynlig også endre oppfatning om 3D-laserskanner desto mer erfaring vedkommende får med utstyret. Dette kan føre til at man får forskjellige svar fra samme person, avhengig av når personen blir intervjuet.

#### **Reliabilitet kvantitativ spørreundersøkelse**

Ved gjentatte gjennomføringer av spørreundersøkelsen, vil ikke resultatene være helt like, men vil fortsatt kunne relateres. Det er fordi spørreundersøkelsen ikke kan testes under

samme betingelser. 3D-laserskanners programvare og erfaring rundt den er i stadig utvikling. Innen kort tid vil programvaren til 3D-laserskanneren være oppdatert eller endret. Samtidig vil erfaring med 3D-laserskanner øke. Dette vil bety at 3D-laserskanners effekt på byggprosjekter endres og spørreundersøkelsen vil få et annet resultat. Ved gjentatte gjennomføringer er det mulig man vil se samme trender og korrelasjoner som vi fant.

Vi ser fra resultatene av spørreundersøkelsen at det er et stort standardavvik relatert til svarene fra forskjellige prosjekter. Forskjellige prosjekter får svært forskjellige resultater som følge 3D-laserskanning. Dette kan også tyde på at samme undersøkelse vil gi forskjellige resultater ved gjentatte prøvninger.

Dersom spørreundersøkelsen blir gjort med forskjellig utvalg fra samme populasjon under samme tidsperiode, kan resultatene relateres i større grad. Når man tester under samme tid med forskjellig utvalg fra samme populasjon er det mulig å teste undersøkelsen under samme betingelser. Det er trolig at 3D-laserskanners gjennomsnittlige effekt på prosjekter kan relateres i større grad under samme tidsperiode.

### 3.6.3 Objektivitet

Objektivitet betyr å være saklig uten personlige innspill som preges av følelser. Virkeligheten eksisterer uavhengig av menneskelige forestillinger. Det objektive preges av fakta, ikke personlige innspill. Subjektivitet er det motsatte av objektivitet, og preges i stor grad av følelser (Objektiv, 2021).

#### **Objektivitet kvalitative intervjuer**

Gjennom kvalitative intervjuer kunne intervjueren påvirke resultatet subjektivt gjennom vinklingen av spørsmålene og oppfølgingsspørsmålene. Dette kunne påvirke hvordan spørsmålene formuleres, hvilke spørsmål som stilles og hvordan man uttrykker spørsmålene. Dette kunne påvirke informantens svar. Samtidig kunne informanten vært forutinntatt. Noen er kanskje ikke åpne til forandring og ønsker å beholde hverdagen slik den har vært. Da kunne informanten ha gitt falske negative svar. Informanten kunne også ha foretrukket 3D-laserskanner og gitt falskt positivt svar. Dette kan medføre at deltagere påvirket resultatet subjektivt.

Informantene jobbet aktivt med 3D-skanning og mente at det er fordelaktig å bruke den. De kunne ha vært partiske med sine svar ubevisst og overdrevet effekten som 3D-laserskanning har på et prosjekt. Det kan være at informantene likte teknologien og ikke ønsket å miste

tilgang på 3D-laserskanning. Spørsmålene vi stilte kunne også påvirke hvordan de svarte subjektivt. Likevel ble noen av deres svar bekreftet i spørreundersøkelse resultatene.

#### **Objektivitet kvantitativ spørreundersøkelse**

Ved spørreundersøkelsen kunne ikke forskeren påvirke resultatet i like stor grad, men respondentene kunne svart subjektivt. Spørreundersøkelsen reduserer usikkerhetsaspektet fra forskeren. Respondentene kunne svare med god tid uten å bli påvirket av forskeren. Til tross for det kunne respondentene svare partisk til begge målemetodene for kvalitetssikring. Spørreundersøkelsen ga høyere objektivitet enn intervju, fordi forskeren ikke kunne påvirke resultatet.

Måten spørsmålene og tilleggsinformasjonene ble skrevet kunne også påvirke resultatene. Det er mulig at forskeren påvirket svarene fra respondenter subjektivt gjennom valg av spørsmål og svaralternativer. Hvis svaralternativene ikke dekker respondentens svar, kan man få feil opplysninger. Spørsmål, svaralternativer og tilleggsinformasjon i spørreundersøkelsen ble utformet av forskerne, derfor er det en teoretisk mulighet for at forskeren påvirket respondentene subjektivt.

#### **3.6.4 Generaliserbarhet**

Generaliserbarhet er hvorvidt utvalget gjelder hele populasjonen. For at flest mulig skal få nytte av resultatene, må resultatene kunne generaliseres. Forutsetningene for å generalisere resultatene er et representativt utvalg (Dalland, 2017, s. 147).

#### **Generaliserbarhet kvalitative intervjuer**

Resultatene fra intervjuene var ikke generaliserbare. Vi ønsket å få et overordnet bilde av hvilke effekter 3D-laserskanning gir byggeprosjekter. Spørsmålene var derfor generelle, ikke spesifikke. Vi stilte samme generelle spørsmål til to fagpersoner med lik faglig bakgrunn. Vi identifiserte mange like omfateringer mellom informantene, men utvalget var for lite for å trekke allmenngyldige konklusjoner.

#### **Generaliserbarhet kvantitativ spørreundersøkelse**

Resultatene fra spørreundersøkelsen er til noen grad generaliserbart for boligbygg og næringsbygg med totalentreprise kontraktsform i en viss størrelse. Vi sendte samme spørreundersøkelse til mange sammenlignbare prosjekter, for å identifisere felles effekter fra 3D-laserskanning. Utvalget besto bare av prosjekter med kontraktsum fra 40MNOK til 400MNOK. Slutningene vil derfor ikke være generaliserbare for små prosjekter som

eksempel tomannsboliger, men kan være litt generaliserbare for byggeprosjekter med 40MNOK til 400MNOK i kontraktsum. Dersom utvalget hadde blitt stort nok ville resultatene fra spørreundersøkelsen blitt felles representativ for en begrenset type prosjekter. Et utvalg på elleve prosjekter er for lite for at slutningene blir generaliserbare til en stor grad.

Utvalget var bare en liten del av Betonmast sine pågående prosjekter. Betonmast har i dag 327 pågående prosjekter der 254 av prosjektene har totalentreprise kontraktsform (Betonmast, 2022). Vi fikk svar fra alle elleve prosjektene som har benyttet 3D-laserskanning hos Betonmast våren 2022. Utvalget representerte 4,33% av Betonmast sine prosjekter.

Hele populasjonene er alle pågående bolig- og næringsbygg med totalentreprise-kontraktsform. Det er mange totalentreprenører i Norge som bygger denne typen prosjekter og vi har ikke klart å identifisere eksakt antall prosjekter. Elleve prosjekter er en liten del av hele populasjonen.

Det ble gjort slutningsstatistikk som identifiserte usikkerheten av regresjonsanalysen på bakgrunn av variasjonsbredden. Dataanalysen forteller oss at dataen fra regresjonsanalysen er statistisksignifikant, som betyr at den er pålitelig og felles representativ for hele populasjonen. Men signifikans-F verdien er alt for høy til å trekke brukbare konfidensintervaller med over 95% sannsynlighet.

## 4. Resultater

### 4.1 Generelle forskjeller mellom målemetodene

Begge informantene er enige om at 3D laserskanner og manuell målemetode har fordeler og ulemper. Manuell måling måler bare et enkelt sted av gangen. 3D-Laserskanner måler mange punkter samtidig. Ofte oppdages det mange avvik, selv avvik du ikke lette etter. 3D-laserskanner skaper 3D-bilder av det som er skannet, og den gir deg oversikt på en helt annen måte enn manuell måling.

Når man benytter manuelle målemetoder, kan man bare ta ett mål av gangen. Fordelen er at du måler ett objekt der og da. I praksis så gjør man stikkprøver litt tilfeldig, for å sjekke at noe er riktig eller om noe krasjer. Ofte dekker ikke stikkprøver alt, og avvik blir først oppdaget når neste fag får problemer.

Fordelen med 3D-laserskanning er at man får et helhetlig bilde. Forskjellen er den kvantitative mengden 3D-laserskanner måler. Den måler 360 grader rundt i en ti-meters spennvidde ved høy grad av nøyaktighet. Avvikene lyser rødt i programvaren, det gjør det mye lettere å oppdage hva som er riktig eller feil. Det gir ikke nødvendigvis et svar på om det er avvik, men at det kan foreligge avvik. Ved å skanne kan man oppdage avvik tidligere istedenfor at man oppdager de når kommende fagfelt får problemer.

Hvis man er interessert i å gjøre en nøyaktig og oversiktlig kvalitetssikring, er 3D-skanning fordelaktig. Skanneren gir økt kvalitet over manuell måling fordi den registrerer mange flere punkter og dekker et større område. Ulempen er å finansiere innkjøp og lisens til 3D-laserskanneren. Laserskanneren gjør en oversiktlig og nøyaktig kvalitetssikring, men for en høy pris.

#### 4.1.2 Brukervennlighet

Informantene hadde felles meninger om brukervennligheten til begge målemetodene. De sa at det å skanne eller å ta stikkprøver ikke er vanskelige i seg selv. Hvem som helst kan gjennomføre begge deler med litt opplæring. Men det er høyere vanskelighets-terskel å bruke laserskanner enn for manuelle målinger. Det er behandlingen av skann-data som ikke er så lett, man må også ha kompetanse på det som sjekkes, og det er ikke nok med bare en som har BIM kompetanse. Man kan oppleve brukerfeil med skanneren, men da kan man bare gjøre det på nytt. Hvem som helst hadde klart å bruke skanneren, det er bearbeiding av dataene som krever erfaring.

#### 4.1.3 Brukstid og nøyaktighet ved begge målemetoder

Begge informantene sier: Begge målemetoder er nøyaktige. Manuell måling har tilnærmet eksakt nøyaktighet, men måler bare en ting av gangen. Med manuell måling kan det oppstå avvik i noens evne til å måle, det kan også oppstå brukerfeil ved bruk av skanner. Noen ganger hvis vi tviler på resultatene våre fra skanneren, sjekker vi med manuell måling. Men det har vist seg at skanning er veldig nøyaktig og sjelden er feil. Hvis det er feil, er det brukerfeil. Det var tvil om skanneren først, men den har vist seg å være nøyaktig når sammenlignet med manuell måling. Skanneren har en fordel med kvalitet fordi den klarer å dekke et større område med høy nøyaktighet.

Informantene sier at de må bruke tid på KS, uavhengig av målemetode. Ved bruk av 3D-laserskanner bruker de tid på å planlegge hva de skal skanne, så skanner de. Til slutt behandles dataen i programvaren. Hvis man sammenligner med manuell måling, hadde det tatt lang tid å sjekke alle punktene, men det gjør man ikke i praksis, man tar stikkprøver når noe galt oppstår.

Informantene har relativt lik oppfatning av tidsbruk til 3D-laserskanner. En informant sier: Det tar cirka 4 timer per oppsett, og man kan forvente å få tre til fire ekte avvik. Den andre informanten sier: For gulvflate på 600m<sup>2</sup>, tar det omtrent en time å skanne, en time å bearbeide data og en time for håndtering av avvik, tre timer totalt. Informantene har relativt lik tidsoppfatning.

#### 4.2 Kvalitetssikring for totalentreprenør med 3D-laserskanner

Resultatene viser at 3D-skanning hjelper med å oppdage avvik og gjennomføre KS.

Informantene forteller hvilke områder som er viktigst å skanne. De forklarer hvordan ansvarsforholdet til KS skjer i praksis og resonerer litt rundt tilliten til 3D-laserskanning som en målemetode. Resultatene viser tydelig at laserskanning effektiviserer KS på byggeplass.

##### 4.2.1 Viktigste områder å kvalitetssikre med 3D-laserskanning

Informantene sier: Råbyggsfasen er den viktigste fasen å benytte 3D-laserskanning, det er denne fasen som legger premisser for alt annet. 3D-laserskanneren brukes mye for å se etter avvik på bærekonstruksjonen og tekniske rørføringer. Det er hensiktsmessig å skanne bygget fra da bunnplaten er satt til tekniske føringer, skillevegger, dører og himlinger er ferdig montert. Vi har fått mye nytte av å skanne bærekonstruksjonen og tekniske rørføringer.



Strukturelle feil på råbygget er kritisk og er derfor veldig viktig å kontrollere. Det er spesielt viktig å kvalitetssikre bærekonstruksjonen når etasje på etasje skal stables ovenpå hverandre. På bærekonstruksjonen kan små marginer gi store utslag. Det er viktig å avdekke avvikene på bærekonstruksjonen, informere om avvikene og omprosjekttere modellen dersom nødvendig. Avvikene på bærekonstruksjonen kan gi større konsekvenser enn bare omprosjektering og er derfor essensielt.

Det brukes mer og mer tid på kontroll av tekniske installasjoner med 3D-laserskanneren. Vi opplever også at det er viktig å skanne bygget ved oppstart av de tekniske fagene. Det er viktig å komme tidlig ut å skanne utsparinger i bærekonstruksjonen. Spesielt når det er lite plass til de tekniske rørføringene. For øyeblikket ser vi mer avvik på tekniske installasjoner enn vi ser på bærekonstruksjonen. Det er kanskje et større behov for å skanne tekniske installasjoner og tekniske utsparinger enn selve bærekonstruksjonen.

#### 4.2.2 Ansvarsforhold til kvalitetssikring for totalentreprenør

Begge informantene sier: Vi er totalentreprenører som ikke er ansvarlig for kvalitetssikring av arbeidet. Det er de som leverer et produkt, altså underentreprenører, som skal kvalitetssikre arbeidet. TE har ikke ansvarsrett for resultatet av det som blir prosjektert eller utført. Prosjekterende har ansvarsrett for det som blir prosjektert. Den som utfører har ansvarsrett for det som blir utført.

Det er vår plikt som entreprenør å sørge for at de som leverer et produkt tar KS av sitt produkt. Som TE tar vi stikkprøver og bidrar med oppfølging av avvik. Vi som TE koordinerer byggeplassen og påpeker det vi tror er feil. Om det er feil må det rettes av de som har ansvarsrett. Når det kommer til tverrfaglige utfordringer, hjelper vi ofte til med KS. Det er vi som står med det totale ansvaret for det som blir levert, men det er UE som står ansvarlig for KS underveis.

#### 4.2.3 Tillit til kvalitetssikring med 3D skannerskanner

Fagpersonene sier: Punktskyen gir tydelig og ryddig dokumentasjon på avvik. Punktskyen kan vise hvor stort avviket er, og hvem sin feil det er på en ryddig måte. Til nå har teknologien påpekt mye ekte avvik, men man må alltid ta en vurdering. 3D-laserskanneren har en toleranse eller nøyaktighet man må vurdere når man påpeker avvik. Vi stoler mer og mer på verktøyet, men om det er helt riktig kan vi aldri helt si.

Informantene har ikke lik oppfatning av tilliten til resultatene fra 3D-laserskanning. En informant sier at troverdigheten er grei, mens den andre informanten mener det er god tillit til resultatet.

En informant sier: Tilliten til måleverktøyet varierer veldig. Leverandører og UE får mer og mer tillit til verktøyet når de blir kjent med det. Det er fordi de kan gå ut og verifisere resultatet om de vil. Til nå har alt skanneren som har meldt inn, vist seg til å være riktig. Tilliten er for øyeblikket helt grei, men det er mange som synes at teknologien er litt skummel.

Den andre informanten sier: De første månedene vi brukte 3D-laserskanneren betvilte vi resultatene. Etter å ha gått ut og målt manuelt på de samme tingene, har det vist å være eksakt likt 3D-skannerens resultater. Jeg vil si det er god tillit til måleresultatene fra 3D-laserskanneren. Vi har hatt god erfaring med å involvere leverandører og underentreprenører til å se på avvik som skanneren har oppdaget. Ledelsen har blitt mer og mer trolig på å sende punktskyen ut som dokumentasjon på avvik til avvikshåndtering.

#### 4.3 Fremdrift og flyteeffektivitet

Resultatene viser at 3D-laserskanning bedrer fremdriften og flyteeffektivitet på byggeprosjekter. Informantene forklarer hvorfor flyteeffektiviteten bedres mens spørreundersøkelsen gir tallfestet data fra utvalget i undersøkelsen. Prosjektene i utvalget opplevde en markant fremdriftsbesparelse.

##### 4.3.1 Flyteeffektivitet

Begge informantene sier: Ved skanning oppdager vi avvik tidligere og vi kan utbedre avviket før neste fag starter arbeidet, istedenfor at vi kanskje oppdager avviket når det krasjer med neste fagfelt. Vi kan for eksempel kontrollere at utsparingene er plassert riktig før det krasjer og får konsekvenser. Skanneren gir oss mulighet å kontrollere og utbedre avvik proaktivt. Dette forhindrer at avvik gir konsekvenser for den planlagte fremdriften.

En informant gir oss et eksempel fra et prosjekt: Skanneren oppdaget at betong kjellerveggene ble bygget 4cm for lavt. Dette medførte ringvirkninger for ventilasjonsmontøren fordi det ikke var plass til ventilasjonsaggregatet mellom himlingen og overliggende dekke. I dette tilfellet fikk vi varslet og tegnet om før de tekniske kom på plassen. Hvis dette avviket ikke hadde blitt oppdaget, ville det fått mye større konsekvenser enn bare omprosjektering. Det er tydelig at de få timene det tok for oss å varsle er svært lite,

sammenlignet med de timene vi måtte ha brukt for å rette opp et ventilasjonsaggregat som ikke passer.

En informant forteller om andre anvendelser som kan bedre fremdriften: Skanning gir oss en oppdatert status på fremdriften. Når vi gjennomfører en skannrunde får vi et stillbilde av statusen på fremdriften. Det kan være nyttig for oss, men om statusen har noen effekt på fremdriften er vanskelig å si.

#### 4.3.2 Fremdriftsbesparelse som følge laserskanning

Gjennom spørreundersøkelsen stiller vi spørsmål relatert til effekten 3D-laserskanning har på fremdriften til prosjektet de jobber eller har jobbet på. Vi har fått elleve svar på spørreundersøkelsen. En av respondentene sier de er «litt kjent,» mens ti av respondentene sier de er «godt kjent» med prosjektets fremdrift. To av respondentene svarte «vet ikke» på spørsmålet relatert til fremdrift og blir ikke tatt med i beregningene. Vi har et effektivt utvalg på ni prosjekter med data relatert til fremdrift.

Vi stiller spørsmålene:

- Hvordan har 3D-laserskanner blitt brukt på dette prosjektet? (kontinuerlig/periodisk)
- Hvor lang tid er det fra ferdig grunnarbeid til overlevering?
- I henhold til det forrige spørsmålet, hvor langt inn i prosjektet er dere?
- Hvor mange dager fremdrift sparte 3D-Laserskanning dere på dette prosjektet?

Ved å bearbeide dataen fra undersøkelsen kan vi sammenligne hvor mange dager fremdrift 3D-laserskanneren har spart prosjektet for per måned som sett i tabell 4.1:

Tabell 4.1 Fremdrifts besparelse dager per måned. Skjerm bilde fra Excel.

