

# Bruken av 3D-laserskanning i produksjonen av bygg

Masteroppgave i Bygg, sivilingeniør ved UiA



Herman A. Mæhle



Andreas K. Helberg

## Veileder

Rein Terje Thorstensen

Universitetet i Agder, 2023

Fakultet for teknologi og realfag  
Institutt for ingeniørvitenskap



## Obligatorisk egenerklæring/gruppeerklæring

Den enkelte student er selv ansvarlig for å sette seg inn i hva som er lovlige hjelpemidler, retningslinjer for bruk av disse og regler om kildebruk. Erklæringa skal bevisstgjøre studentene på deres ansvar og hvilke konsekvenser fusk kan medføre. Manglende erklæring fritar ikke studentene fra sitt ansvar.

1.	Jeg/vi erklærer herved at vår besvarelse er vårt eget arbeid, og at jeg/vi ikke har brukt andre kilder eller har mottatt annen hjelp enn det som er nevnt i besvarelsen.	<input checked="" type="checkbox"/>
2.	Jeg/vi erklærer videre at denne besvarelsen: - ikke har vært brukt til annen eksamen ved annen avdeling/universitet/høgskole innenlands eller utenlands. - ikke refererer til andres arbeid uten at det er oppgitt. - ikke refererer til eget tidligere arbeid uten at det er oppgitt. - har alle referansene oppgitt i litteraturlista. - ikke er en kopi, duplikat eller avskrift av andres arbeid eller besvarelse.	<input checked="" type="checkbox"/>
3.	Jeg/vi er kjent med at brudd på ovennevnte er å betrakte som fusk og kan medføre annullering av eksamen og utestengelse fra universiteter og høgskoler i Norge, jf. Universitets- og høgskoleloven §§4-7 og 4-8 og Forskrift om eksamen §§ 31.	<input checked="" type="checkbox"/>
4.	Jeg/vi er kjent med at alle innleverte oppgaver kan bli plagiatkontrollert.	<input checked="" type="checkbox"/>
5.	Jeg/vi er kjent med at Universitetet i Agder vil behandle alle saker hvor det forligger mistanke om fusk etter høgskolens retningslinjer for behandling av saker om fusk.	<input checked="" type="checkbox"/>
6.	Jeg/vi har satt oss inn i regler og retningslinjer i bruk av kilder og referanser på biblioteket sine nettsider.	<input checked="" type="checkbox"/>

# Puliseringsavtale

Fullmakt til elektronisk publisering av oppgaven

Forfatter(ne) har opphavsrett til oppgava. Det betyr blant annet enerett til å gjøre verket tilgjengelig for allmennheten (Åndsverkloven. §2).

Alle oppgaver som fyller kriteriene vil bli registrert og publisert i Brage Aura og på UiA sine nettsider med forfatter(ne)s godkjenning.

Oppgaver som er unntatt offentlighet eller taushetsbelagt/konfidensielle vil ikke bli publisert.

Jeg/vi gir herved Universitetet i Agder en vederlagsfri rett til å gjøre oppgaven tilgjengelig for elektronisk publisering:  JA  NEI

Er oppgaven båndlagt (konfidensiell)?  
(Båndleggingsavtale må fylles ut)  JA  NEI

- Hvis ja:

Kan oppgaven publiseres når båndleggingsperioden er over?  JA  NEI

Er oppgaven unntatt offentlighet?  
(inneholder taushetsbelagt informasjon. Jfr. Offl. §13/Fvl. §13)  JA  NEI

## Forord

Denne masteroppgaven er utarbeidet ved Institutt for ingeniørvitenskap som en del av det toårige masterprogrammet for bygg ved Universitetet i Agder. Hovedfagsoppgaven er den avsluttende oppgaven i emnet ”BYG508-G 23V Masteroppgave”, og ble utført over en periode på 4 måneder i det fjerde og siste semesteret. Den har et omfang på 30 studiepoeng per student, og omhandler bruken av 3D-laserskanning i produksjonen av bygg.

Oppgavens overordnede tema er et resultat av at byggavdelingen ved UiA har søkt, og fått godkjent, finansiering til å kjøpe 3D-laserskanning og tilhørende programvare. Formålet med oppgaven er derfor å øke forståelsen av bruksområder, muligheter og begrensinger ved bruken av 3D-laserskanning i byggebransjen. Valget av oppgaven reflekterer forfatterens interesse for implementering av ny og innovativ teknologi i en bransje mange omtaler som konservativ, og arbeidet med oppgaven har bekreftet det vi trodde på forhånd; nemlig at BA-bransjen er i en rivende digital utvikling som kommer til å ha stor påvirkning på hvordan vi planlegger, utfører og drifter prosjekter i fremtiden.