		Spørsmål fra spørreundersøkelsen	Prosjekter med mangel av data, ikke tatt i beregningen	Prosjekter skannet kontinuerlig, ellers er det periodisk	Beregninger gjort med data fra undersøkelsen		
	Kolonne 1	Kolonne 2	Kolonne 3	Kolonne 4	Kolonne 5	Prosent ferdig fra ferdig grunnarbeid til overlevering	Dager fremdrift spart per måned
	Hvor kjent er du til prosjektets fremdrift?	Hvordan har 3D-laserskanner blitt brukt på dette prosjektet? (kontinuerlig/ periodisk)	Hvor lang tid er det fra ferdig grunnarbeid til overlevering	I henhold til det forrige spørsmålet, hvor langt inn i prosjektet er dere?	Hvor mange dager fremdrift sparte 3D-Laserskanning dere på dette prosjekt?	$\frac{\text{Kolonne 4}}{\text{Kolonne 3}}$	$\frac{\text{Kolonne 5}}{\text{Kolonne 4}}$
Prosjekt 1	Godt kjent	Periodisk	10	8	3.5	80%	0.44
Prosjekt 2	Godt kjent	Kontinuerlig	13	12	6	92%	0.50
Prosjekt 3	Godt kjent	Periodisk	22	4	6	18%	1.50
Prosjekt 4	Godt kjent	Kontinuerlig	24	10	0	42%	0.00
Prosjekt 5	Godt kjent	Periodisk	26	20	Vet ikke	77%	Vet ikke
Prosjekt 6	Godt kjent	Periodisk	2	2	0	100%	0.00
Prosjekt 7	Godt kjent	Kontinuerlig	18	17	13.5	94%	0.79
Prosjekt 8	Godt kjent	Periodisk	8.5	6	1.5	71%	0.25
Prosjekt 9	Litt kjent	Periodisk	11	10	6	91%	0.60
Prosjekt 10	Godt kjent	Periodisk	10	10	Vet ikke	100%	Vet ikke
Prosjekt 11	Godt kjent	Periodisk	12	3	0	0.25	0.00

Følgende formler 4.1-4.3 er for å finne gjennomsnitt og standardavvik:

Gjennomsnittet blir regnet ut ved bruk av denne formelen:

$$\mu = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_i}{n}$$

Formel 4.1 Gjennomsnitt

Varians blir regnet ut med denne formelen:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2$$

Formel 4.2 Varians

Standard avvik blir regnet ut med denne formelen:

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$$

Formel 4.3 Standardavvik

De ni prosjektene sparer gjennomsnittlig 0,45 dager per måned, med et standard avvik på 0,49.

$$\mu = 0,45 \frac{\text{dager}}{\text{måned}}$$

$$\sigma^2 = 0,24$$

$$\sigma = \sqrt{0,203} = 0,49 \frac{\text{dager}}{\text{måned}}$$

Vi skiller mellom prosjektene som benyttet 3D-laserskanner periodisk og kontinuerlig. De seks prosjektene som brukte 3D-laserskanner periodisk hadde en gjennomsnittlig fremdriftsbetjening på 0,46 dager per måned. De tre prosjektene som benyttet skanneren kontinuerlig, hadde en gjennomsnittlig fremdriftsbetjening på 0,43 dager per måned.

$\mu_p$  = periodisk bruk av laserskanninger

$\mu_k$  = kontinuerlig bruk av laserskanninger

$$\mu_p = 0,46 \frac{\text{dager}}{\text{måned}} \quad \mu_k = 0,43 \frac{\text{dager}}{\text{måned}}$$

#### 4.4 Ressurseeffektivitet

Resultatene viser at prosjektets ressurseeffektivitet bedres ved bruk av 3D-laserskanning. Informantene forteller hvordan ressurseeffektiviteten bedres og kommer med et eksempel. Spørreundersøkelsen viser at det er mulig betjening av administrativ tid som følge 3D-skanning. Det er tydelig at 3D-laserskanner bedrer ressurseeffektiviteten til byggeprosjekter.

##### 4.4.1 Ressurseeffektivitet under kvalitetssikring

Begge informantene sier: 3D-laserskanneren bruker mindre tid på å sjekke overflater. Det er en veldig effektiv bruk av ressursene våre til kvalitetssikring. Samtidig effektiviserer det også avvikshåndteringen ved å gi tydelig dokumentasjon på avvik. Vi har god erfaring med bruk av punktskyen til oppfølging av avvik. Samtidig er ikke måleverkøyet eller programvaren gratis. Vi gjør kvalitetssikring raskere og mer effektivt med skanneren, men det koster penger for utstyr og programvare.

Vi jobber jo fast uansett, men ved å gjøre mer effektiv kvalitetssikring får vi mer tid til andre ting. Det er ikke sånn at vi jobber på timer det går på tidsforbruket til administrasjonsoppgavene. Vi får mer tid til andre ting som vi trenger bemanning på plassen for, men vi har enda ikke justert ned bemanningen på plassen bare fordi vi kan skanne.

En informant gir oss et eksempel på bedret ressurseeffektivitet: Hvis vi er usikre på plasseringen av fundamentpelene, sender vi vanligvis en stikker som blir betalt per time for å kontrollere alle pelene. Med skanner kan vi på forhånd antyde hvilken pel som står feil, og stikkeren kan kontrollere akkurat hvor mye feil det er. Stikkeren trenger bare kontrollere en av pelene istedenfor å kontrollere alle pelene. Vi får helheten fra skanneren enklere og vi

trenger ikke å kontrollere alt med fagpersoner hele tiden. Dette medfører at vi bruker ressursene våre mer effektivt.

#### 4.4.2 Besparelse av administrativ tid

Besparelse av administrativ tid medfører høyere ressurseffektivitet av det administrative arbeidet. Det er fordi de administrative ressursene får gjort mer og bedre arbeid på en kortere tidsperiode. Besparelsen av den administrative tiden kan brukes på andre administrative jobber og medfører en høyere ressurseffektivitet.

Gjennom spørreundersøkelsen stiller vi spørsmål relatert til effekten 3D-laserskanning har på hvor mye administrativ tid som ble spart på prosjektet de jobber eller har jobbet på. Vi har fått elleve svar på spørreundersøkelsen. To av respondentene svarte «vet ikke» på spørsmålet relatert til administrativ tid, og en svarte at de bruker mer administrativ tid. Disse tre svarene blir ikke tatt med i beregningen. Vi har et effektivt utvalg på åtte prosjekter med data relatert til administrativ tid. Tabell 4.2 viser besparelsen av administrativ tid.

Vi stiller spørsmålene:

- Hvordan har 3D-laserskanner blitt brukt på dette prosjektet? (kontinuerlig/ periodisk)
- Hvor lang tid er det fra ferdig grunnarbeid til overlevering?
- I henhold til det forrige spørsmålet, hvor langt inn i prosjektet er dere?
- Hvor mye administrativ tid sparte 3D-laserskanning dere på dette prosjektet?

Tabell 4.2 Besparelse av administrativ tid dager per måned. Skjermbilde fra Excel.

		Spørsmål fra spørreundersøkelsen	Prosjekter med mangel av data, ikke tatt i beregningen	Prosjekter skannet kontinuerlig, ellers er det periodisk	Beregninger gjort med data fra undersøkelsen		
	Kolonne 1	Kolonne 2	Kolonne 3	Kolonne 4	Kolonne 5	Prosent ferdig fra ferdig grunnarbeid til overlevering	Dager administrativ tid spart per måned
	Hvor kjent er du til prosjektets fremdrift?	Hvordan har 3D-laserskanner blitt brukt på dette prosjektet? (kontinuerlig/ periodisk)	Hvor lang tid er det fra ferdig grunnarbeid til overlevering	I henhold til det forrige spørsmålet, hvor langt inn i prosjektet er	Hvor mye administrativ tid sparte 3D-laserskanning dere på dette prosjektet?	$\frac{\text{Kolonne 4}}{\text{Kolonne 3}}$	$\frac{\text{Kolonne 5}}{\text{Kolonne 4}}$
Prosjekt 1	Godt kjent	Periodisk	10	8	3.5	80%	0.44
Prosjekt 2	Godt kjent	Kontinuerlig	13	12	3.5	92%	0.29
Prosjekt 3	Godt kjent	Periodisk	22	4	0	18%	0.00
Prosjekt 4	Godt kjent	Kontinuerlig	24	10	1.5	42%	0.15
Prosjekt 5	Godt kjent	Periodisk	26	20	Vet ikke	77%	Vet ikke
Prosjekt 6	Godt kjent	Periodisk	2	2	Vi brukte mer admin	100%	tapt tid
Prosjekt 7	Godt kjent	Kontinuerlig	18	17	6	94%	0.35
Prosjekt 8	Godt kjent	Periodisk	8.5	6	3.5	71%	0.58
Prosjekt 9	Litt kjent	Periodisk	11	10	3.5	91%	0.35
Prosjekt 10	Godt kjent	Periodisk	10	10	Vet ikke	100%	Vet ikke
Prosjekt 11	Godt kjent	Periodisk	12	3	0	0.25	0.00

De åtte prosjektene sparer gjennomsnittlig 0,27 dager administrativ tid per måned med et standard avvik på 0,21. Regnet etter formler 4.1-4.3.

$$\mu = 0,27 \frac{\text{dager}}{\text{måned}}$$

$$\sigma = 0,21 \frac{\text{dager}}{\text{måned}}$$

Vi skiller mellom prosjektene som benyttet 3D-laserskanner periodisk og kontinuerlig. De fem prosjektene som brukte 3D-laserskanner periodisk hadde en gjennomsnittlig fremdrift besparelse på 0,27 dager per måned. De tre prosjektene som benyttet skanneren kontinuerlig, hadde en gjennomsnittlig fremdriftsbesparelse på 0,26 dager per måned.

$$\mu_p = 0,27 \frac{\text{dager}}{\text{måned}} \quad \mu_k = 0,26 \frac{\text{dager}}{\text{måned}}$$

#### 4.5 Kostnadsbesparelse

Resultatene viser at 3D-laserskanning gir en kostnadsbesparelse til prosjektene.

Informantene forteller hvordan 3D-laserskanning kan gi en kostnadsbesparelse. Resultatene fra spørreundersøkelsen viser tallfestet data på hvor stor kostnadsbesparelsen var for prosjektene i utvalget gjennomsnittlig.

##### 4.5.1 Grunnlaget for kostnadsbesparelse

Informantene er enige og sier: 3D-laserskanner hjelper oss med å oppdage avvik tidligere.

Det blir dyrere å rette opp et avvik jo lengre tid det tar for avviket å bli oppdaget og utbedret. Krasj med andre fag medfører at avvikene får en større kostnad. Det er uklart hvor mye penger som blir bespart som følge bruk av 3D-laserskanner.

En av informantene sier: Vi ser på avvik med en faktor 10-modell. Faktor 10-modellen betyr at kostnaden for utbedring av avvik multipliseres med en faktor av ti dersom du utbedrer avviket i siste liten fremfor å gjøre det med en gang.

Den andre informanten sier: Det er vanskelig å sette en sum på avvik som ble oppdaget tidlig med 3D-laserskanneren. Det er ikke nødvendigvis slik at vi sitter igjen med kostnadene uansett. Det ville vært underentreprenøren sitt problem å løse det. Uansett ville det kostet av våre administrative ressurser. Det har kanskje litt med hvor hektisk du ønsker å ha det på jobben.

#### 4.5.2 Kostnadsbesparelsen som følge 3D-Laserskanner

Vi stiller spørsmål relatert til kostnadsbesparelsen ved bruk av laserskanning på prosjektet.

Svarene er approksimasjoner av mulige kostnader som hadde falt på totalentreprisen, men som ikke gjorde det på grunn av skanneren. Vi har fått elleve svar på spørreundersøkelsen.

To av respondentene svarte «vet ikke» og en svarte at de ikke er kjent med prosjektets økonomi. Disse svarene blir ikke tatt med i beregningen. Det skal merkes at ett av svarene

var større eller lik 2MNOK, så det kan hende svaret er enda høyere enn det vi fant ved å

bruke 2MNOK. Vi har et effektivt utvalg på åtte prosjekter med data relatert til

kostnadsbesparelse som vist i tabell 4.3.

Vi stiller spørsmålene:

- Hvor kjent er du til prosjektets økonomi?
- Hvor lang tid er det fra ferdig grunnarbeid til overlevering?
- I henhold til det forrige spørsmålet, hvor langt inn i prosjektet er dere?
- Omtrent hvor mye penger sparte 3D-skanner dere på dette prosjektet?

Tabell 4.3 Kostnadsbesparelse kroner per måned. Skjermbilde fra Excel.

	Spørsmål fra spørreundersøkelsen	Prosjekter med mangel av data, ikke tatt i beregningen	Prosjekter skannet kontinuerlig, ellers er det periodisk	Beregninger gjort med data fra undersøkelsen		
	Kolonne 1	Kolonne 2	Kolonne 3	Kolonne 4	Prosent ferdig fra ferdig grunnarbeid til overlevering	Penger spart per måned (kr)
	Hvor kjent er du til prosjektets økonomi?	Hvor lang tid er det fra ferdig grunnarbeid til overlevering	I henhold til det forrige spørsmålet, hvor langt inn i prosjektet er dere?	Omtrent hvor mye penger sparte 3D-skanner dere på dette prosjektet? (NOK)	$\frac{\text{Kolonne 3}}{\text{Kolonne 2}}$	$\frac{\text{Kolonne 4}}{\text{Kolonne 3}}$
Prosjekt 1	Godt kjent	10	8	250000	80%	31250
Prosjekt 2	Godt kjent	13	12	2000000	92%	166667
Prosjekt 3	Godt kjent	22	4	1200000	18%	300000
Prosjekt 4	Godt kjent	24	10	350000	42%	35000
Prosjekt 5	Godt kjent	26	20	Vet ikke	77%	Vet ikke
Prosjekt 6	Godt kjent	2	2	75000	100%	37500
Prosjekt 7	Ikke kjent	18	17	150000	94%	8824
Prosjekt 8	Godt kjent	8.5	6	25000	71%	4167
Prosjekt 9	Litt kjent	11	10	25000	91%	2500
Prosjekt 10	Godt kjent	10	10	Vet ikke	100%	Vet ikke
Prosjekt 11	Godt kjent	12	3	25000	25%	8333

De åtte prosjektene sparer gjennomsnittlig 73 177kr per måned med et standard avvik på 105 992kr per måned. Regnet etter formler 4.1-4.3.

$$\mu = 73\,177 \frac{\text{kroner}}{\text{måned}}$$



$$\sigma = 105\,992 \frac{\text{kroner}}{\text{måned}}$$

Vi skiller mellom prosjektene som benyttet 3D-laserskanner periodisk og kontinuerlig. De seks prosjektene som brukte 3D-laserskanner periodisk, hadde en gjennomsnittlig fremdriftsbesparelse på 63 958kr per måned. De to prosjektene som benyttet skanneren kontinuerlig, hadde en gjennomsnittlig kostnadsbesparelse på 100 834kr per måned.

$$\mu_p = 63\,958 \frac{\text{kroner}}{\text{måned}} \quad \mu_k = 100\,834 \frac{\text{kroner}}{\text{måned}}$$

#### 4.6 Prosjekter som har bruk for 3D-laserskanning

Resultater viser hvilke prosjekter og hvilke parametere som gjør at 3D-skanning er fordelaktig over manuelle målemetoder. Informantene indikerer mot hvilke prosjekter som vil ha nytte av 3D-skanning. Spørreundersøkelse viser at noen størrelsesordener har sterk korrelasjon med kostnadsbesparelse prosjektet mottok. Resultatene viser overordnet hvilke prosjekter som har fordel av 3D-skanning.

##### 4.6.1 Prosjektfaktorer som øker fordeler ved laserskanning

Begge informantene sier: Det er vanskelig å svare på hvilke prosjekter som kan fordelaktig bruke 3D-laserskanning. Størrelsen på prosjekter er sannsynligvis en faktor for hvilke prosjekter som benytter laserskanning fordelaktig.

En informant sier: Større prosjekter får flere måleobjekter, men avvik kan også få større konsekvenser avhengig av type bygg. Noen prosjekter har større krav til kvalitet, en lagerhall krever ikke kvalitet på millimeteren mens et kontorbygg gjør det for eksempel. I en tomannsbolig vil konsekvensen fra avvik være lite utslagsgivende for eksempel.

Konsekvensene som følge avvik kan være høyere eller lavere avhengig av type prosjekt.

Vi har ingen små prosjekter så vi besluttet å bruke 3D-skanning på alle prosjekter fordi den gir oss økt trygghet. Skulle man sett på noen størrelsesordener før prosjekt start vil størrelsen og kontraktsummen være gode indikatorer mener jeg. I vår avdeling skanner vi alle byggene i hele prosessen fordi vi bare har store prosjekter og har sett gode resultater av det.

Den andre informanten sier: Alle prosjekter eller bedrifter er en slags størrelsesorden. De fleste selskaper vil jo ikke tåle investeringskostnaden fra 3D-laserskanneren. Men hvis et

selskap har flere prosjekter med varierende størrelse og med en 3D-laserskanner tilgjengelig, kan de velge å bruke laserskanning periodisk i spesifikke produksjonsfaser. Samtidig tenker jeg at veldig store prosjekter burde ha en KS-leder som skanner hele tiden, men på mindre prosjekter så har man ikke ressursene til å gjøre det like ofte.

Det trenger jo ikke være størrelsesordener på prosjekter som gjør at 3D-laserskanner brukes fordelaktig. Jeg tenker umiddelbart at rehab-prosjekter har masse fordeler ved å skanne. Med rehabiliteringsprosjekter må man ta avveining i forhold til hvordan bygget er. I nybygg er det lettere å bruke skanner fordi du vet at det du skanner er riktig. Mindre erfarne underentreprenører kan også medføre at kvalitetssikring blir viktigere. Det kan det være at mindre erfarne underentreprenører er grunnen til at 3D-laserskanner brukes fordelaktig.

#### 4.6.2 Prosjekter som har størst fordeler ved 3D-laserskanning

I dette kapitlet forklares hvordan vi har tolket dataene fra spørreundersøkelsen, deretter presenteres resultatene vi fant. Vi forklarer framgangsmåten for utregning av korrelasjon, og viser resultatene fra databehandlingen, som er den kvantitative delen av oppgaven. Resultatene viser at det er korrelasjonen mellom prosjektenes størrelsesordener og besparelser som følge laserskanning.

Spørreundersøkelsen er delt opp med bakgrunnsspørsmål, prosjektidentifikasjonsspørsmål og hovedspørsmål. Prosjektidentifikasjonsspørsmålene brukes for å sortere forskjellige prosjekter med forskjellige typer og størrelsesordener. Hovedspørsmålene gir data på hvilken effekt 3D-laserskanning hadde på prosjektet. Ved å sortere prosjektene og se hvilken effekt laserskanning har, kan vi avgjøre hvilke prosjekttyper eller størrelsesordener som får størst eller minst fordeler ved 3D-laserskanning.

I våre data har vi noen tilfeller hvor informanten har svart «vet ikke» eller «ikke kjent» med prosjektets økonomi eller fremdrift. I disse tilfellene er ikke resultatet tatt med i utregningen.

Vi ser etter korrelasjon mellom størrelsesordenene fra prosjektidentifikasjonsspørsmålene og effekt fra laserskanning fra hovedspørsmålene. For å finne sammenhenger mellom størrelsesordener og effekten fra laserskanning har vi laget en matrise med korrelasjonskoeffisienter. Se vedlegg D for eksempel på utregning av en

korrelasjonskoeffisient. Vi regner ut korrelasjon med formelen 4.4 Pearson-produktmoment-korrelasjonskoeffisienten:

$$\text{Korrelasjonsformel: } \rho(X; Y) = \frac{\text{Cov}(X; Y)}{\sigma_x \sigma_y}$$

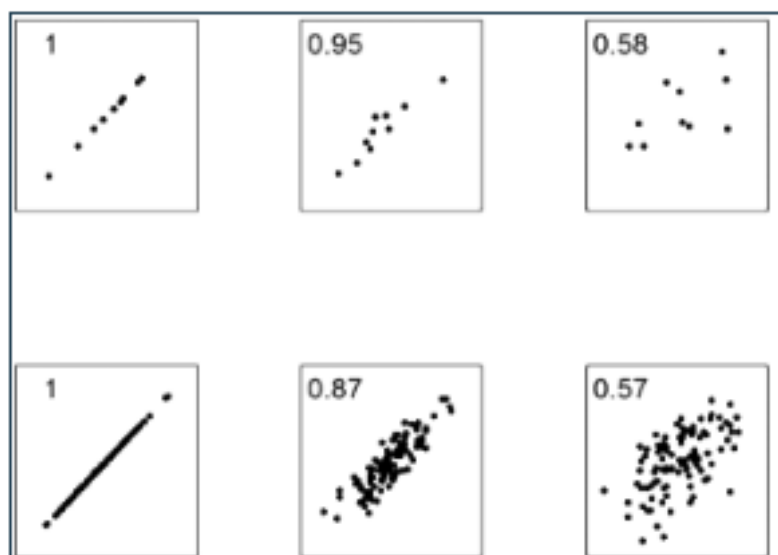
*Formel 4.4 Korrelasjon*

Korrelasjonstallet skal være mellom 1 og -1. Korrelasjon forteller oss noe om hvor sterk sammenheng det er mellom målbare størrelser som sett i tabell 4.4.

*Tabell 4.4 Korrelasjonsgrad (Johannessen et al., 2016, s. 306).*

Korrelasjonskoeffisient	Grad av korrelasjon
0-0,19	Veldig svak
0,2-0,39	Svak
0,4-0,69	Moderat
0,7-0,89	Sterk
0,9-1	Veldig sterk

En sterkere korrelasjon vil si at det er en sterkere sammenheng mellom to forskjellige målbare størrelser. Korrelasjonskoeffisienten sier oss noe om hvor riktig eller hvor eksakte svar en regresjonsanalyse vil gi. Figur 4.1 viser datapunkter for forskjellige korrelasjoner.



*Figur 4.1 Korrelasjon (Frøslie, 2022).*

Tabell 4.5 viser resultater fra spørreundersøkelsen som omhandler størrelsesordener og effekten fra laserskanning på enkelte prosjekter. Vi baserer utregningen av

korrelasjonskoeffisienter på denne tabellen. For å få en beregningsklar tabell har vi tatt gjennomsnittet av intervallene i svaralternativene. Resultatene baseres på et lite utvalg, det er derfor stor usikkerhet ved resultatene.

Tabell 4.5 Størrelsesordener fra spørreundersøkelse. Skjerm bilde fra Excel.

Spørsmål fra spørreundersøkelse	Kontor	Kontor og lager	Andre bygg	Beregninger		Ikke brukt i utregning						
kolonne 1	kolonne 2	kolonne 3	kolonne 4	kolonne 5	kolonne 6	kolonne 7	kolonne 8	kolonne 9	kolonne 10	kolonne 11	kolonne 12	
Byggtype	Antall materialer	Kontraktsum kr	BRA	Etasjer	Enheter	Tid i mnd	Progresjon i mnd	Penger spart	$\frac{\text{Kolonne 9}}{\text{Kolonne 8}}$	Tid spart	$\frac{\text{Kolonne 11}}{\text{Kolonne 8}}$	
Prosjekt 1	Kontor og lager	3	60000000	3500	1	2	10	8	250000	31250	3.5	0.44
Prosjekt 2	Kontor	1	203000000	6800	10	25	13	13	2000000	153846	6	0.46
Prosjekt 3	Kontor	3	336000000	13000	9	68	22	4	1200000	300000	6	1.5
Prosjekt 4	Bolig	3	285000000	9000	9	115	24	10	350000	35000	0	0
Prosjekt 5	Kontor	3	400000000	13400	7	5	26	20	Vet ikke		Vet ikke	
Prosjekt 6	Kontor	3	64000000	3700	3	3	2	2	75000	37500	0	0
Prosjekt 7	Kontor	1	200000000	68000	10	10	18	17	150000		13.5	0.79
Prosjekt 8	Innendørs klatresenter	1	37000000	1450	3	3	8.5	6	25000	4167	1.5	0.25
Prosjekt 9	Kontor og lager	3	112300000	6240	4	162	11	10	25000	2500	6	0.6
Prosjekt 10	Kombinasjon av lager o	3	112000000	6200	3	16	10	10	Vet ikke		Vet ikke	
Prosjekt 11	Kontor	2	93000000	3950	5	9	12	3	25000	8333	0	0

### Korrelasjonskoeffisientresultater

I tabell 4.6 og tabell 4.7 viser korrelasjonskoeffisienter mellom forskjellige størrelsesordener og forskjellige effekter som følge laserskanning. Tabell 4.6 er alle prosjekter uten sortering, mens tabell 4.7 sortere vi prosjekter utfra type prosjekt og antall bærekonstruksjonsmaterialer. Korrelasjonsmatriser er laget i Excel. Vi har brukt Excels eget verktøy for utregning av korrelasjon. Sterk eller veldig sterk korrelasjon tilsier at det er sammenheng mellom effekten som følge laserskanning og tilhørende størrelsesorden.

Tabell 4.6 er en matrise, som viser korrelasjoner mellom alle målbare størrelser. Matrisen representerer alle prosjekter uten sortering. De relevante korrelasjonskoeffisientene er i de grønne rutene.

Tabell 4.6 Matrise av alle korrelasjoner. Skjerm bilde fra Excel.

	Kostnadsbesparelse		Fremdriftsbesparelse		Størrelsesordener		Korrelasjonskoeffisienter			
	Kostnadsbesparelse	Konstnadsbesparelse/ mnd	Fremdriftsbesparelse	Fremdriftsbesparelse/ mnd	Kontrakt-sum	BRA	Etasjer	Enheter	Antall materialer	
Kostnadsbesparelse	1.00	0.77	0.62	0.49	0.61	0.55	0.76	-0.05	-0.35	
Kostnadsbesparelse/ mnd	0.77	1.00	0.58	0.83	0.76	0.80	0.65	0.03	0.05	
Fremdriftsbesparelse	0.62	0.58	1.00	0.80	0.33	0.83	0.50	0.03	-0.40	
Fremdriftsbesparelse/ mnd	0.49	0.83	0.80	1.00	0.57	0.37	0.40	0.18	0.04	
Kontraktsum	0.61	0.76	0.33	0.57	1.00	0.96	0.88	0.47	0.24	
BRA	0.55	0.80	0.83	0.37	0.96	1.00	0.78	0.54	0.39	
Etasjer	0.76	0.65	0.50	0.40	0.88	0.78	1.00	0.33	-0.16	
Enheter	-0.05	0.03	0.03	0.18	0.47	0.54	0.33	1.00	0.45	
Antall materialer	-0.35	0.05	-0.40	0.04	0.24	0.39	-0.16	0.45	1.00	

Det er en sterk korrelasjon mellom kostnadsbesparelse per måned og størrelsesordenene kontraktsum og BRA-areal. Vi ser besparelse per måned til å være mer relevant en total totalbesparelse for sammenligning av prosjekter, fordi noen prosjekter pågår lengre enn andre. Kontraktsum har 0,76 og BRA-areal har 0,80 i korrelasjon med kostnadsbesparelse per måned.

I tabell 4.7 har vi sortert prosjektene etter bygningstype og antall bærekonstruksjonsmaterialer, tabellen viser korrelasjonen mellom størrelsesordener og de sorterte prosjektgruppene. Størrelsesordener er vertikalt langs radene, og kostnadsbesparelse og spart per måned horisontalt langs kolonnene.

Tabell 4.7 Korrelasjoner sortert etter materialer og bygningstyper. Tatt fra Excel.

	Sortering etter materialer						Sortering etter byggtyper					
	Ingen sortering		3 materialer		1 og 2 materialer		Kontor		Kontor, kontor og lager		Andre bygg	
	penger spart	spart pr mnd	penger spart	spart pr mnd	penger spart	spart pr mnd	penger spart	spart pr mnd	penger spart	spart pr mnd	penger spart	spart pr mnd
kontraktsum	0,61	0,76	0,81	0,71	0,94	0,95	0,69	0,98	0,70	0,96	0,69	0,56
BRA	0,55	0,80	0,87	0,81	0,88	0,90	0,56	0,98	0,52	0,91	0,58	0,46
etasjer	0,76	0,65	0,67	0,59	0,96	0,97	0,94	0,78	0,90	0,81	0,49	0,33
enheter	-0,05	0,03	-0,05	-0,10	0,96	0,97	0,54	0,97	-0,21	-0,07	-0,02	-0,15

Ved sortering av utvalget ser vi noe høyere korrelasjon, men utvalget blir veldig lite. Det er grunn til å tro at de sorterte prosjektene viser sterkere sammenheng mellom kostnadsbesparelse og forskjellige størrelsesordener. Likevel blir utvalget så lite at vi ikke kan trekke noen felles representative konklusjoner.

#### 4.7 Laserskannings helhetlige effekter på prosjekter

Både intervju- og spørreundersøkelserresultatene tyder på at laserskanning besparer kostnader, samt bedrer ressurs og flyteffektiviteten til byggeprosjekter. Informantene forteller om ikke-målbare aspekter som at 3D-laserskanning øker tryggheten, gir konkurransefortrinn i anbudsfasen og en belærende effekt på involverte i prosjektet. Resultater fra spørreundersøkelsen tyder på at alle disse fordelene samlet utveier ulempene.

##### 4.7.1 As-built og trygghet

Informantene sier: Skanning bekrefter at bygget blir bygget slik det var prosjektert ved å skape as-built dokumentasjon. Dette gir oss trygghet på kvaliteten til bygget er

tilfredsstillende. Laserskanning gjør det mulig å gå tilbake i tid og se på utførelsen dersom nødvendig. Samtidig får vi stillbilder som rapporterer status på fremdriften. Det er betryggende å ha en dokumentasjonsbank i form av as-built dokumentasjon.

#### 4.7.2 Belærende effekt

Informantene sier: Laserskanning gir en belærende effekt for underentreprenører og prosjekterende. Skanning gir dokumentasjon på hva som er bygd og vi kan gå tilbake og se på det. Vi kan i større grad unngå at like feil oppstår gjentatte ganger. Kanskje fordi ingen liker å gjøre jobben flere ganger enn nødvendig.

UE bygger oftere det som faktisk er tegnet og de prosjekterende kan se hvordan arbeidet faktisk blir gjort. Det skaper en bedre kommunikasjon mellom prosjekterende og utførende arbeidere. Prosjekterende kan lære av utførende hvis utførelsen er riktig i forhold til modellen, men det er en vanskelig konstruksjon å bygge i praksis. Det blir en belærende effekt for prosjekterende som må prøve å tegne riktig neste gang eller oppdatere modellen. UE må kanskje gjøre om hvis arbeidet ikke ligner modellen. Prosjekterende og UE får en belærende effekt gjennom byggeprosjektet.

En informant sier: På et prosjekt der vi kontinuerlig skannet et 10 etasjes bygg, fikk vi en del avvik til å begynne med, men det ble mindre og mindre utover eller oppover i etasjene. Nå vet vi at laserskanning bedret flyteffektiviteten på bygget.

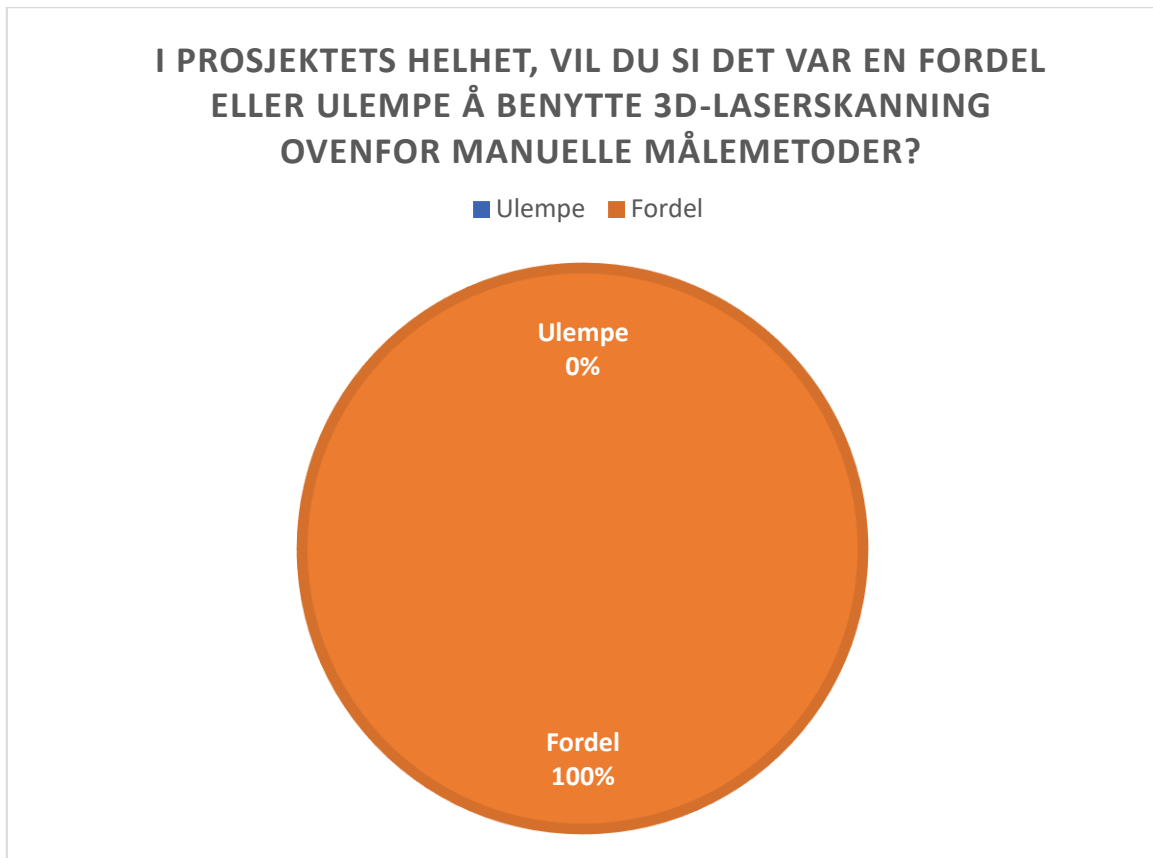
#### 4.7.3 Konkurransefortrinn

En informant sier: 3D-laserskanning kan gi et konkurransefortrinn i anbudsfasen. Det er ikke gratis å bruke en skanner, men det gir oss et fortrinn med kvalitet. Ved å skanne, bygger vi riktigere. 3D-skanner kan bli brukt som et salgsargument ovenfor byggherren. Bygget blir bedre dokumentert og byggherren kan få bevis på at leveransen er som avtalt. I fremtiden kan dokumentasjon ved laserskanning være noe som skrives inn i kontrakten med byggherren. Det kan kanskje sammenlignes med at man har søkelys på miljøet eller at et prosjekt er BREEAM sertifisert, som gir prosjektet en høyere verdi.

#### 4.7.4 Fordelene oppveier for ulempene

I spørreundersøkelsen stilte vi spørsmålet: «I prosjektets helhet, vil du si det var en fordel eller ulempe å benytte 3D-laserskanning ovenfor manuelle målemetoder?». 11 av 11 respondenter svarte at det var en fordel å bruke 3D-laserskanning som vist i figur 4.2.

Hundre prosent av respondentene mener at fordelene utveier ulempene på deres prosjekter.



*Figur 4.2 Fordel/Ulempe bruk av 3D-skanning.*

## 5. Analyse

### 5.1 Fordeler med 3D-Laserskanning

Det er mange aspekter som kan indikere hva som gjør 3D-laserskanning fordelaktig.

Laserskanning øker omfanget på KS, som gir prosjekter som benytter målevektøyet en rekke fordeler. Noen aspekter er målbare mens andre ikke er målbare. Aspekter som kostnadsbesparelse, flyteeffektivitet, ressurseffektivitet og investeringskostnad kan måles. Aspekter som økt konkurransefortrinn og trygghet kan ikke måles eller tallfestes. Ingen av aspektene er fullstendige indikatorer, noen aspekter veier sterkere enn andre. Alle aspektene samlet danner en helhet.

Informantene forklarer hvordan laserskanning påvirker de forskjellige aspektene, og resultatene fra spørreundersøkelsen gir tallfestet data fra feltet. Resultater fra spørreundersøkelse og intervju viser at 3D-laserskanning bedrer alle omtalte aspekter. Den eneste ulempene er kostnaden fra den økonomiske investeringen. Spørsmålet er om alle fordelene oppveier for investeringskostnadene. I spørreundersøkelsen svarer 100% av respondentene at fordelene oppveier for ulempene. Det er tydelig at 3D-laserskanner var fordelaktig for alle prosjektene i denne spørreundersøkelsen.

Det betyr nødvendigvis ikke at alle prosjekter kan bruke 3D-laserskanning fordelaktig. Den ene informant sier: Vi har ingen små prosjekter så vi besluttet å bruke 3D-skanning på alle prosjekter fordi den gir oss økt trygghet. Alle prosjektene i spørreundersøkelsen var store, og dette er kanskje grunnen til at prosjektene hadde fordel av laserskanning.

#### 5.1.1 Laserskanning kontrollerer et stort omfang

Fordelen med 3D-Laserskanning er at man får sjekket alt som er i skannerens rekkevidde.

Informantene sier at man oppdager avvik man ikke planla å oppdage og at det medfører tidlig oppdagelse av avvik før det er for sent. De sier det er ikke helt sikkert at det laserskanneren finner faktisk er ekte avvik, men til nå har verktøyet påpekt mye ekte avvik. Likevel er det en god indikasjon på at det kan foreligge feil, og hvis det betviles så kan man enkelt sjekke for hånd.

Det var overaskende at systemet for kontroll med manuell målemetode virket hensiktsløst og svært uforsvarlig sammenlignet med 3D-laserskanner. Informantene sier at man først oppdager ufullkommenheter når det oppstår kollisjoner eller hindringer i fremgang. Måling ved manuelle målemetoder benyttes bare når du vet det er avvik eller når du er veldig



usikker på utførelsen. Kontrollpersonen ser ikke etter avvik med mindre det er sterk indikasjon på at det foreligger en feil.

#### 5.1.2 Kostnadsbesparelse

Det er viktig at innkjøpskostnad og lisenskostnad ikke overgår kostnadsbesparelsen som følge 3D-laserskanneren for å konkludere at det er fordelaktig. Innkjøpskostnaden for Leica BLK 360 er i dag \$19 740, som tilsvarer 180 835NOK (Leica Geosystems, 2022).

Lisenskostnaden for programvaren Imerso er i dag 270 000NOK per år, for en datapakke som kan benyttes på fem prosjekter (M. Lohne fra Imerso AS, personlig kommunikasjon, 21. april 2022).