I arbeidet med oppgaven har vi vært så heldig å få lov til å intervjuere flere svært kompetente og imøtekomende personer i byggebransjen, og vi vil benytte anledningen til å takke intervjuobjektene for deres deltakelse, interesse og engasjement. Videre rettes en stor takk til SITECH Norway og Imerso for uforpliktende lån av henholdsvis 3D-laserskanner og programvare, deres bidrag har vært til stor nytte. I denne sammenheng rettes en særskilt stor takk til Emilio fra SITECH Norway som viet en hel arbeidsdag til å bistå oss under det gjennomførte eksperimentet.

Vi vil også benytte anledningen til å takke vår interne veileder ved UiA, Dosent og Visedekan Rein Terje Thorstensen. Ditt engasjement og din faglige innsikt har vært uvurderlig og særst inspirerende.

Med dette tar vi fatt på en ny epoke i livet der arbeidslivet og -hverdagen står for tur. Takk for to lærings- og innholdsrike år ved UiA Campus Grimstad.

Grimstad, 3. juni 2023



*Herman Mæller*

---



*Andreas K. Helberg*

---

## Summary

The construction industry has vast potential for improving productivity and efficiency, and in the era of Construction 4.0 the spotlight has been put on the integration of state-of-the-art digital technologies and automation to improve productivity, efficiency, and sustainability. The use of 3D laser scanning to collect as-built data on construction sites have been given increased attention over the last few years, with numerous potential areas of application.

The aim of this study was to investigate how 3D laser scanning can be used to streamline the production process of buildings. This also includes existing buildings with rehabilitation needs or missing/lacking as-built documentation. To achieve the aforementioned aim, a scoping review and interviews with stakeholders within the construction industry involved in the production process of buildings were conducted. Furthermore, a small scale experiment were conducted to gain insights in the processes of Scan-to-BIM and Scan-vs-BIM, as well as to map the necessary knowledge needed to operate the equipment and to process collected point cloud data.

The study concludes that 3D laser scanning can be used to collect high quality as-built documentation of existing buildings in an efficient way. Furthermore, 3D laser scanning is a crew efficient tool that reduces the possibility of deviations, that are difficult to spot with the human eye, being overlooked, which leads to fewer cost overruns and more flow in the production.

# Innhold

<b>Obligatorisk egenerklæring/gruppeerklæring</b>	<b>i</b>
<b>Puliseringsavtale</b>	<b>ii</b>
<b>Forord</b>	<b>iii</b>
<b>Summary</b>	<b>iv</b>
<b>Figurliste</b>	<b>viii</b>
<b>Tabelliste</b>	<b>x</b>
<b>1 Innledning</b>	<b>1</b>
<b>2 Samfunnsperspektiv</b>	<b>3</b>
2.1 FNs bærekraftsmål . . . . .	4
2.1.1 Bærekraftsmål 9 - Industri, innovasjon og infrastruktur . . . . .	4
2.1.2 Bærekraftsmål 11 - Bærekraftige byer og lokalsamfunn . . . . .	5
2.2 Valg av språk . . . . .	5
<b>3 Kunnskapsbakgrunn</b>	<b>6</b>
3.1 Digitalisering i BA-bransjen . . . . .	6
3.1.1 Sentrale begreper . . . . .	7
3.2 3D-skanning . . . . .	8
3.2.1 Laserskanning . . . . .	8
3.2.2 Fotogrammetri . . . . .	10
3.2.3 Punktsky . . . . .	10
3.2.4 Anvendelsesområder . . . . .	10
3.3 Bygningsinformasjonsmodellering (BIM) . . . . .	11
3.3.1 BIM-dimensjoner . . . . .	12
3.3.2 BuildingSMART . . . . .	13
3.3.3 Digital tvilling . . . . .	14
3.3.4 Reversert modellering (Scan-To-BIM) . . . . .	14
3.3.5 Punktsky mot BIM (Scan-vs-BIM) . . . . .	14
3.3.6 Byggeprosessen . . . . .	15
3.3.7 3D-skanning i kombinasjon med annen "state-of-the-art" teknologi . . . . .	16
3.4 Tidligere forskning og arbeid . . . . .	16
3.4.1 Bruk av kunstig intelligens i fremdriftsplanlegging . . . . .	16
3.4.2 Optimalisering av 3D laserskanning for kvalitetssikring . . . . .	17
<b>4 Forskerspørsmål</b>	<b>18</b>
4.1 Omfang og avgrensninger . . . . .	18
4.1.1 Avgrensning av undersøkelsens fysiske og sosiale rammer - romlig kontekst . . . . .	18
4.1.2 Avgrensning i tid - tidsmessig kontekst . . . . .	19
<b>5 Case og Materialer</b>	<b>20</b>
5.1 Eksperiment - 3D-laserskanning av parkeringskjelleren ved UiA Campus Grimstad . . . . .	20
5.2 Materialer . . . . .	21
5.2.1 Programvare . . . . .	21