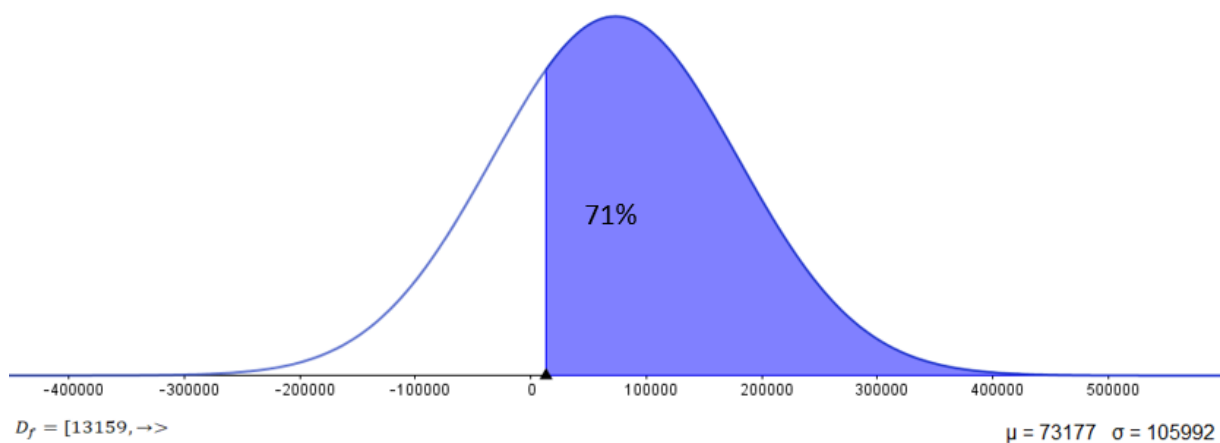
Det månedlige kostnadene fra laserskanning er helt avhengig av hvordan laserskanning brukes i bedriften. Vi antar at hvert prosjekt bruker hver sin Leica BLK 360 som har levetid på to år og programvaren blir benyttet på fire prosjekter samtidig. Det tilsvarer en månedlig kostnad på cirka 7 534NOK per måned for 3D-laserskanneren og en lisenskostnad på cirka 5 625NOK per prosjekt per måned. Totalt vil det da koste 13 159NOK per måned per prosjekt. Derfor må kostnadsbesparelsen som følge 3D-laserskanneren overgå 13 159NOK per måned per prosjekt for at investeringen skal lønne seg økonomisk.

Ifølge NS 8415, dersom underentreprenøren gjør en kontaktstridig utførelse, må UE foreta en utbedring og dekke nødvendige kostnader for utbedring. UE kan be om unntak for utbedring dersom kostnadene er uforholdsmessig store i forhold til det som oppnås. Hovedentreprenøren kan da kreve prisavslag for kontaktstridig utførelse (Standard Norge, 2008b, s. 9). Siden hovedentreprenører ikke står økonomisk ansvarlig for UE sine feil, kan avvik bli utbedret uten direkte kostnader eller kreve prisavslag for kontaktstridig utførelse.

Informantene sier at grunnlaget for kostnadsbesparelsen som følge av laserskanning kommer av å oppdage og utbedre avvik tidligere. De sier at ved manuelle målemetoder oppdages ofte avvikene når påfølgende fagfelt blir hindret i å utføre oppgavene sine. 3D-laserskanner oppdager avvik tidlig, derfor unngås krasj med påfølgende fag. Faktor 10-modellen er en måte å beskrive kostnaden for avvik. Faktor 10-modellen beskriver at et avvik vil koste ti ganger mer dersom det blir utbedret i siste liten sammenlignet med å bli utbedret med en gang. Kostnadsbesparelsen som følge 3D-laserskanning kommer fra å oppdage og utbedre avvik tidligere.

I spørreundersøkelsen svarte respondentene at 3D-laserskanning gir en kostnadsbesparelse på prosjekter. Resultatene fra spørreundersøkelse fra kapittel 4.5.2 viser hvor stor kostnadsbesparelsen var på åtte prosjekter. Den gjennomsnittlige kostnadsbesparelsen var 73 177NOK per måned med et standardavvik på 105 992NOK per måned.

Normalfordelingen i figur 5.1 viser at det er 71% sannsynlighet for at kostnadsbesparelsen som følge 3D-laserskanneren vil være mer enn 13 159NOK per måned for prosjektene i dette utvalget.



Figur 5.1 Normalfordelingen for kostnadsbesparelse. (Geogebra, 2022).

Standardavviket er 145% av gjennomsnittet, så det er tydelig at det er stor variasjon i resultatene. Det er viktig å merke seg at noen prosjekter bare brukte laserskanneren periodisk, så de benyttet ikke 3D-laserskanneren til enhver tid. Samtidig er svarene basert på erfaringsbaserte approksimasjoner, så det reflekterer nødvendigvis ikke virkeligheten.

Resultatene fra intervju og spørreundersøkelsen viser at 3D-laserskanning medfører en kostnadsbesparelse. En raskere oppdagelse og utbedring av avvik gjør at man unngår at avvik får store kostnader. Spørreundersøkelsesresultatet viser 71% sannsynlighet for at kostnadsbesparelsen overgår investeringskostnaden på prosjektene i utvalget vårt. 3D-laserskanning gir en kostnadsbesparelse som har høy sannsynlighet for å overgå investeringskostnadene.

### 5.1.3 Flyteeffektivitet bedres av 3D-laserskanning

Totalentreprenører må bli ferdig til avtalt tidsfrist og 3D-laserskanning bedrer flyteeffektivitet på byggeprosjektene. Norsk standard beskriver hvilke økonomiske konsekvenser fremdrift

kan gi total-entreprenøren. Informantene forteller hvordan laserskanning bedrer flyteeffektiviteten og spørreundersøkelsen gir tallfestet data på hvor stor fremdriftsbeparelse blir. 3D-laserskanning bedrer flyte-effektiviteten slik at TE mulig kan unngå fremdriftskonsekvenser.

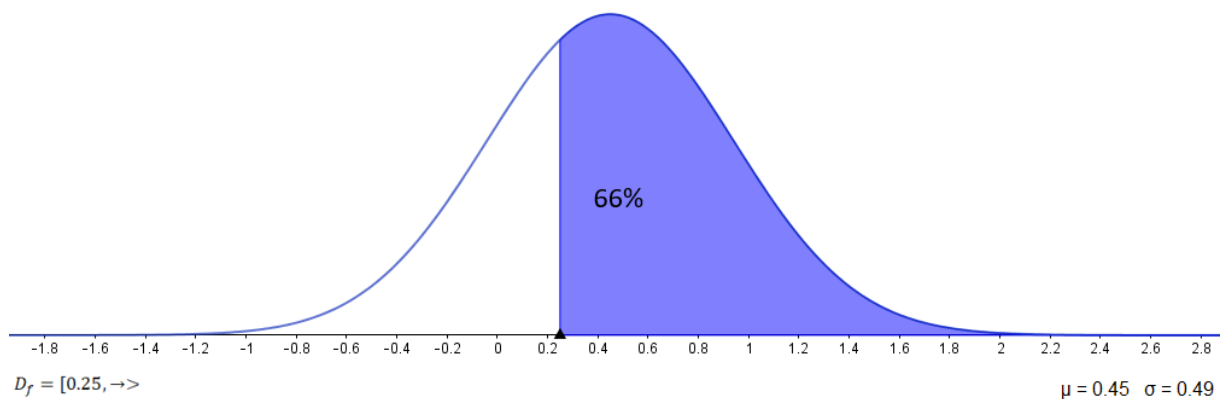
Entreprenører kontraktfester seg til å bli ferdig med et prosjekt til avtalt tidsfrist. Hvis tidsfristen ikke overholdes, gir det konsekvenser. Ifølge NS 8405 skal entreprenøren utarbeide en fremdriftsplan seks uker etter kontraktsinngåelse med byggherren. TE blir økonomisk belastet dersom fremdriftsplanen ikke overholdes (Standard Norge, 2008a, s. 13). Ifølge «*alminnelige kontraktsbestemmelser for totalentrepriser*» i NS8407, får TE dagmulkt på en promille av kontraktsum per dag prosjektet ikke er ferdig (Standard Norge, 2011, s. 37). I en bransje hvor kontraktssum og tidsfrist er avtalt på forhånd, må du levere kvalitet til rett tid.

Fremdriftsbeparelse tilsvarer god flyteeffektivitet. Flyteeffektiviteten måles på hvor lang tid en organisasjon bruker på å behandle en enhet. Fremdriftsplanen er entreprenørenes måte å måle tidsbruken til forskjellige prosesser. Ved å overholde eller ligge foran fremdriftsplanen viser det god flyteeffektivitet.

Informantene nevner at 3D-skanning gir en mulighet til å ligge foran planlagt fremdrift. Skanning oppdager avvik tidligere enn manuelle målemetoder og avvik kan dermed utbedres før etterkommende fag. Man bruker tid på å skanne, men tidsbeparelse av å oppdage et avvik før det skaper hindringer i fremgangen er mye større enn den tiden det tar å bruke skanneren. Kjellerveggen fra kapittel 4.3.1 som ble bygget 4cm for lavt er et godt eksempel på hvordan det å oppdage avvik tidligere sparte prosjektet unødvendig tapt tid. I tillegg er skanning en effektiv måte å dokumentere fremdriften på. 3D-laserskanning bedrer flyteeffektivitet ved å avdekke avvik tidlig foran fremdriften.

I henhold til 4.3.2 var tidsbeparelse knyttet til fremdrift for de ni prosjektene 0,45 dager per måned gjennomsnittlig, med standardavvik på 0,49. Det er viktig å merke seg at skanneren ikke nødvendigvis er brukt aktivt gjennom hele prosjektet. Mange prosjekter benyttet laserskanneren periodisk. De erfaringsbaserte approksimasjonene er basert på tidsbeparelse for hele prosjektet hittil, som følge 3D-laserskanning. En halv dag per måned høres lite ut, men med kontraktssum på flertallsmillioner kroner og prosjekter som strekker seg ut flere måneder og år, er hver dag spart store summer i dagmulkt.

Normalfordelingen i figur 5.2 viser at det er 66% sannsynlighet for at prosjektene fra utvalget sparer 0,25 eller mer dager fremdrift per måned.



Figur 5.2 Normalfordelingen for fremdrift besparelse. (Geogebra, 2022).

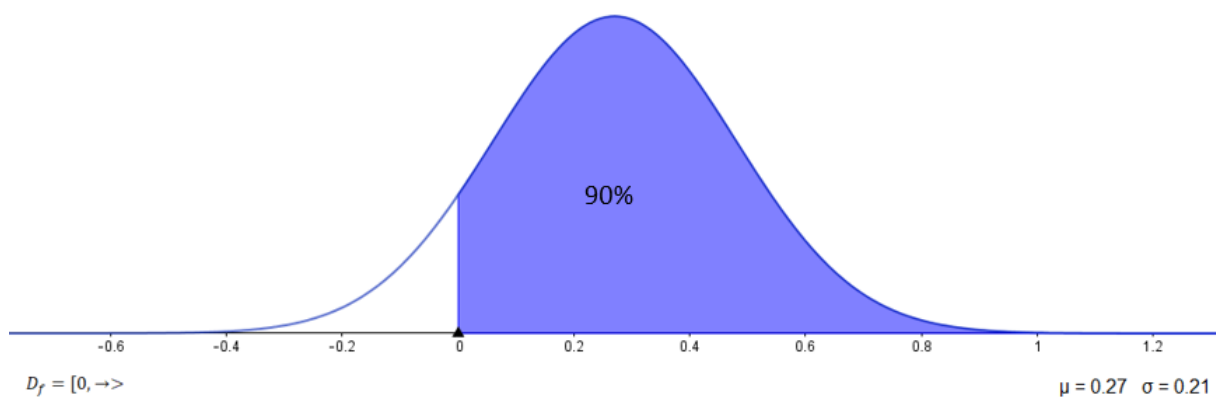
#### 5.1.4 Ressurseffektiviteten bedres av 3D-Laserskanning

TE er avhengig av å bruke ressursene effektivt, og 3D-laserskanning bedrer ressurseffektiviteten på prosjekter. Ved å oppnå høy ressurseffektivitet produserer ressursene verdi i større grad. Informantene forteller hvorfor ressurseffektiviteten bedres, og spørreundersøkelsen gir data på den administrative tidsbesparelsen som følge av laserskanning. Laserskanning bedrer ressurseffektiviteten slik at TE bruker tilgjengelige ressurser mer effektivt.

Administrative og innleide ressurser utgjør en stor del av en TE sine ressurser. Entreprenører må bruke ressursene sine så effektivt som mulig for å produsere verdi i større grad. TE leier inn ressurser og er ansvarlig for ledelse og organisering på byggeplass. Derfor er administrativ og innleid tidsbesparelse en viktig del av ressurseffektiviteten for TE.

Informantene sier at laserskanning bedrer ressurseffektiviteten for TE. De sier at det er en effektiv bruk av ressursene deres til KS samtidig som det effektiviserer avvikshåndteringen. Administrative ressurser blir frigjort og de får mer tid til å gjøre andre oppgaver. En informant sier at innleide ressurser som stikkere kan brukes mer effektivt. Stikkeren trenger bare å måle de objektene laserskanneren har utpekt som avvik. Ved at laserskanning effektiviserer bruken av ressursene, bedres ressurseffektiviteten hos totalentreprenører.

På spørreundersøkelsen svarte respondentene at 3D-laserskanning medfører administrativ tidsbesparelse. Spørreundersøkelsesresultatet fra kapitel 4.4.2 viser hvor stor den administrative tidsbesparelse var på åtte prosjekter som følge 3D-laserskanning. Den administrative tidsbesparelsen var 0,27 dager per måned med et standard avvik på 0,21. Normalfordelingen i figur 5.3 viser at det er 90% sannsynlighet for at laserskanneren sparer mer enn 0 dager administrativ tid per måned.



Figur 5.3 Normalfordelingen for administrativ tid. (Geogebra, 2022).

#### 5.1.5 Økt kvalitet som følge 3D-skanning

TE må forholde seg til toleranser og krav til kvalitet, og 3D-laserskanner øker kvaliteten til byggeprosjekter. Norsk standard definerer toleranser og ansvarsforholdet mellom forskjellige roller i byggeprosessen. Informantene beskriver hvordan 3D-laserskanner bedrer kvaliteten på byggeprosjekter. Siden 3D-laserskanner bedrer kvaliteten på byggeprosjekter, kan det brukes som et konkurransefortrinn.

På et byggeprosjekt må man forholde seg til visse toleranser og krav til kvalitet. Generelle krav til toleranser er beskrevet i NS 3420 (Standard Norge, 2019). Øvrige toleranser og kvalitetskrav avtales i kontrakt med byggherren, eller mellom TE og UE. TE har ifølge NS 8407 ansvar for å levere sluttproduktet til byggherren i samsvar med kravene i form av forskrifter, tegninger, modeller eller beskrivelser oppgitt i kontrakten (Standard Norge, 2011, s. 16). På lik linje står UE ansvarlig for å levere et kvalitetssikret arbeid til TE. UE har ansvar for å utføre sitt arbeid i samsvar med definerte krav oppgitt i kontrakten og norske standarder slik beskrevet i NS8415 (Standard Norge, 2008b, s. 11). TE og UE må forholde seg til definerte toleranser og definerte krav.

Kvalitet handler også om deltagernes forhold til sitt arbeid. Som beskrevet i 2.1.1 teori, «belønninger for bidragene kan også bestå av anerkjennelse for innsatsen, egen tilfredstillelse og forretningsmessige relasjoner» (Eikeland, 2001, s. 49). De som bidrar til et byggeprosjekt, kan føle stolthet av sin innsats hvis kvaliteten er høy.

Informantene sier at 3D-skanning brukes som et konkurransefortrinn av kvalitet ovenfor byggherre. 3D-laserskanning gjør at de bygger riktigere. I anbudsfasen kan 3D-laserskanning brukes som et salgsargument, ved at entreprenøren kan verifisere at bygget bygges eksakt lik 3D-modellen. Byggherren får bekreftende dokumentasjon på at han får levert det som ble avtalt som kan gi et konkurransefortrinn i anbudsfasen.

#### 5.1.6 Trygghet og as-built dokumentasjon

As-built sjekker at bygget som eksisterer i virkelighet er bygget likt som den prosjekterte modellen. Ved bruk av 3D-laserskanning lages en punktsky av byggets fysiske egenskaper. 3D-laserskanning på et byggeprosjekt kan øke tryggheten blant involverte aktører ved å føre as-built dokumentasjon.

Laserskanning gir en trygghet for involverte aktører. Informantene sier at 3D-laserskanning bekrefter at bygget i virkeligheten er slik det var prosjektert ved as-built dokumentasjon. Dette gir en trygghet på at bygget har en tilfredsstillende kvalitet. Det gir stor trygghet å ha en dokumentasjonsbank. En informant sier at deres distrikt har besluttet å benytte 3D-laserskanning på alle byggeprosjektene akkurat på grunn av tryggheten.

Det kan være slik at tryggheten som følger bruken av laserskanning kan potensielt være det viktigste aspektet. En feil på bærekonstruksjonen som ikke blir oppdaget kan mulig få katastrofale konsekvenser. 3D-laserskanning kan fungere som et sikkerhetsnett ved å oppdage feil i tidlig stadium på byggeprosjekter. På den måten utvikler ikke feilene seg til å gi store konsekvenser som gir en økt trygghet. Det kan medføre en mindre hektisk hverdag.

#### 5.2 Prosjektfaktorer som gir fordeler ved 3D-Laserskanning

Resultatene viser samsvar til hypotesen vår: «Det finnes en terskel som avhenger av kompleksitet og størrelse på et byggeprosjekt som vil være hovedfaktoren for vurdering av hvilke målemetoder til kvalitetssikring som er fordelaktig». Samtidig viser resultatene til alternative faktorer som gir fordeler ved 3D-laserskanning.

Resultatene fra intervjuene viser at det er vanskelig å avgjøre hvilke prosjekter som bruker 3D-laserskanning fordelaktig. Samtidig sier de at store prosjekter har flere måleobjekter, får flere avvik som følge av dette. Dette kan medføre større konsekvenser enn på mindre prosjekter. Et avvik i en tomannsbolig vil medføre lavere konsekvenser enn et bygg på ti etasjer. Noen prosjekttyper har større krav til kvalitet og kvalitetssikring blir mer viktig. Store prosjekter burde ha en KS-sjef som skanner hele tiden imens mindre bygg har ikke ressursene til å gjøre det like ofte.

Informantene versifisere hypotesen vår i noen grad, men viser også til andre aspekter som kan antyde fordelaktig bruk av 3D-laserskanning. De indikerer at det eksisterer en terskel relatert til størrelse og kompleksitet, som er grunnen til at noen prosjekter benytter 3D-laserskanning fordelaktig. De sier også at uerfarne underentreprenører eller rehabiliteringsbygg også kan være en faktor til at laserskanning benyttes fordelaktig. Informantene er enige med hypotesen vår, men viser samtidig til alternative faktorer som kan påvirke effekten 3D-laserskanning har på et byggeprosjekt.

Spørreundersøkelsen bekrefter hypotesen vår til den grad resultatene representerer virkeligheten. Resultatene viser at størrelsesordenene kontraktsum og BRA-areal har en sterk korrelasjon med kostnadsbesparelsen som følge laserskanning. Størrelsesordenene beskriver prosjektenes kompleksitet og størrelse. Større mengder av disse størrelsesordenene medfører en større kostnadsbesparelse. Mindre mengder av størrelsesordenen viser lavere kostnadsbesparelse. En spesifikk mengde størrelsesorden vil representere et gjennomsnittlig nullpunkt eller en terskel der kostnadsbesparelsen fra 3D-laserskanning er likt med månedskostnaden.

#### 5.2.1 Størrelsen på prosjekter som tar fordel av 3D-laserskanning

I dette kapitlet gjør vi regresjonsanalyser av resultatene fra spørreundersøkelsen.

Regresjonsanalyse kan indentifisere terskelen relatert til mengden størrelsesordener som gir kostnads- eller fremdriftsbeparelse. Terskelen er brytningspunktet der 3D-laserskanner begynner å vise fordeler. Vi gjør regresjonsanalyse av alle prosjektene samlet og identifiserer terskelen relatert til prosjektenes størrelsesordener.

En forutsetning for regresjonsanalysens nøyaktighet er sterk eller veldig sterk korrelasjon mellom størrelsesordenen og hovedspørsmålsresultatene relatert til kostnadsbesparelse og fremdriftsbeparelse. Fra resultatene i tabell 4.6 ser vi at noen korrelasjoner er sterkere enn

andre. En sterk korrelasjon betyr at det er en sterk sammenheng mellom besparelse og tilhørende størrelsesorden. Moderate til svake Korrelasjonskoeffisienter gir ingen hensiktsmessige resultater. Resultatene viser sterk korrelasjon mellom noen størrelsesordener og kostnadsbesparelse, men moderat til svak korrelasjon mellom størrelsesordener og fremdriftsbesparelse. Derfor vil regresjonsanalyse av fremdriftsbesparelsen ikke representere hensiktsmessige resultater. Regresjonsanalyse av kostnadsbesparelse vil indentifisere den gjennomsnittlige størrelsesterskelen til utvalget.

Vi identifiserer terskelen for størrelsesordener med sterk korrelasjon. Resultatene viser sterk korrelasjon mellom kostnadsbesparelse per måned med størrelsesordenene BRA-areal og kontraktsum. Spørreundersøkelsesresultatet viser ingen andre interessante sammenhenger relatert til størrelsesordener. Vi tegner grafen for kostnadsbesparelse per måned relatert til BRA-areal og kontraktssum ved hjelp av lineær-regresjonsanalyse. Deretter ser vi hvilke mengder der kostnadsbesparelse tilsvarer månedskostnaden på 13 159kr. Månedskostnaden fra 3D-laserskanning er helt avhengig av bruksmodellen og bedriftsspesifikke lisensavtaler, 13 159kr er derfor en grov tilnærming fra kapittel 5.1.2. Terskelen beskriver mengden størrelsesorden der kostnadsbesparelsen overgår månedskostnaden.

For å finne terskelen bruker vi Excels lineær-regresjonsanalyse. Hvert prosjekt blir tegnet inn som et punkt i et to-dimensjonalt aksesystem. X-verdien til prosjektet representerer en størrelsesorden og Y-verdien representerer kostnadsbesparelsen. Vi bruker Excels lineær-regresjonsanalyse til å tegne regresjonsformelen som er basert på minste kvadraters metode. Formel 5.1 viser utregningen:

Formel for utregning av terskel for størrelsesorden:

$$f(x) = a(x) + b; \text{ Lineær regresjon}$$

*Formel 5.1 Regresjonsformel*

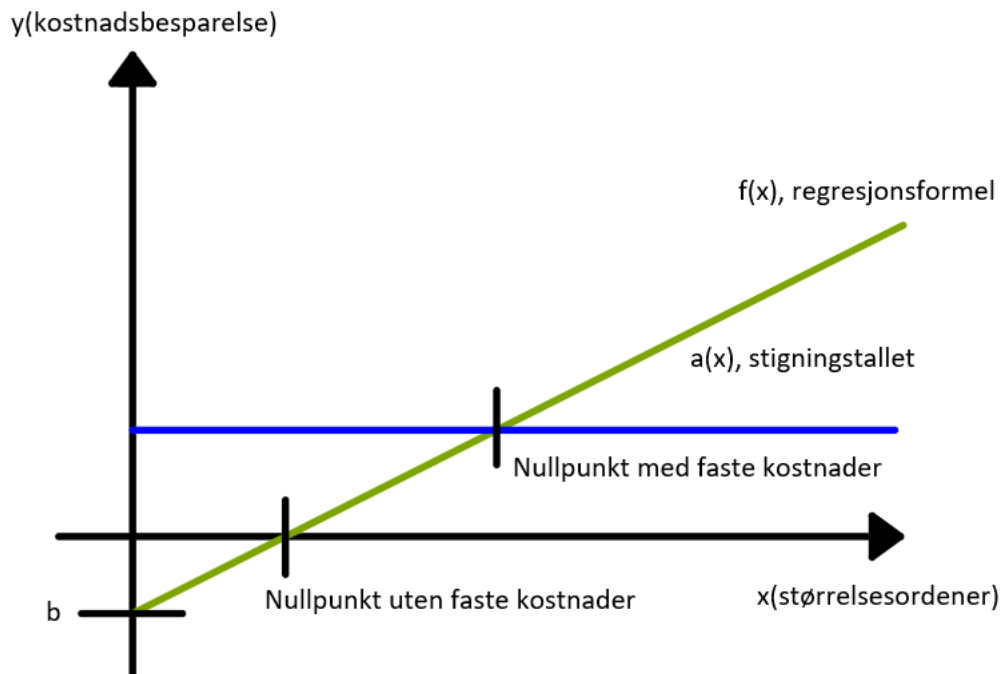
**f(x)** er regresjonsformelen. Når vi setter inn et tall for x, får vi ut en verdi. Denne verdien er kostnadsbesparelse.

**a(x)** er stigningstallet eller hvor bratt funksjonen er. Jo brattere funksjon, jo mer kostnadsbesparelse det er når størrelsesordenen øker.

**b** er tallet for hvor på y-aksen den lineære regresjonen treffer. Jo større negativ verdi for b, jo større må størrelsesordenen være for å komme opp til terskelen.



Figuren 5.4 illustrerer regresjonsformel med tilhørende nullpunkt eller terskel for at skanner skal spare penger:



Figur 5.4 Regresjonsformel for kostnadsbesparelse.

I følgende grafer vises kostnadsbesparelse langs y-aksen mot forskjellige størrelsesordener langs x-aksen. Grafene viser hvilke mengder størrelsesorden som tilsvarer en gjennomsnittlig månedlig kostnadsbesparelse. Krysningpunktet mellom grafen og faste kostnader er terskelen der prosjektene starter å overgå de faste kostnadene.

### Regresjonsanalyse resultatene

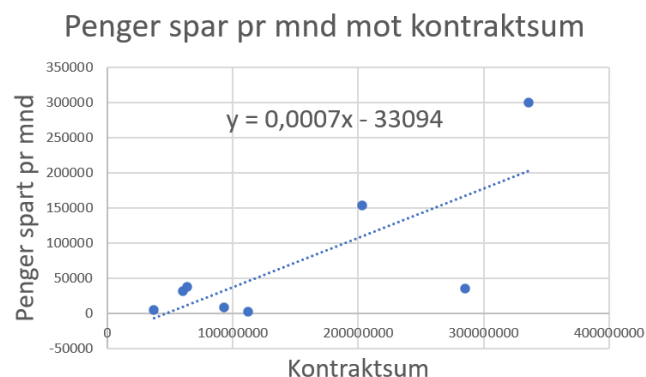
De følgende regresjonsanalyser blir gjort av alle prosjektene uten sortering. Det er sterk korrelasjon mellom prosjektenes kontraktssum og BRA-areal, se tabell 4.6. Derfor gjør vi regresjonsanalyse mellom kostnadsbesparelse per måned og størrelsesordenene kontraktssum (figur 5.5) og BRA-areal (figur 5.6). Vi identifiserer terskelen til når 3D-laserskanning begynner å gi en kostnadsbesparelse.

Regresjonsanalyse:

Kostnadsbesparelse per måned mot BRA-areal

$f(x) = 0,0007x - 33094$ ; Regresjonsformel

$r = 0,76$ ; Korrelasjonskoeffisient



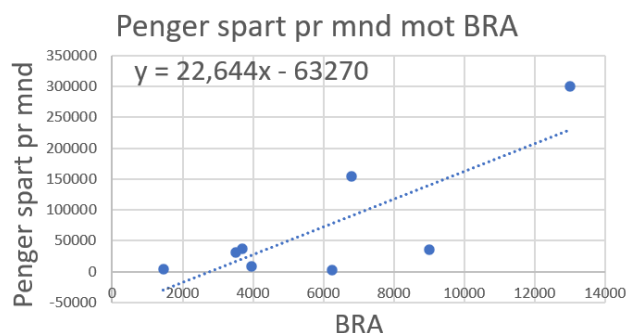
Figur 5.5 Kostnadsbesparelse mot kontraktsum

Regresjonsanalyse:

Kostnadsbesparelse per måned mot BRA-areal

$f(x) = 22,644x - 63\,270$ ; Regresjonsformel

$r = 0,80$ ; Korrelasjonskoeffisient



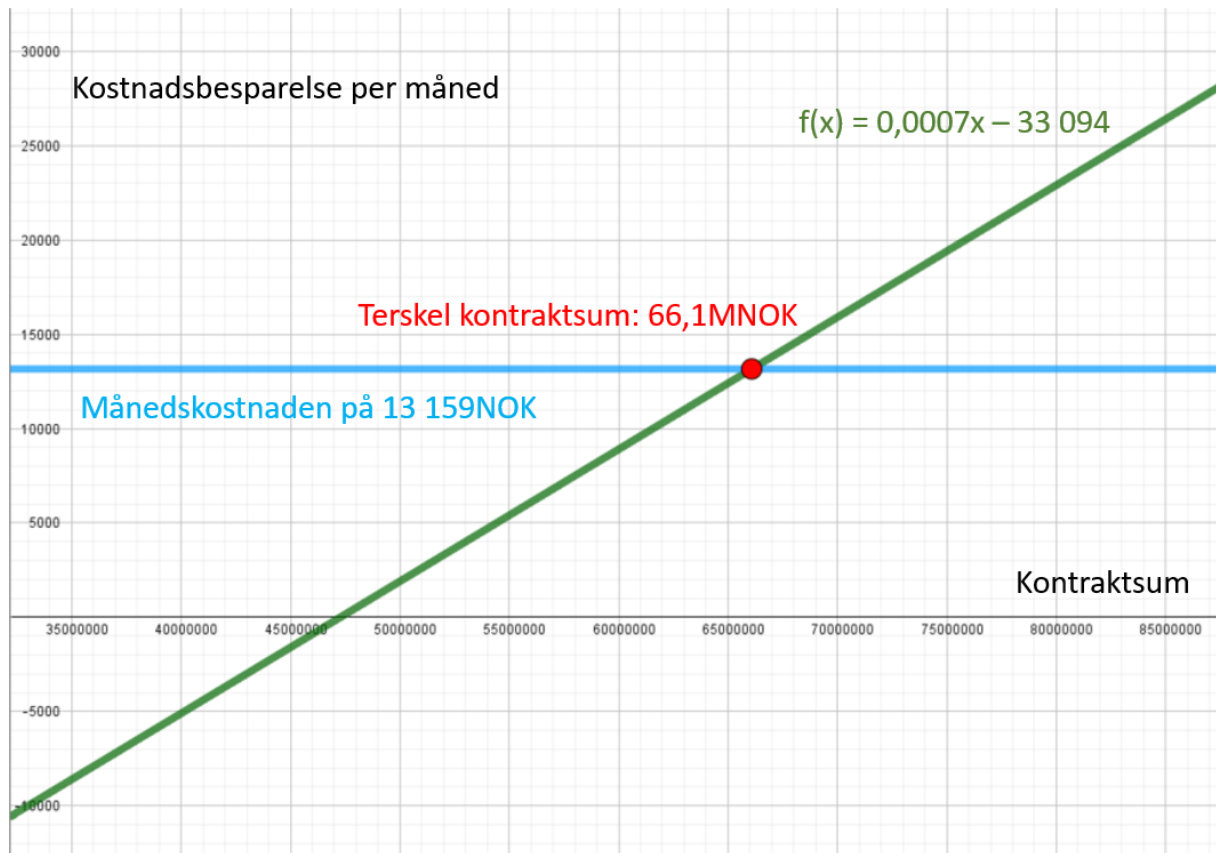
Figur 5.6 Kostnadsbesparelse mot BRA

Regresjonsanalysen viser at et prosjekt må ha en kontraktsum over 47,2MNOK og et bruttoareal over 2794m<sup>2</sup> for at prosjektet skal gjennomsnittlig begynne å få en kostnadsbesparelse. Men for at prosjektene skal få en fortjeneste på investeringen må kostnadsbesparelsen per måned overgå den månedlige kostnaden.

Regresjonsanalysen viser tydelig at større kontraktsum og større BRA-areal medfører en større kostnadsbesparelse. Vi fikk regresjonsformlene  $f(x) = 0,0007x - 33\,094$  for kontraktsum og  $f(x) = 22,644x - 63\,270$  for BRA. Utfra dette kan man sette inn en verdi for kontraktsum og BRA og se raskt om man kan spare penger på 3D skanner, og i så fall omtrent hvor mye.

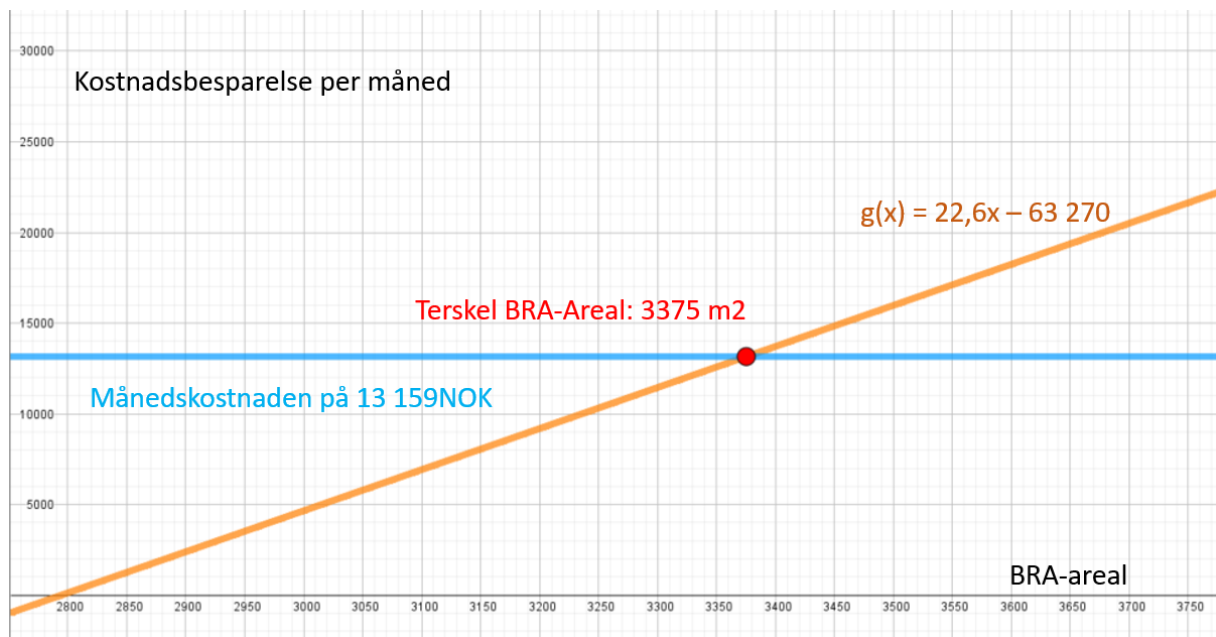
Vi tegner inn funksjonen fra regresjonsanalysen i GeoGebra med månedskostnaden og finner krysningpunktet som vist i figurer 5.7 og 5.8. Krysningpunktet beskriver hvilken mengde størrelsesorden der den gjennomsnittlige kostnadsbesparelsen er likt

månedskostnaden. Punktet er terskelen der kostnadsbesparelsen starter å overgå månedskostnaden gjennomsnittlig.



Figur 5.7 Terskel for kostnadsbesparelse med faste utgifter.

Figur 5.7 viser at 66,1MNOK er størrelsen for kontraktsum der den gjennomsnittlige kostnadsbesparelsen starter å overgå kostnadene per måned. Terskelen er størrelsen der kostnadsbesparelsen er likt med investeringskostnadene. Prosjektene med kontraktsum over terskelen mottar gjennomsnittlig en fortjeneste som følge 3D-laserskanning. Kostnadsbesparelsen per måned overgår månedskostnaden gjennomsnittlig for prosjekter med kontraktsum over 66,1MNOK.



Figur 5.8 Terskel for størrelsesorden areal kostnadsbesparelse.

Figur 5.8 viser at 3 375m<sup>2</sup> er størrelse BRA-areal der den gjennomsnittlige kostnadsbesparelsen starter å overgå kostnadene per måned. Terskelen er størrelsen der kostnadsbesparelsen er likt med investeringskostnadene. Prosjektene med BRA-areal over terskelen mottar gjennomsnittlig en fortjeneste som følge 3D-laserskanning. Kostnadsbesparelsen per måned overgår månedskostnaden gjennomsnittlig for prosjekter med kontraktsum over 3 375m<sup>2</sup>.

Vi identifiserer den gjennomsnittlige terskelen, men det er stor variasjon i svarene. Resultatene fra regresjonsanalysen viser at prosjekter med kontraktsum over 66,1MNOK og BRA-areal over 3 375m<sup>2</sup> gjennomsiktig overgår den månedlige kostnaden på 13 159kr. Samtidig er det noe variasjon i svarene, derfor er det usikkert at et gjennomsnitt vil representere realiteten for flertallet prosjekter. Uavhengig av variasjon vil terskelen være et godt utgangspunkt til vurdering av hvilke prosjekter som tar fordel av 3D-laserskanning.

### 5.2.2 Slutningsstatistikk av regresjonsanalysen

I dette kapitlet gjør vi slutningsstatistikk for å avgjøre i hvilken grad regresjonsanalysen er statistikksignifikant. Ved å teste om regresjonsanalysene er statistikksignifikante kan vi avgjøre hvilken grad regresjonsanalysen er felles representativ for hele populasjonen. Hvis regresjonsanalysen er statistisk signifikant, kan vi estimere øverste og nederste grenseverdi for hele populasjonen med 95% sannsynlighet.

Vi bruker Excels data-analyseverktøy til å teste påliteligheten til resultatene.

For at resultatene skal være pålitelige må signifikans-F tallet være mindre en 0,05. F-testen beskriver P-verdi signifikansen til hele regresjons modellen. Signifikant-F tallet må være lavere en 0,05 for at modellen skal gi en bedre representasjon enn individuelle uavhengige variabler. Når F-tallet er lavere en 0,05 eksisterer det en kurve som differensierer seg fra null i hele populasjonen (Gordon et al., 2020, s. 20).

Hvis koeffisient P-verdien er lavere enn 0,05 beviser det at skjæringspunktet med y-aksen  $b \neq 0$ , og/eller at stigningstallet  $a(x) \neq 0$  med en 95% sannsynlighet. I vårt tilfelle er vi bare interessert i at svingningstallet  $a(x)$  er større enn null. Hvis stigningstallet er større enn null vil det bekrefte hypotesen vår. Det vil da eksistere en terskel som avhenger av kontraktsum og eller BRA-areal der kostnadsbesparelsen overgår investeringskostnadene.

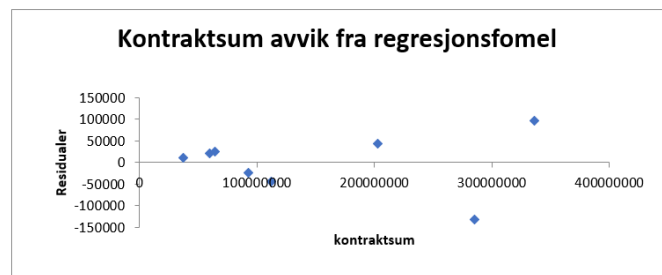
Øverste og nederste 95% beskriver øverste og nederste koeffisientverdiene for  $a(x)$  og  $b$  for hele populasjonen. Disse fire verdiene beskriver intervallet ved regresjonsanalyse for hele populasjonen med en 95% sannsynlighet.

### Slutning statistikk – Kontraktsum og kostnadsbesparelse

Tabell 5.1 og figur 5.9 beskriver avstanden mellom alle prosjektenes avvik ifra regresjonsformelen. Standardfeilen er 73 669NOK.

Tabell 5.1 Dataanalyse for regresjon-kontraktsum.