5.2.2	Maskinvare . . . . .	22
5.2.3	Maskinvare - spesifikasjoner . . . . .	22
<b>6</b>	<b>Metode</b>	<b>24</b>
6.1	Forskningsdesign . . . . .	24
6.1.1	Valg av forskningsdesign . . . . .	24
6.1.2	Sterke og svake sider ved en kvalitativ tilnærming . . . . .	25
6.2	Litteraturstudie . . . . .	25
6.2.1	Litteraturstudie som metode . . . . .	25
6.2.2	Søkestrategi . . . . .	28
6.2.3	Benyttede søkemotorer . . . . .	28
6.2.4	Seleksjonskriterier . . . . .	29
6.2.5	Overordnede resultater fra litteratursøket . . . . .	29
6.2.6	Finsortering av opparbeidet litteratursamling . . . . .	30
6.2.7	Sterke og svake sider ved den gjennomførte litteraturstudien . . . . .	31
6.3	Intervju . . . . .	31
6.3.1	Gjennomføringen av intervjuene . . . . .	33
6.3.2	Utvalg - strategisk utvelgning . . . . .	34
6.3.3	Analysering av innsamlet data . . . . .	34
6.3.4	Sterke og svake sider ved de gjennomførte intervjuene . . . . .	35
6.4	Eksperiment . . . . .	36
6.4.1	Planlegging . . . . .	36
6.4.2	Etablere nettverk . . . . .	37
6.4.3	Gjennomføring av skanningene . . . . .	39
6.4.4	Bearbeiding av punktsky . . . . .	39
6.4.5	Reversert modellering (Scan-to-BIM) . . . . .	40
6.4.6	Punktsky mot som-planlagt BIM-modell (Scan-vs-BIM) . . . . .	42
<b>7</b>	<b>Resultat</b>	<b>44</b>
7.1	Hovedfunn fra litteraturstudie . . . . .	44
7.1.1	Bruksområder . . . . .	44
7.1.2	Begrensninger . . . . .	48
7.1.3	P4S . . . . .	49
7.2	Hovedfunn fra intervjuer . . . . .	52
7.2.1	Prosesskart for 3D-skanning . . . . .	52
7.2.2	Avviksdeteksjon . . . . .	55
7.2.3	Tidligere avviksdeteksjon . . . . .	56
7.2.4	Dokumentasjon . . . . .	57
7.2.5	Samhandling og informasjonsflyt . . . . .	57
7.2.6	Kompetanse og opplæring . . . . .	58
7.2.7	Frontet fremdriftsplan . . . . .	59
7.2.8	Begrensninger . . . . .	59
7.2.9	Positive/negative ringvirkninger ved bruken av 3D-laserskanning . . . . .	61
7.2.10	Eksempler på konkrete prosjekter der 3D-laserskanning ble benyttet . . . . .	62
7.3	Hovedfunn fra eksperiment . . . . .	62
7.3.1	Funn fra Imerso . . . . .	62
7.3.2	Funn fra Undet/Revit . . . . .	67
7.3.3	BIM-avvik . . . . .	69
7.3.4	Resultater punktsky . . . . .	71
7.3.5	Visuell inspeksjon av bygg . . . . .	71
7.3.6	Begrensninger . . . . .	73
<b>8</b>	<b>Diskusjon</b>	<b>75</b>