AVVIK (UTDATA)		
Observasjon	Forventet besparelse	Avvik fra forventet besparelse
1	9114,397593	22135,60241
2	109711,8313	44134,16871
3	203274,4794	96725,52059
4	167397,073	-132397,073
5	11928,31182	25571,68818
6	-7065,609226	11232,60923
7	45906,32614	-43406,32614
8	32329,18998	-23996,18998



Figur 5.9 Dataanalyse for regresjon-kontraktsum.

Dataanalysetabell 5.2 identifiserer usikkerheten ved regresjonsanalysen på bakgrunn av variasjonsbredden til utvalget.

Tabell 5.2 Dataanalyse av regresjons- kontraktsum og kostnadsbesparelse.

Dataanalyse av regresjonsanalyse mellom kontraktsum og kostnadsbesparelse per måned								
SAMMENDRAG (UTDATA)								
<i>Regresjonsstatistikk</i>								
Multipel R	0,757436782							
R-kvadrat	0,573710479							
Justert R-kvadrat	0,502662226							
Standardfeil	73668,88764							
Observasjoner	8							
<i>Variansanalyse</i>								
	<i>fg</i>	<i>SK</i>	<i>GK</i>	<i>F</i>	<i>Signifikans-F</i>			
Regresjon	1	43823554552	43823554552	8,074941336	0,029503224			
Residualer	6	32562630040	5427105007					
Totalt	7	76386184592						
	<i>Koeffisienter</i>	<i>Standardfeil</i>	<i>t-Stat</i>	<i>P-verdi</i>	<i>Nederste 95%</i>	<i>Øverste 95%</i>	<i>Nedre 50,0%</i>	<i>Øverste 50,0%</i>
Skjæringspunkt (b)	-33094,31585	45112,34647	-0,73359775	0,490853114	-143480,251	77291,6194	-65465,05	-723,581873
kontraktsum a(x)	0,000703479	0,00024756	2,841644125	0,029503224	9,77201E-05	0,00130924	0,0005258	0,000881118

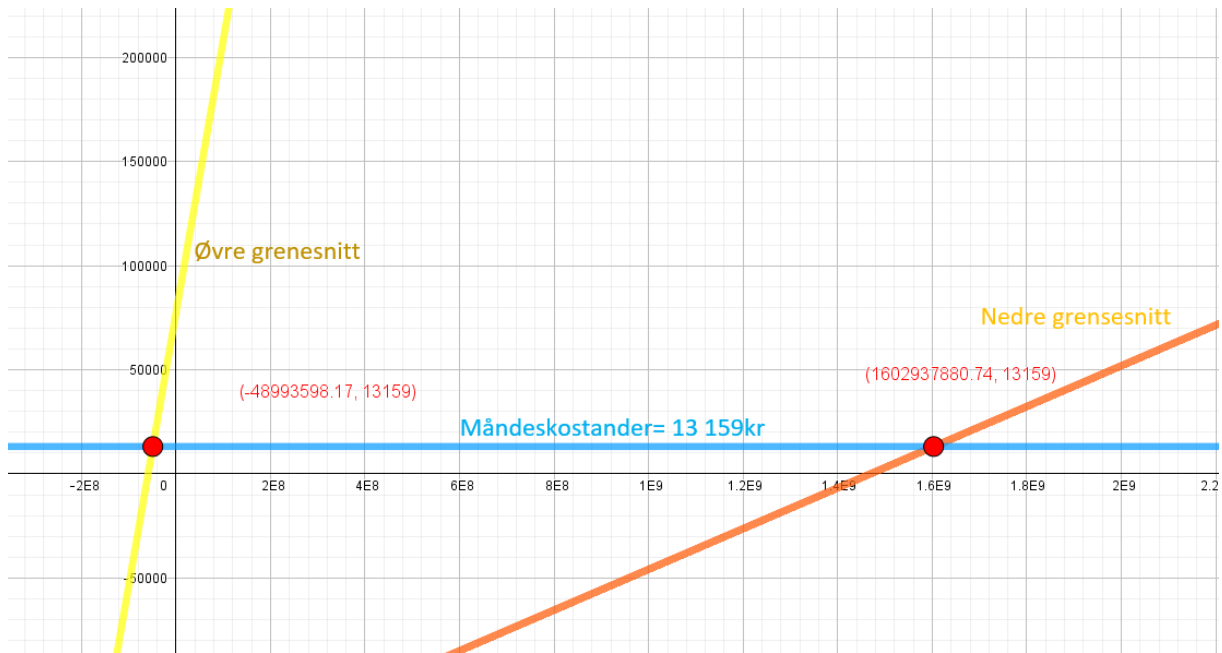
Tabell 5.2 viser at signifikans-F verdien er  $0,0295 < 0,05$ . F-testen tilsier at resultatene fra regresjonsanalysen er statistisk signifikante. Samtidig er det nødvendig med en mye lavere signifikansverdi for å trekke brukbare konklusjoner. Resultatene fra regresjonsanalysen er statistisk signifikant og er derfor felles representative til en liten grad.

Koeffisient P-verdien for stigningstallet  $a(x)$  er  $0,0295$ . Dette bekrefter at stigningstallet for hele populasjonene ikke er null med  $97,05\%$  sannsynlighet. Det eksisterer et svingningstall relatert til kontraktsum og det bekrefter hypotesen vår.

Resultatene viser at en regresjonsanalyse av hele populasjonene har  $95\%$  sannsynlighet for å ligge mellom øverste og nederste grenseverdi som vist i figur 5.10.

Øvre grenseverdi: 
$$\varnothing(x) = 0,001309x + 77291,62$$

Nedre grenseverdi: 
$$n(x) = 9,77201 * 10^{-5}x - 143480,25$$



Figur 5.10 Øvre og nedregrense kontraktsum.

Vi kan derfor med 95% sannsynlighet si at terskelen der kostnadsbesparelsen overgår månedskostnadene ligger mellom intervallet [-49MNOK, 1 602,3MNOK] av kontraktsum. Dette intervallet er statistisk signifikant og felles representativt, men intervallet er alt for stort for at dataen skal være brukbar.

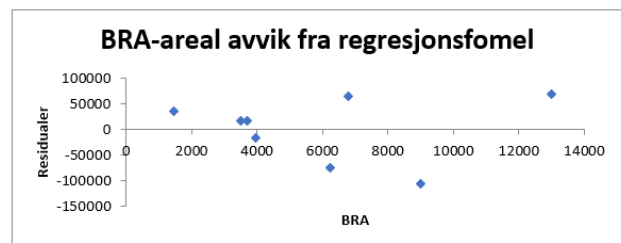
Samtidig kan vi med 50% sannsynlighet si at intervallet for terskelen ligger mellom [15,7MNOK, 149,5MNOK]. Dette intervallet er brukbart, men intervallet er ikke statistisk signifikant og derfor ikke felles representativt.

### Slutning statistikk – BRA-areal og kostnadsbesparelse

Tabell 5.3 og figur 5.11 beskriver avstanden mellom alle prosjektenes avvik ifra regresjonsformelen. Standardfeilen er 67 837NOK.

Tabell 5.3 Dataanalyse for regresjon-BRA-areal.  
AVVIK (UTDATA)

Observasjon	Forventet besparelse	Avvik fra forventet besparelse
1	15984	15266
2	90709	63137
3	231100	68900
4	140525	-105525
5	20513	16987
6	-30436	34603
7	78028	-75528
8	26174	-17841



Figur 5.11 Dataanalyse for regresjon-BRA-areal.

Dataanalysetabell 5.4 identifiserer usikkerheten ved regresjonsanalysen på bakgrunn av variasjonsbredden til utvalget.

Tabell 5.4 Dataanalyse av regresjon- BRA-areal og kostnadsbesparelse.

Dataanalyse av regresjonsanalyse mellom BRA-areal og kostnadsbesparelse per måned									
SAMMENDRAG (UTDATA)									
<i>Regresjonsstatistikk</i>									
Multipel R	0,799085087								
R-kvadrat	0,638536976								
Justert R-kvadrat	0,578293139								
Standardfeil	67836,54531								
Observasjoner	8								
Variansanalyse									
	<i>fg</i>	<i>SK</i>	<i>GK</i>	<i>F</i>	<i>Signifikans-F</i>				
Regresjon	1	48775403312	4,878E+10	10,599208	0,01734323				
Residualer	6	27610781280	4,602E+09						
Totalt	7	76386184592							
	<i>Koeffisienter</i>	<i>Standardfeil</i>	<i>t-Stat</i>	<i>P-verdi</i>	<i>Nederste 95%</i>	<i>Øverste 95%</i>	<i>Nedre 50,0%</i>	<i>Øverste 50,0%</i>	
Skjæringspunkt (b)	-63269,51328	47861,48162	-1,3219297	0,2343533	-180382,34	53843,313	-97612,912	-28926,1148	
BRA a(x)	22,64383094	6,955257159	3,2556425	0,0173432	5,62492978	39,662732	17,653029	27,63463273	

Tabell 5.4 viser at signifikans-F verdien er  $0,0173 < 0,05$ . F-testen tilsier at resultatene fra regresjonsanalysen er statistisk signifikante. Dette tilsier at regresjonsanalysen av BRA-areal er mer signifikant enn kontraktsum. Samtidig er det nødvendig med en mye lavere signifikansverdi for å trekke brukbare konklusjoner med 95% sikkerhet. Resultatene fra regresjonsanalysen er signifikant og er derfor felles representative til en liten grad.

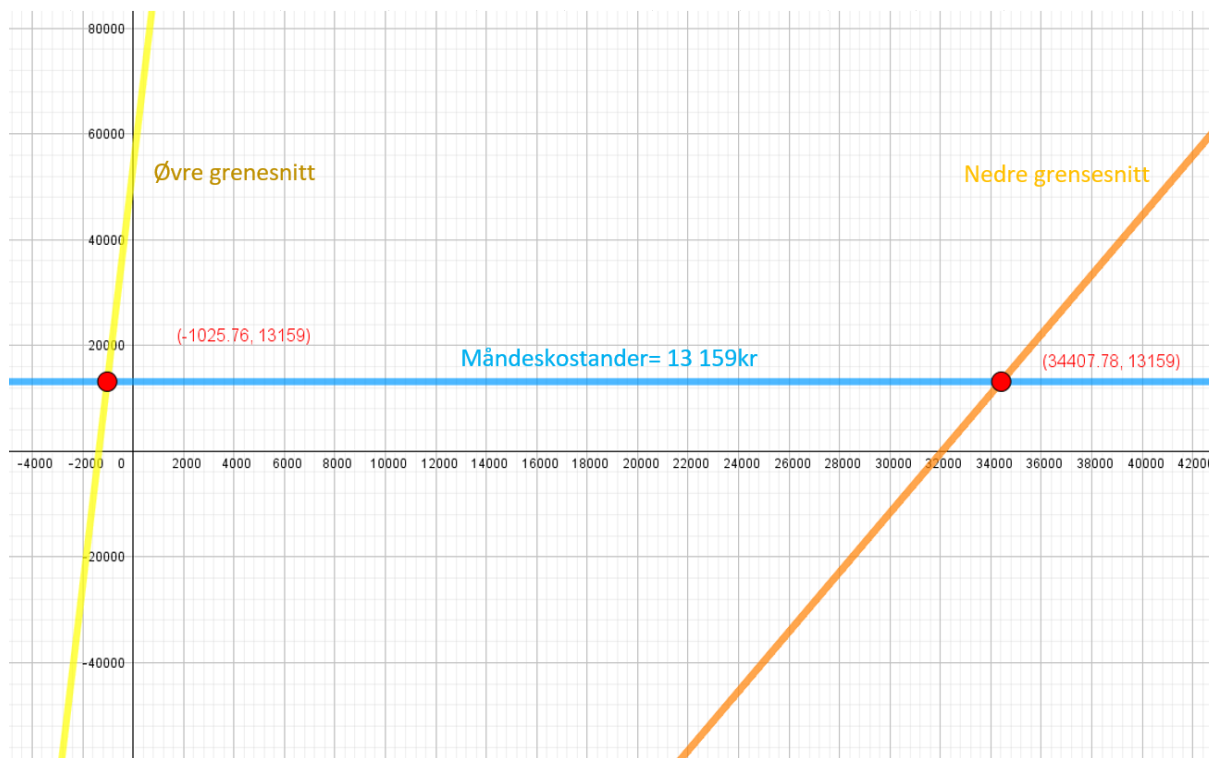
Koeffisient P-verdien for stigningstallet a(x) er  $0,0173 < 0,05$ . Dette bekrefter at stigningstallet for hele populasjonene ikke er null med 98,27% sannsynlighet. Det eksisterer et svingningstall relatert til kontraktsum og dette bekrefter hypotesen vår.

Resultatene viser at en regresjonsanalyse av hele populasjonene har 95% sannsynlighet for å ligge mellom øverste og nederste grenseverdi som vist i figur 5.12.

Øvre grenseverdi:  $\varnothing(x) = 39,6627x + 53843,31$

Nedre grenseverdi:  $n(x) = 5,62493x - 180382,34$





Figur 5.12 Øvre og nedregrese BRA-areal.

Vi kan derfor med 95% sannsynlighet si at terskelen der kostnadsbesparelsen overgår månedskostnadene ligger mellom konfidensintervallet  $[-1\ 024\text{m}^2, 34\ 407\text{m}^2]$  for BRA-areal. Dette intervallet er statistisk signifikant og felles representativt, men intervallet er alt for stort for at dataen skal være brukbar.

Samtidig kan vi med 50% sannsynlighet si at intervallet for tekselen ligger mellom konfidensintervallet  $[1\ 523\text{m}^2, 6\ 275\text{m}^2]$ . Dette intervallet er brukbart, men intervallet er ikke statistisk signifikant og derfor ikke felles representativt.

### 5.3 Fremtiden for 3D-laserskanning

3D-laserskann teknologi er under utvikling, særlig i byggebransjen. Kunnskapen om 3D-laserskanning er fortsatt svak, og implementering av teknologien er sjelden. Det er først nå laserskanning begynner å få mer oppmerksomhet i bransjen. Dagens skannere klarer å måle med høy nøyaktighet. Det finnes forskjellige skannere og programvarealternativer, men ikke alle er like konkurransedyktige. Teknologien kan i dag bli sett på som dyrt, unødvendig og ikke utprøvd. Dette er kanskje grunnen til at byggebransjen henger etter i implementering av teknologi sammenlignet med andre bransjer.

Det er grunn til å tro at effekten laserskanning bringer vil endres fremover i tid. 3D-laserskanning kan føre til en belærende effekt blant flere involverte roller på

byggeprosjekter. Derfor kan man anta at implementering av 3D-laserskanning vil medføre en videreutvikling av hele bransjen. Kompetanse og kunnskap relatert til effektiv utnyttelse vil øke med tiden 3D-laserskanning benyttes. Samtidig kan bruks- og betalingsmodellen bedres over tid. Programvarer og skannere kan bedres og verktøyet kan bli billigere som følge av konkurranse i markedet. 3D-laserskannerens effekt vil mest sannsynlig økes i fremtiden.

#### 5.3.1 Belærende effekt

I intervjuene ble det nevnt belærende effekt. Underentreprenører og prosjekterende blir mer involvert i prosjektet ved at de kan se på hva som ble bygget og eventuelle avvik.

Underentreprenører blir flinkere til å følge teninger, og prosjekterende får et bedre bilde av hva som faktisk skjer på en byggeplass. Denne utviklingen av ferdigheter og kunnskap som følge 3D-laserskanning har potensiale til å heve kompetansen på en stor del av bransjen.

Prosjekterende og underentreprenører får en belærende effekt. En informant forteller om et prosjekt hvor de brukte skanner kontinuerlig over ti etasjer. Der var det mye avvik i begynnelsen, men de bygde riktigere jo lengre oppover de gikk. Informanten så at underentreprenørene ble flinkere til å bygge etter tegningene. For underentreprenører kan de få en bedre forståelse av feil eller avvik i deres arbeid ved å se på 3D-skann sammenlignet med prosjektert 3D-modell. Dette kan også være et nyttig verktøy for prosjekterende som ikke alltid har mye praktisk erfaring på byggeplassen. De ser hvordan arbeidet faktisk utføres og kan lære av underentreprenøren. De kan også se på mulige vanskeligheter som kan oppstå under bygging før det skjer basert på hva de har sett fra 3D-bilder. I fremtiden kan 3D-laserskanning bidra med å gjøre bransjen mer kompetent.

#### 5.3.2 Skann kompetanse vil øke

Informantene er enige om at hvem som helst klarer å gjøre selve skanningen, men bearbeiding av data krever kunnskap. Bearbeidingen krever litt opplæring, og selv BIM kunnskaper er ikke alltid nok. I fremtiden kan kunnskap om 3D-laserskanning øke, og vi vil muligens se en lignende utvikling som BIM. Nå oppfattes skanning som ny, og kunnskapen relatert til verktøyet vil øke. Med tiden kan laserskanning bli en vanlig eller vesentlig del av jobben. Det vil kanskje utvikles spesialister for skanning eller skann-databehandling som øker dets effekt på bransjen. Hvis 3D-laserskanning blir bredere implementert i bransjen blir kunnskapen knyttet til den mer alminnelig. Tillitten og kunnskapen knyttet til måleverktøyet vil derfor øke.

### 5.3.3 Effektivisering av bruksmodell

Kunnskapen relatert til effektivt bruk av laserskanner vil sannsynligvis bedres med tiden.

Betonmast har noen distrikter med 3D-skanner med en ide om hvordan laserskanneren kan brukes mest effektivt. Det er blandede ideer om hvordan den bør brukes og hvordan det er mest effektivt å skanne. På noen prosjekter har skanneren blitt brukt kontinuerlig, på andre periodisk. I fremtiden kan teknologien bli bruk gjennom innleide ressurser eller brukes i samband med annen ny teknologi. Det er mange muligheter for at bruksmodellen til 3D-laserskanning vil endres og bli mer effektivt implementert i fremtiden.

Det er litt usikkert hvordan bruksmodellen vil utvikle seg i fremtiden. Skal man ha en skanner per prosjekt eller en på deling over mange prosjekter? Kanskje alle på bedriften får opplæring i verktøyet. Det kan være det er lurt å bare ha noen 3D-skanningsansvarlige i et selskap som til enhver tid skanner de forskjellige pågående prosjektene. Bruksmodellen til verktøyet vil effektiviseres og bedrifter vil motta en større fortjeneste på investeringene.

Kanskje det er lønnsomt å bare benytte 3D-laserskanner periodisk gjennom kritiske faser av byggeprosessen. Resultatene viser at det er lignende tids- og kostnadsbesparelse for både kontinuerlig og periodisk skanning. Det kan vise seg å være lønnsomt å bare benytte 3D-laserskanner periodisk igjennom faser der 3D-laserskanning gir best utnyttelse.

I fremtiden kan det lønne seg å leie inn folk for å skanne, på samme måte som for landmålere. Hvis det bare er behov for periodisk skanning vil det si at man nødvendigvis ikke trenger å eie en skanner. I fremtiden kan det være mulighet for å leie 3D-laserskanningspecialister flere ganger i løpet av prosjektet. En innleid ressurs går ut og plasserer skanneren, behandler dataen og leverer resultatene til totalentreprenøren.

En annen alternativ bruksmodell er at man kommer til å benytte flere typer teknologier i kombinasjon med 3D-skanner. Man kan benytte AR teknologi til å gå i bygget og se den virtuelle BIM modellen gjennom enten en skjerm eller briller, som vil representere modellen, og man kan umiddelbart se om utført bygg samsvarer med prosjektert bygg. Dersom man ser avvik på denne måten kan man raskt se akkurat hvilket område som bør skannes, og man kan analysere avviket og vurdere mulige tiltak.

Det er mange muligheter for hvordan bruksmodellen til 3D-laserskanner vil endres i fremtiden. Det er vanskelig å si i dag hvordan en 3D-laserskanner kan brukes mer effektivt, men eneste måten å finne ut av dette er gjennom prøving og feiling gjennom gjentatte

observasjoner. Bruksmodellen til 3D-laserskanner vil trolig endres med tiden og bli mer resurseffektiv.

#### 5.3.4 Endring av lisens og innkjøpskostnad

Innkjøpskostnad for 3D-laserskanner og lisenskostnad for programvaren vil sannsynligvis endres med økt konkurranse. Det finnes andre skannere og programvarer, men i denne rapporten nevnes kun Leica BLK 360 og Imerso fordi det var brukt av Betonmast. Det virker som Leica og Imerso har et fåtall konkurrenter for øyeblikket, som kan føre til kunstig høy investeringskostnad. De høye investeringskostnadene kan være et avskrekkende aspekt for å bruke 3D-skannteknologi. Investeringskostnadene er en av grunnene til at selskaper nøler med implementering av ny teknologi. Vi tror at det blir flere leverandører med tiden og prisene vil avta.

I fremtiden benytter man kanskje innleide ressurser. Da betaler man kanskje per time, per kvadratmeter eller per gigabyte. Det er vanskelig å si hvordan prisingen vil være for innleide 3D-laserskann ressurser. Det vil uansett være påvirket av innkjøps og lisenskostnadene til 3D-laserskanneren.

Informantene er enige om at det er dyrt å skanne. Man betaler en engangspris for selve skanneren, og har månedlige kostnader knyttet til programvare og lisens. Prisen i dag er rundt 19 740USD for skanneren, for lisens for Imerso programvare er 270 000NOK årlig for en 500GB datapakke. Disse prisene er bare en pekepinn fordi prisene vil variere avhengig av hvilke avtaler du har med leverandører. Disse prisene vil sannsynligvis endres fremover med konkurranse og større implementering av teknologien.

## 6. Konklusjon

Formålet med oppgaven var å finne hvilke prosjekter som fordelaktig benytter 3D-laserskanning over manuelle målemetoder. Resultatene viser hvilke effekter 3D-laserskanning har på et byggeprosjekt. Videre beskriver rapporten hvilke kjennetegn prosjekter som fordelaktig benytter 3D-laserskanning har. Resultatene kan medføre en bredere implementering av 3D-laserskanning i byggebransjen, fordi rapporten gir totalentreprenører et bedre beslutningsgrunnlag til å anvende eller avvente ny teknologi.

### **«Hva kjennetegner byggeprosjekter hvor 3D-laserskanning er fordelaktig over manuell måling til kvalitetssikring?»**

Resultatene fra rapporten viser at noen prosjekter får større fordeler av 3D-laserskanning over manuelle målemetoder. Resultatene fra intervjuer og spørreundersøkelsen viser noe samsvar med hypotesen vår: *«Det finnes en terskel som avhenger av kompleksitet og størrelse på et byggeprosjekt som vil være hovedfaktoren for vurdering av hvilke målemetoder til kvalitetssikring som er fordelaktig»*. Spørreundersøkelsesresultatet bekrefter med over 95% sannsynlighet at det eksisterer en terskel relater til kostnadsbesparelse og størrelsesordenene kontraktsum og BRA-areal. Størrelsen på fordelene kan i stor grad knyttes til mengden på størrelsesordener relatert til prosjektets kompleksitet og størrelse. Samtidig sier informantene at rehabiliteringsprosjekter og uerfarne underentreprenører kan være faktorer som gjør 3D-laserskanning mer fordelaktig, men er nødvendigvis ikke en hovedfaktor. Resultatene viser at størrelsesordener er en hovedfaktor for å avgjøre hvilken målemetode som er fordelaktig.

Undersøkelsen viser at prosjektene i utvalget fikk store fordeler som følge 3D-laserskanning. Hundre prosent av respondentene fra spørreundersøkelsen svarte at fordelene ved 3D-laserskanning veide opp for ulempe. De hadde en gjennomsnittlig kostnadsbesparelse på 73 177NOK per måned og en gjennomsnittlig fremdriftsbetjening på 0,45 dager per måned. Resultatene viser at utvalget fra undersøkelsen hadde en 71% sannsynlighet for at kostnadsbesparelsen overgikk investeringskostnadene. Det tyder på at prosjektene i utvalget var over terskelen relatert til størrelsesordener for fordelaktig bruk av 3D-laserskanning. Resultatet viser at 3D-laserskanning var fordelaktig for prosjektene i utvalget.

**«Hvilke mengder på størrelsesordener til byggeprosjekter gjør at det er fordelaktig for total-entreprisen å benytte 3D-laserskanner istedenfor manuelle målemetoder til kvalitetssikring gjennom råbyggsfasen?»**

Rapport-resultatene viser sammenhengen mellom størrelsesordener og kostnadsbesparelse. Spørreundersøkelsesresultatet viser at det er sterk korrelasjon mellom kostnadsbesparelse og størrelsesordenene kontraktsum og BRA-areal. Størrelsesordenene hadde en moderat til veldig lav korrelasjon mellom fremdriftsbesparelse og forskjellige størrelsesordener. Resultatet indikerer at større mengder BRA-areal og kontraktsum gir større kostnadsbesparelse, men viser ingen sammenheng mellom mengder og fremdriftsbesparelse.

Ved å gjøre lineær-regresjonsanalyse av prosjektene fra utvalget identifiseres terskelen der kostnadsbesparelsen er lik med månedskostnaden. For prosjekter med mengder over tersklene vil kostnadsbesparelsen gjennomsnittlig overgå månedskostnaden og prosjektene vil motta en fortjeneste på investeringen. Resultatene viser at gjennomsnittlig terskelen for utvalget i undersøkelsen er 66,1MNOK i kontraktsum og 3 375m<sup>2</sup> i BRA-areal. Vi kan med 95% sannsynlighet si at terskelen for hele populasjonen ligger mellom intervallet [-49MNOK, 1 602MNOK] for kontraktsum og [-1 024m<sup>2</sup>, 34 407m<sup>2</sup>] for BRA-areal. Intervallene er statistisk signifikante og felles representative for hele populasjonen, men intervallene er for store for å være brukbare. Kostnadsbesparelse er en ufullstendig indikator på hva som gjør 3D-laserskanning fordelaktig. Det er mange aspekter som viser 3D-laserskanning fordelaktig ovenfor manuelle målemetoder. At kostnadsbesparelsen overgår investeringskostnaden, er bare en del av en kompleks helhet. Kostnadsbesparelse er en ufullstendig indikator, men gir et grunnlag for vurdering av hvilke prosjekter som benytter 3D-laserskanning fordelaktig.

**«Hva er 3D-laserskannerens påvirkning på prosjektet i sin helhet?»**

3D-laserskanning har mange aspekter som påvirker prosjekter i sin helhet. Målemetoden gir en kostnadsbesparelse i tillegg til at den øker prosjektenes flyt og ressurseffektivitet. Laserskanning gjør at entreprenøren bygger mer riktig, det øker kvaliteten og kan brukes som et konkurransefortrinn i anbudsfasen. Samtidig gir det en merkbar belærende effekt på involverte prosjekterende og underentreprenører på prosjektet. Det betrygger totalentreprenøren på at bygget deres er tilfredsstillende, som kan bidra til en mindre hektisk hverdag. 3D-laserskanning påvirker prosjekter med mange positive aspekter, men implementeringen av teknologien krever at entreprenøren gjør en relativt stor økonomisk investering.

## 7. Videre Forskning

Denne rapporten bedret forståelsen av 3D-laserskanningens overordnede påvirkning på byggeprosjekter. I fremtiden vil laserskanning være bredere implementert som gir muligheter for en større datasamling, og se mer spesifikke sammenhenger. Det vil være mulig å gjøre grundigere investeringsanalyser for bedrifter, samt forskning på bruksmodeller for 3D-laserskanning.

I vår oppgave var vi noe begrenset siden 3D-laserskanning ikke er bredt implementert. I fremtiden kan det være mulig å se på flere prosjekter som har brukt 3D-laserskanning. For fremtidig forskning kan det være lettere å se på et større utvalg av byggeprosjekter og hos flere bedrifter og entrepriserformer. Da vil man kunne se mer spesifikke sammenhenger mellom typer prosjekter og deres kjennetegn som gjør at det er fordelaktig å bruke 3D-laserskanning.

Vi fikk noe data om kostnadsbesparelser, men vi hadde ønsket å kunne gjøre en grundigere investeringsanalyse som går dypere inn på både bruksmodell, nedskrivningstid, kontantstrøm og rentekostnader bundet opp til dette. I tillegg kan det være en ide at entreprenører dokumenterer besparelser knyttet til 3D-skanning, slik at kostnadsbesparelse-estimatene blir mer nøyaktige.

Det kan også sees nærmere på bruksmodell og nye muligheter for dette. Man bør vurdere om en person med en skanner skal skanne flere prosjekter. Det kan være en ide å se endringer i fremdrift og administrativ tid. Ved endret bruksmodell kan det også følge endringer i kostnadsbesparelse.

## Kildeliste

- Alferink, F. (2013). *Accuracy, precision & resolution*. Hentet 4. mai 2022 fra <https://meettechnik.info/measurement/accuracy.html>
- Alfsen, M. F., Trosten, Á. & Ødegård, O. K. (2020). *Manuell vektorisering av punktskyer med ulik punkttetthet* [NTNU].
- Banka, D., Frugård, T. & Jensen, M. (2019). *Dalux som kvalitetssikringsverktøy i byggproduksjon* [Bachelor thesis Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet]. <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/2610476/no.ntnu%3Ainspera%3A2326410.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Betonmast. (2015). *Håndbok for Toleranser, Revisjon 2015*.
- Betonmast. (2022). *Våre prosjekter*. Hentet 5. mai 2022 fra <https://www.betonmast.no/prosjekter/?filter=contracttype=Totalentreprise>
- Brown Breslin, Alexandra M. Atkinson, Paul Delamont, Sara Cernat, Alexandru Sakshaug, Joseph W. Williams & A., R. (2020). *Descriptive statistics*. SAGE Publications Ltd.
- buildingSMART. (2022a). *About buildingSMART*. Hentet 4. mai 2022 fra <https://www.buildingsmart.org/about/>
- buildingSMART. (2022b). *What is openBIM?* Hentet 4. mai 2022 fra <https://www.buildingsmart.org/about/openbim/openbim-definition/>
- buildingSMART Norway. (2022). *Hvem er vi?* Hentet 4. mai 2022 fra <https://buildingsmart.no/>
- Byggesaksforskriften (SAK10). (2010). *Kapittel 1 Generelle bestemmelser § 1-2. Definisjoner* (§1-2, k). Direktoratet for byggkvalitet. <https://dibk.no/regelverk/sak/1/1/1-2/#18822-heading>
- Byggforskserien. (2020). *Brannsikkerhet. Utførelse* Byggforskserien. [https://www.byggforsk.no/dokument/3154/brannsikkerhet\\_utfoerelse](https://www.byggforsk.no/dokument/3154/brannsikkerhet_utfoerelse)
- Dahlum, S. (2021). *validitet*. Hentet 5. mai 2022, fra
- Dalland, O. (2017). *Metode og oppgaveskriving* (6. utg. utg.). Gyldendal akademisk.
- 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.). John Wiley & Sons, Inc. <https://ebookcentral-proquest-com.ezproxy.oslomet.no/lib/hioa/reader.action?docID=698898>
- Eikeland, P. T. (2001). *Teoretisk analyse av byggeprosesser* (P10602). SIB. <http://v1.prosjektnorge.no/files/pages/362/samspillet-i-byggeprosessen-eikeland.pdf>
- Fawcett, T. (2006). An introduction to ROC analysis. *Pattern recognition letters*, 27(8), 861-874. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2005.10.010>
- Fewings, P. & Henjewe, C. (2019). *Construction Project Management: An Integrated Approach* (3. utg.). <https://www-taylorfrancis-com.ezproxy.oslomet.no/books/mono/10.1201/9781351122030/construction-project-management-peter-fewings-christian-henjewe>
- Frøslie, K. F. (2022, 27. januar 2022). *Korrelasjonskoeffisienter*. I *Store norske leksikon*. Hentet 5. mai 2022 fra <https://snl.no/korrelasjon>
- Geogebra. (2022). *Distribution*. <https://geogebra.org/classic/probability>
- Gordon, R. A., Atkinson, P., Delamont, S., Cernat, A., Sakshaug, J. W. & Williams, R. A. (2020). *Regression analysis*. SAGE Publications Ltd.



Grønmo, S. (2021). Utvalg. I *Store norske leksikon*. snl.no. Hentet 6. mai 2022 fra <https://snl.no/utvalg>

Halbo, L. (2020, 6. jan 2020). Kvalitetssikring. I *Store norske leksikon*. snl.no. Hentet 13. mai 2022 fra <https://snl.no/kvalitetssikring>

Hervik, S. (2017, 23. januar 2017). kontinuerlig - matematikk. I *Store norske leksikon*. snl.no. Hentet 2. mai 2022 fra <https://snl.no/kontinuerlig - matematikk>

Hexagon. (2022). *Leica BLK360 Imaging Laser Scanner*. Hentet 27.01.2022 fra <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/scanners/blk360>

Hofstad, K. (2018, 30. april 2018). periode (fysikk, teknikk). I *Store norske leksikon*. snl.no. Hentet 2. mai 2022 fra <https://snl.no/periode - fysikk, teknikk>

Holtet, J. A. (2022, 1. april 2022). Lidar. I *Store norske leksikon*. snl.no. Hentet 2. mai 2022 fra <https://snl.no/lidar>

Hoxmark, P. (2014). Dette er Lean. Hentet 4. mai 2022, fra <https://www.visma.no/blogg/dette-er-lean/>

Imerso. (2020). Prop tech: What is a digital twin in construction? Hentet 4. mai 2022, fra <https://medium.com/imerso/prop-tech-what-is-a-digital-twin-in-construction-bde069b9f5c4>

Imerso. (2022). *Imerso Digital Twins* [Programvare]. Hentet 17.01.2022 fra <https://www.imerso.com/>

Innsamlingskontrollen i Norge. (2022). *Administrasjonskostnad*. Hentet 4. mai 2022 fra <https://www.innsamlingskontrollen.no/administrasjonskostnad/>

Johannessen, A., Christoffersen, L. & Tufte, P. A. (2016). *Introduksjon til samfunnsvitenskapelig metode* (5. utgave. utg.). Abstrakt forlag.

Johnsen, O. (1977). *Bedriftsøkonomi* (7. utg. utg.). Bedriftsøkonomens forlag.

Jordheim, E. K. (2012). *Verdiskapende samspill i prosjekteringsprosessen* [Institutt for bygg, anlegg og transport].

Kvale, S., Brinkmann, S., Anderssen, T. M. & Rygge, J. (2009). *Det kvalitative forskningsintervju* (2. utg. utg.). Gyldendal akademisk.

Leica Geosystems. (2021). *Leica BLK360 User Manual*. I. [https://shop.leica-geosystems.com/sites/default/files/2022-01/853811\\_Leica\\_BLK360\\_UM\\_v4.0.0\\_en.pdf](https://shop.leica-geosystems.com/sites/default/files/2022-01/853811_Leica_BLK360_UM_v4.0.0_en.pdf)

Leica Geosystems. (2022). *Leica BLK360*. Hentet 24. april 2022 fra

Line of sight. (2022). Line of sight. I *Merriam-Webster.com dictionary*. Hentet 2. mai 2022 fra <https://www.merriam-webster.com/dictionary/line%20of%20sight>

Manuell. (2021, 7. november 2021). Manuell. I *Store norske leksikon*. snl.no. Hentet 5. mai 2022 fra <https://snl.no/manuell>

Maskinell. (2020, 31. juli 2020). Maskinell. I *Store norske leksikon*. Snl.no. Hentet 5. mai 2022 fra <https://snl.no/maskinell>

Melvik, J. (2017). *Transformasjon av næringsbygg til bolig- en case-studie* [NTNU]. <https://www.ntnu.no/documents/20658136/21235900/master+n%C3%A6ring+til+bolig/4d849a7a-66a0-47e7-9a0f-ac24c67d5f1a>

NAOB. (2022). *Størrelsesorden*. Det Norske Akademi for Språk og Litteratur. <https://naob.no/ordbok/st%C3%B8rrelsesorden>

Objektiv. (2021, 8. november 2021). Objektiv (saklig). I. Snl.no. <https://snl.no/objektiv - saklig>

- Pătrăucean, V., Armeni, I., Nahangi, M., Yeung, J., Brilakis, I. & Haas, C. (2015). State of research in automatic as-built modelling. *Advanced engineering informatics*, 29(2), 162-171. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2015.01.001>
- Som bygget-dokumentasjon. (2017, 21. november 2022). Som bygget-dokumentasjon. I *Byggordboka*. Hentet 10. mai 2022 fra <https://www.byggordboka.no/artikkel/les/som-bygget-dokumentasjon>
- Standard Norge. (2005). *Geometriske toleranser i bygningsindustrien - Grunnleggende termer* (NS 3461:2005). S. Norge. <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=133821>
- Standard Norge. (2008a). *Norsk bygge- og anleggskontrakt* (NS 8405:2008). S. Norge. <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=347202>
- Standard Norge. (2008b). *Norsk underentreprisekontrakt vedrørende utførelse av bygge- og anleggsarbeider* (NS 8415:2008). S. Norge. <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=347203>
- Standard Norge. (2011). *Alminnelige kontraktsbestemmelser for totalentrepriser* (NS 8407:2011). S. Norge. <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=489899>
- Standard Norge. (2019). *Beskrivelsestekster for bygg, anlegg og installasjoner - Del 1: Fellesbestemmelser* (NS 3420-1:2019). S. Norge. <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1104955>
- Statistisk Sentralbyrå. (2022). *Boliger*. Hentet 9. mai 2022 fra <https://www.ssb.no/bygg-bolig-og-eiendom/bolig-og-boforhold/statistikk/boliger?fane=om>
- Svartdal, F. (2020, 3. april 2020). reliabilitet. I. Store norske leksikon. Hentet 5. mai 2022 fra <https://snl.no/reliabilitet>
- Temaveileder uavhengig kontroll. (2012). *Temaveileder uavhengig kontroll* (§6.1-6.3). dibk.no. <https://dibk.no/saksbehandling/kommunalt-tilsyn/temaveiledninger/temaveileder-uavhengig-kontroll/6.-handtering-av-avvik/6.1.-hva-er-et-avvik/>

## Vedlegg

**Vedlegg A- Intervju Guide**

**Vedlegg B- Spørreundersøkelse**

**Vedlegg C- Spørreundersøkelse ubehandlet data**

**Vedlegg D- Utrekning for korrelasjon**

## Vedlegg A- Intervju Guide

### Intervju Guide

Hva kjennetegner byggeprosjekter som fordelaktig bruker 3D-laserskanner?

Informantens bakgrunn

1. Hva er stillingen din?
2. Hvor mye erfaring har du i entreprenør-bransjen?
3. Hvor mye erfaring har du med kvalitetssikring i byggeprosjekter?
4. Hvor lang erfaring har du med 3D skanning?
5. Hvor ofte bruker du 3D skanner?
6. Føler du deg fortrolig med 3D-Laserskannings-instrumentet?
7. Hvor lang erfaring har du med manuelle målemetoder?

Nøkkelspørsmål

1. Hvem har ansvaret for kvalitetssikring av bærekonstruksjonen?

Oppfølgingsspørsmål:

1.1 Hvordan er ansvarsforholdet mellom total og under-entreprenør på kvalitetssikring av bærekonstruksjonen til byggeprosjekter.