8.1	3D-laserskannings bruksområder i produksjonen av bygg . . . . .	75
8.1.1	Dokumentasjon . . . . .	75
8.1.2	Kvalitetskontroll . . . . .	77
8.1.3	Avviksdeteksjon . . . . .	78
8.1.4	Reversert modellering (Scan-to-BIM) . . . . .	79
8.1.5	Strukturell evaluering av eksisterende bygg . . . . .	79
8.1.6	Frontet fremdriftsplan og interoperabilitet . . . . .	80
8.1.7	Begrensninger . . . . .	80
8.2	3D-laserskannings påvirkning på arbeidsflyten i produksjonen av bygg . . . . .	81
8.2.1	P4S . . . . .	81
8.2.2	Samhandling og informasjonsflyt . . . . .	82
8.2.3	Positive/negative ringvirkninger ved bruken av 3D-laserskanning . . . . .	83
8.3	Kompetansebehov ved bruk av 3D-laserskanningsutstyr og tilhørende programvare . . . . .	83
8.3.1	Kompetansebehov - bruk av 3D-laserskanningsutstyr . . . . .	83
8.3.2	Kompetansebehov - prosessering av innsamlet punktskydata . . . . .	84
8.4	Avviksanalyser i Imerso - eksperiment . . . . .	85
8.4.1	BIM-avvik . . . . .	85
8.4.2	BIM-kollisjon . . . . .	86
8.4.3	Feilplasserte skanneposisjoner . . . . .	86
8.4.4	Sammenstilling av punktsky og BIM . . . . .	87
8.5	Reversert modellering (Scan-to-BIM) - eksperiment . . . . .	88
8.5.1	Undet Revit . . . . .	88
8.5.2	Nøyaktighet på modellert som-bygget BIM-modell . . . . .	89
8.6	Web-baserte plattformer kontra desktop-programvarer . . . . .	89
8.7	Begrensninger ved det gjennomførte eksperimentet . . . . .	90
<b>9</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>91</b>
9.1	Delspørsmål . . . . .	91
9.1.1	Hva kan 3D-laserskanning brukes til i produksjonen av bygg? . . . . .	91
9.1.2	Hvordan vil bruken av 3D-laserskanning påvirke arbeidsflyten i produksjonen av bygg? . . . . .	91
9.1.3	Hvilke kompetansebehov kreves for å ta i bruk 3D-laserskanningsutstyr og tilhørende programvare? . . . . .	91
9.2	Begrensninger . . . . .	92
9.3	Hvordan kan 3D-laserskanning brukes til å effektivisere produksjonen av bygg? . . . . .	92
9.3.1	Allerede oppførte bygg som har rehabiliteringsbehov eller som mangler dokumentasjonsunderlag . . . . .	92
9.3.2	Bygg under konstruksjon og nybygg . . . . .	92
<b>10</b>	<b>Anbefalinger</b>	<b>93</b>
<b>11</b>	<b>Referanser</b>	<b>94</b>
<b>12</b>	<b>Vedlegg</b>	<b>102</b>
12.1	Vedlegg A - Prosjektbeskrivelse . . . . .	102
12.2	Vedlegg B - Informasjonsskriv samtykke . . . . .	103
12.3	Vedlegg C - Semistrukturert intervjuguide respondent . . . . .	106
12.4	Vedlegg D - Vurdering av behandling av personopplysninger . . . . .	108