2. Hvilke praktiske forskjeller er ved målemetodene 3D laserskann og manuell måling?

Oppfølgingsspørsmål:

2.1 Opplever du måling med 3D laserskanner/ manuell måling som krevende?

2.2 Har 3D-Laserskanning klare fordeler eller ulemper over manuelle målinger til registrering av avvik på bærekonstruksjonen?

2.3 Er det noe som indikerer at en målemetode er fordelaktig ovenfor den andre målemetoden på bærekonstruksjonen?

Sjekkliste:

- Kvalitet
- Fremdrift
- Kostnad

2.4 Har du opplevd at man har unnlatt å gjøre kvalitetssikring når man kun har manuell målemetode? Hvis ja, hvorfor?

2.5 Har du opplevd at man har unnlatt å gjøre kvalitetssikring når man har 3D skanner tilgjengelig? Hvis ja, hvorfor?

2.6 Finner dere flere avvik på bærekonstruksjonen med 3d skanner enn ved manuell måling?

3. Hva er 3D-Laserskanners påvirkning på byggeprosjekter som en helhet?

Oppfølgingsspørsmål:

3.1 Er det tillit til måleresultater fra 3D-laserskanner hos leverandører/ underentreprenører?

3.3 Hvordan har du opplevd at 3D-Laserskanning blir brukt for oppfølging av avvik på bærekonstruksjonen?

3.2 Har 3D-Laserskanning noe effekt på byggeprosjektets fremgang?

3.1 Gir 3D-Laserskanning bedre oversikt over prosjektet som en helhet?

Sjekkliste:

- Belærende effekt

4. Kan vi avgjøre hvilke prosjekter som tar fordel av 3D-laserskanner i råbyggsfasen før oppstart?

Oppfølgingsspørsmål:

4.1 Er det mulig å anslå hvilken målemetode på bærekonstruksjonen som er fordelaktig før prosjektets start?

Sjekkliste:

- Størrelsesordener

4.2 Hvilke størrelsesordener har vi tilgang til før prosjektet starter?

Sjekkliste:

- Total kontraktssum

- Størrelse (m<sup>2</sup>)

4.3 Påvirker dette hvilke målemetoder som er mest gunstig?

5. Hvilke kostnader medfører bruken av 3D-laserskanner?

Oppfølgingsspørsmål:

5.1 Hva koster 3D-laserskanner Leica BLK360 Imaging Laser Scanner?

5.2 Hva er kostnad for lisens på programvaren Imerso?

5.3 Hva er kostnad relatert til tidsbruken av 3d laserskanner?

5.4 Er det andre kostnadsaspekter relatert til 3D-laserskanner?

## Vedlegg B- Spørreundersøkelse

### Vedlegg B1

#### 3D skanning i byggeprosjekt- Survey

Side 1

Obligatoriske felter er merket med stjerne \*

Denne spørreundersøkelsen er prosjektspesifikk. Det vil si at prosjektidentifikasjon og hovedspørsmålene skal besvares for ett prosjekt. Dersom respondentene deltar i flere prosjekter må det derfor fylles ut to eller flere spørreundersøkeslesskjemaer.

Hvis det er et pågående prosjekt skal svarene beskrive hvordan det har vært "hittil" i prosjektet.

#### Bakgrunns-spørsmål

Hvilket firma jobber du for? \*

Hva er din stilling i dette firma? \*

Hvor kjent er du til prosjektets fremdrift? \*

- Godt kjent
- Litt kjent
- Ikke kjent

Hvor kjent er du til prosjektets økonomi? \*

- Godt kjent
- Litt kjent
- Ikke kjent



Side 2

Obligatoriske felter er merket med stjerne \*

## Vedlegg B2

### Prosjektidentifikasjons spørsmål

Hvilke type bygg er prosjektet? \*

- Kontor
- Sykehus
- Lager/ Industribygg
- Bolig
- Skole
- Butikk
- Annet

Hvis annet, spesifiser hva slags bygg.

Hvilken konstruksjonsløsning blir brukt som bærende bygningselementer? \*

Er bygget en kombinasjon av flere bygningselementer kan flere bokser kysse av.

- Stål konstruksjon
- Prefabrickerte betongelementer
- Plasstøpt betong
- Prefabrickerte massivtreelementer
- Annet

Hvor stor kontraktssum er prosjektet på? (MNOK) \*

Hvor mange kvadratmeter bygges i prosjektet? (BRA) \*

## Vedlegg B3

Hvor mange etasjer bygges i prosjektet? \*

Hvor mange enheter/brann-celler bygges det i prosjektet?

Dette skal hjelpe med å avgjøre kompleksitetsgraden til prosjektet.

- I boligbygg kan det tilsvare antall leilighets enheter + antall enheter med fellesareale.
- I kontorbygg tilsvarer dette antall kontors enheter + antall enheter med fellesareale.
- I skolebygg tilsvarer dette antall klasseroms enheter + antall enheter med fellesareale.

Ved usikkerhet kan du lese brannbeskrivelsen til prosjektet.



Obligatoriske felter er merket med stjerne \*

## Hovedspørsmål

Hvor mange måneder er planlagt for prosjektet fra ferdig grunnarbeid til overlevering? (Ihht. fremdriftsplan)

I henhold til det forrige spørsmålet, hvor langt inn i prosjektet er dere?

*Hvis prosjektet er ferdig, skriv det.*



## Vedlegg B4

Hvor mange forskjellige entreprenører og/eller underentreprenører jobber parallelt under råbyggfasen? \*

Svar omtrentlig gjennomsnittet

- 1-2
- 3-4
- 5-6
- 7-9
- 10-13
- 14-18
- flere en 19

Hvordan har 3D-laserskanner blitt brukt på dette prosjektet?

Har 3D-laserskanneren blitt brukt kontinuerlig eller peridoisk?

- Kontinuerlig
- Periodisk

Hvis kontinuerlig, hvor mange uker ble 3D-Laserskanneren brukt?

Svar omtrentlig

Hvis periodisk, beskriv hvordan skanneren ble tatt i bruk.

Svar omtrentlig

## Vedlegg B5

Hvor mange dager fremdrift sparte 3D-Laserskanning dere på dette prosjekt? \*

*Svaret skal være en erfaringsbasert approksimasjon gjort av fagpersoner.*

*Summen er en approksimasjon av antall dager fremdrift som potensielt kunne gått tapt, men som ikke gjorde det som følge av 3D-laserskanning. Svaret er summen av alle hendelsene der 3D-laserskanning hindret tap av dager på prosjektets fremdrift.*

*Med tanke på:*

- Tap av fremdrift fra utbedring av avvik som ikke ble oppdaget eller oppdaget sent.
- Tap av fremdrift som følge utbedring av geometriske avvik.
- Tap av fremdrift som følge utbedring av tekniske avvik.
- Tap av fremdrift som følge omprosjektering.
- Tap av fremdrift som følge tilvirkningsavvik.
- Eller annet

*Svaret skal ta hensyn til hvor mye tid som ble spart grunnet 3D-Laserskanning sammenlignet med om den prosessen hadde blitt utført med kun bruk av manuelle målinger.*

- Vi taper tid på å bruke 3D-Laserskanner
- 0 dager
- 1 - 2 dager
- 3 - 4 dager
- 5 - 7 dager
- 8 - 11 dager
- 12 -15 dager
- 16 - 20 dager
- 20 - 24 dager
- 25 - 30 dager
- 30 - 45 dager
- Mer eller lik 46 dager
- Vet ikke

## Vedlegg B6

Hvor mye administrativ tid sparte 3D-laserskanning dere på dette prosjektet? \*

*Svaret skal være en erfaringsbasert approksimasjon gjort av fagpersoner.*

*Med dette som menes det:*

*-Den administrative tiden brukt på oppdagelse av avvik og avvikshåndtering.*

*-Kommunikasjon med eventuelle utførende leverandører.*

*-Formulering av hensiktsmessige tiltak for å løse problemene.*

*Svaret skal ta hensyn til hvor mye tid som ble spart grunnet 3D-Laserskanning sammenlignet med om den prosessen hadde blitt utført med kun bruk av manuelle målinger.*

- Vi brukte mer administrativ tid på avvikshåndtering som følge av 3D-laserskanning
- 0 dager
- 1-2 dager
- 3-4 dager
- 5-7 dager
- 8-11 dager
- 12-15 dager
- 16-20 dager
- 20-24 dager
- 25-30 dager
- 30-45 dager
- Mer en 45 dager
- Vet ikke

## Vedlegg B7

Omtrent hvor mye penger sparte 3D-skanner dere på dette prosjektet? \*

*Svaret skal være en erfaringsbasert approksimasjon gjort av fagpersoner.*

*Summen er en approksimasjon av alle kostnader som potensielt ville falt på **totalentreprisen**, men som ikke gjorde det som følge av 3D-laserskanning. Svaret er summen av alle hendelsene der 3D-laserskanning hindret potensielle kostnader.*

*Med tanke på:*

- Kostnader for utbedring av avvik som ikke ble oppdaget eller oppdaget sent.
- Kostnader for utbedring av geometriske avvik.
- Kostnader for utbedring av tekniske avvik.
- Kostnader for omprosjektering.
- Kostnader som følge av hindring av fremdrift.
- Eller annet

*Svaret skal ta hensyn til hvor mye penger som ble spart grunnet 3D-Laserskanning sammenlignet med om den prosessen hadde blitt utført med kun bruk av manuelle målinger.*

*Approksimasjonen skal **ikke** ta med innkjøpskostnaden/ lisenskostnaden eller tidsbruken som følge 3D-laserskanneren.*

- Vi taper penger på å bruke 3D-Laserskanner
- 0 - 49 999 kr
- 50 000 - 99 999 kr
- 100 000 - 199 999 kr
- 200 000 - 299 999 kr
- 300 000 - 399 999 kr
- 400 000 - 599 999 kr
- 600 000 - 799 999 kr
- 800 000 - 999 999 kr
- 1 000 000 - 1 399 999 kr
- 1 400 000 - 1 999 999 kr
- større eller lik 2 000 000 kr
- Vet ikke

## Vedlegg B8

I prosjektets helhet, vil du si det var en fordel eller ulempe å benytte 3D-laserskanning ovenfor manuelle målemetoder?

- Fordel
- Vet ikke
- Ulempe

## Vedlegg C- Spørreundersøkelse ubehandlet data

### Vedlegg C1

Prosjekt #	Hvilket firma jobber du for?	Hva er din stilling i dette firma?	Hvor kjent er du til prosjektets fremdrift?	Hvor kjent er du til prosjektets økonomi?	Hvilke type bygg er prosjektet?	Hvis annet, spesifiser hva slags bygg.	Hvilken konstruksjonsløsning blir brukt som bærende bygningselementer?
Prosjekt 1	Betonmast	Prosjekt Sjef	Godt kjent	Godt kjent	Kontor	Kontor og lager	Stål konstruksjon, Prefabrikkerte betong elementer, plasstøpt betong
Prosjekt 2	Betonmast	Prosjektleder	Godt kjent	Godt kjent	Kontor		Prefabrikkerte massivtreelementer
Prosjekt 3	Betonmast	Prosjekteringsleder	Godt kjent	Godt kjent	Kontor		Stål konstruksjon, Prefabrikkerte betong elementer, plasstøpt betong
Prosjekt 4	Betonmast	Prosjekteringsleder	Godt kjent	Godt kjent	Bolig		Stål konstruksjon, Prefabrikkerte betong elementer, plasstøpt betong
Prosjekt 5	Betonmast	Prosjekteringsleder	Godt kjent	Godt kjent	Kontor		Stål konstruksjon, Prefabrikkerte betong elementer, plasstøpt betong
Prosjekt 6	Betonmast	Anleggsleder	Godt kjent	Godt kjent	Kontor		Stål konstruksjon, Prefabrikkerte betong elementer, plasstøpt betong
Prosjekt 7	Betonmast	Innovasjonsjef	Godt kjent	Ikke kjent	Kontor		Prefabrikkerte massivtreelementer
Prosjekt 8	Betonmast	Prosjektleder	Godt kjent	Godt kjent	Annet	Innendørs klatresenter i	Prefabrikkerte massivtreelementer
Prosjekt 9	Betonmast	Prosjektsjef	Litt kjent	Litt kjent	Annet	Kontor og lager	Stål konstruksjon, Prefabrikkerte betong elementer, plasstøpt betong
Prosjekt 10	Betonmast	Prosjektleder	Godt kjent	Godt kjent	Annet	Kombinasjon av lager og kontor, næring.	Stål konstruksjon, Prefabrikkerte betong elementer, plasstøpt betong
Prosjekt 11	Betonmast	Prosjektleder	Godt kjent	Godt kjent	Kontor		Stål konstruksjon, Prefabrikkerte betong elementer

### Vedlegg C2

Prosjekt #	Hvor stor kontraktssum er prosjektet på? (MNOK)	Hvor mange kvadratmeter bygges i prosjektet? (BRA)	Hvor mange etasjer bygges i prosjektet?	Hvor mange enheter/brann-celler bygges det i prosjektet?	Hvor mange måneder er planlagt for prosjektet fra ferdig grunnarbeid til overlevering? (Ihht. fremdriftsplan)	I henhold til det forrige spørsmålet, hvor langt inn i prosjektet er dere?
Prosjekt 1	60	3500	1	kontor er skilt fra lager med brannvegg	10	overlevering 01.05.22
Prosjekt 2	203	6800	10		13	Slutfase siste deloverlevering
Prosjekt 3	336	13000	9		22	4
Prosjekt 4	285	9000	9		24	10
Prosjekt 5	400	13400	7		26	20
Prosjekt 6	64 000 000	3700 BRA	3		2	Ferdig
Prosjekt 7	200	6800	10		18	17
Prosjekt 8	37 mill eks. mva	1450m2	3		8,5	2,5 mnd. til overlevering
Prosjekt 9	112,3 mill eks mva	BTA 6240	4 inkl kjeller	Litt uklart spørsmål. kan sende deg	ca 11mnd	først byggetrinn overleveres dette år 1/4. Andre byggetrinn 1/5
Prosjekt 10	112	Har kun tall på BTA pr nå: ca 6200 m <sup>2</sup>	3		10	Overlevering av første bygg nå til uka. Neste bygg om 1 mnd.
Prosjekt 11	93	3950	5		12	3

## Vedlegg C3

Prosjekt #	Hvor mange forskjellige entreprenører og/eller underentreprenører jobber parallelt under råbyggsfasen?	Hvordan har 3D-laserskanner blitt brukt på dette prosjektet?	Hvis kontinuerlig, hvor mange uker ble 3D-Laserskanneren brukt?	Hvis periodisk, beskriv hvordan skanneren ble tatt i bruk.
Prosjekt 1	3-4	Periodisk		Sjekk av bunnledninger og oppstikk Sjekk av ferdig støpt bunnplate sjekk av bæresystem
Prosjekt 2	1-2	Kontinuerlig	48	
Prosjekt 3	5-6	Periodisk		Hittil kun periodisk med kontroll av eks. konstruksjoner og fundamententer. Vil gå over til kontinuerlig bruk når prefab kommer skikkelig i gang.
Prosjekt 4	5-6	Kontinuerlig	14	
Prosjekt 5	3-4	Periodisk		Råbyggsfase, ifm betongvegger og utsparinger. I etableringen av tekniske føringer, særlig bunnledninger. Noe ifm gipsvegger og synlige tekniske føringer.
Prosjekt 6	3-4	Periodisk		Ble tatt i bruk i råbygg fasen og når innvendige vegger var ferdige
Prosjekt 7	3-4	Kontinuerlig	52	
Prosjekt 8	5-6	Periodisk	3 dager ( 0,5 uker)	Ble brukt for å sjekke bunnledninger og armering før støp - Ble brukt til å sjekke overflate betong etter gulvstøp samt rør-
Prosjekt 9	5-6	Periodisk		Kontroll av bæresystemet. Kontroll av tekket overflate(sjekk av fall til sluk)
Prosjekt 10	5-6	Periodisk		Skanner ble benyttet til å kontrollere pelehode plassering, røroppstikk betongdekke, betongvegger, prefab konstruksjon i form av stål og HD-elementer, takteking.
Prosjekt 11	1-2	Periodisk		Pr etasje etter ferdigstilt fugestøp

## Vedlegg C4

Prosjekt #	Hvor mange dager fremdrift sparte 3D-Laserskanning dere på dette prosjektet?	Hvor mye administrativ tid sparte 3D-laserskanning dere på dette prosjektet?	Omtrent hvor mye penger sparte 3D-skanner dere på dette prosjektet?	I prosjektets helhet, vil du si det var en fordel eller ulempe å benytte 3D-laserskanning ovenfor manuelle målemetoder?
Prosjekt 1	3 - 4 dager	3-4 dager	200 000 - 299 999 kr	Fordel
Prosjekt 2	5 - 7 dager	3-4 dager	større eller lik 2 000 000 kr	Fordel
Prosjekt 3	5 - 7 dager	0 dager	1 000 000 - 1 399 999 kr	Fordel
Prosjekt 4	0 dager	1-2 dager	300 000 - 399 999 kr	Fordel
Prosjekt 5	Vet ikke	Vet ikke	Vet ikke	Fordel
Prosjekt 6	0 dager	Vi brukte mer administrativ tid	50 000 - 99 999 kr	Fordel
Prosjekt 7	12-15 dager	5-7 dager	100 000 - 199 999 kr	Fordel
Prosjekt 8	1 - 2 dager	3-4 dager	0 - 49 999 kr	Fordel
Prosjekt 9	5 - 7 dager	3-4 dager	0 - 49 999 kr	Fordel
Prosjekt 10	Vet ikke	Vet ikke	Vet ikke	Fordel
Prosjekt 11	0 dager	0 dager	0 - 49 999 kr	Fordel

### Vedlegg D- Utregning for korrelasjon

Sett inn egne verdier i X og Y kolonnene.

X = verdier for kontraktsum	Y = verdier for kostnadsbesparelse pr mnd.
60 000 000	31 250
203 000 000	153 846
336 000 000	300 000
285 000 000	35 000
64 000 000	37 500
37 000 000	4 167
112 300 000	2 500
93 000 000	8 333

Slik regnes korrelasjon:

$$\rho(X; Y) = \frac{Cov(X; Y)}{\sigma_x \cdot \sigma_y}; \text{ Korrelasjonskoeffisient}$$

$$Cov(X; Y) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y)}{n}; \text{ Kovarians}$$

Gjennomsnittet blir regnet ut ved bruk av denne formelen:

$$\mu_x = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_i}{n} = \frac{60000000 + 203000000 + \dots + 93000000}{8} = \underline{\underline{148\,787\,500}}$$

$$\mu_y = \underline{\underline{71\,574.5}}$$

$$Cov(X; Y)$$

$$= \frac{(60 \cdot 10^6 - \mu_x)(31\,250 - \mu_y) + (203 \cdot 10^6 - \mu_x)(153\,846 - \mu_y) + \dots + (93 \cdot 10^6 - \mu_x)(8\,333 - \mu_y)}{8}$$

$$\underline{\underline{Cov(X; Y) = 7\,786\,938\,581\,250}}$$

Varians blir regnet ut med denne formelen:

$$\sigma x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2$$

$$\sigma x^2 = \frac{(60 \cdot 10^6 - \mu x)^2 + (203 \cdot 10^6 - \mu x)^2 + \dots + (93 \cdot 10^6 - \mu x)^2}{8-1} = 1,1 \cdot 10^{16}$$

Standard avvik blir regnet ut med denne formelen:

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{1,1 \cdot 10^{16}} = \underline{105\ 210\ 223}$$

$$\sigma y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \mu)^2} = \underline{97\ 715}$$

$$\underline{\rho(x; y) = 0,76; \text{Korrelasjon mellom } x \text{ og } y}$$