# Figurliste

1.1	Masteroppgavens oppbygning . . . . .	2
2.1	Utviklingen i arbeidsproduktiviteten i BA-virksomhet og i privat sektor i Fastlands-Norge fra 2000 til 2016 . . . . .	3
2.2	Opgavens utvalgte bærekraftsmål . . . . .	4
3.1	Illustrasjon av hva som inngår i Bygg 4.0 . . . . .	7
3.2	Trimble SX12 Scanning Total Station i aksjon ifm. det utførte eksperimentet. Foto: Privat . . . . .	8
3.3	Prinsipiell skisse av ToF-metoden . . . . .	9
3.4	Prinsipiell skisse av Phase-shift-metoden . . . . .	9
3.5	Skjermdump fra Trimble Business Center (TBC) som viser den opprettede punktskyen ifm. det gjennomførte eksperimentet . . . . .	10
3.6	Momenter som inngår i BIM . . . . .	12
3.7	Prinsipiell skisse av et BIM-objekt . . . . .	12
3.8	BIM-dimensjoner . . . . .	13
3.9	Logoen til BuildingSMART Norway . . . . .	13
3.10	Skjermdump fra Imerso som viser en utført Skann-avvik-analyse . . . . .	15
3.11	Byggeprosessen med uthevet fokusområde. Tilpasset fra . . . . .	15
3.12	Boston Dynamics' Spot i aksjon med en påmontert Trimble laserskanner på ryggen . . . . .	16
4.1	Uthevet fokusområde - produksjonsfasen i byggeprosessen . . . . .	18
5.1	Skjermdump fra Solibri som viser eksperimentets fokusområde - fremhevet med oransje stipletlinje . . . . .	20
5.2	Trimble SX12 Scanning Total Station fra SITECH. Foto: Privat . . . . .	21
6.1	Gangen i det gjennomførte litteratursøket . . . . .	27
6.2	Fordeling av publikasjoner fra 2007 til 2023 . . . . .	29
6.3	Skjermdump fra Rayyan-plattformen etter gjennomført finsortering og evaluering hver for oss . . . . .	30
6.4	Fordeling av publikasjonene i den endelige litteratursamlingen . . . . .	31
6.5	Intervjuformer basert på ulik grad av strukturering, oppsett hentet fra Figur 8.1 i . . . . .	32
6.6	Parkeringskjelleren under i4Helse-bygget på dagtid. Foto: Privat . . . . .	37
6.7	Eksempel på et utplassert prisme. Foto: Privat . . . . .	38
6.8	Trimble SX12 Scanning Total Station oppnår kontakt med et prisme. Foto: Privat . . . . .	38
6.9	Skanneruten med fremhevet skyggeområde - Skjermdump fra Trimble Business Center . . . . .	39
6.10	Skjermdump fra Undet/Revit - (a) er punktskyen ved innlasting og (b) er etter at bygget er plassert . . . . .	41
6.11	Skjermdump fra Undet/Revit - (a) er punktskyen ved innlasting uten rastervisning og (b) er punktskyen med rastervisning som mørklegger områder med høy tetthet av punkter . . . . .	41
6.12	Plassering av søyler og vegger etter rastervisningen . . . . .	41
6.13	Modellering av vindusåpning etter punktsky . . . . .	41
7.1	Modellering av sprekken i slottets nordøstlige vegg . . . . .	44
7.2	Foreslått fremgangsmåte for fremdriftsovervåking ved hjelp av 3D-skanning . . . . .	46
7.3	Sammenligning av BIM-modell og som-bygget modell basert på punktskydata . . . . .	46
7.4	Foreslått metodikk for strukturell evaluering av eksisterende bygg . . . . .	47

7.5	Resultater fra den strukturelle analysen fra "Case 1" basert på eksisterende tegninger (a) og tegninger basert på reversert modellering ved hjelp av 3D-skanning (b) . . . . .	48
7.6	Optimaliserte skanneplaner utarbeidet med studiens foreslåtte metode: (a) og (b) refererer her til de to gjennomførte eksperimentene . . . . .	49
7.7	Oversikt over definerte skannespesifikasjoner, 3D-skannerens karakteristikk (a) og de respektive som-bygget BIM-modellene (b) . . . . .	51
7.8	Virtuell skanning fra skanneposisjon 24 . . . . .	51
7.9	Optimaliserte skanneposisjoner (markert med røde prikker) fra det gjennomførte eksperimentet med BIM-modellen "Simple Structural Model" . . . . .	52
7.10	De fem ing-ene: Prosesskart 3D-skanning basert på intervjuobjektene utsagn . . . . .	52
7.11	Trimble SX12 gjenkjenner og fokuserer på et prisme-referansepunkt. Foto: Privat . . . . .	54
7.12	Skjermdump fra Imerso som viser en beskrivelse av hva fargene i varmekartet viser til . . . . .	63
7.13	Skjermdump fra Imerso med varmekart samt gulvmål med maxverdier . . . . .	63
7.14	Skjermdump fra Imerso med varmekart samt veggsmål med maxverdier . . . . .	64
7.15	Skjermdump fra Imerso som viser Skann-avvik-analysen av hele fokusområdet med en terskel på 30 mm . . . . .	64
7.16	Skjermdump fra Imerso som viser Skann-avvik-analysen av hele fokusområdet med varmekart . . . . .	65
7.17	Skjermdump fra Imerso som viser BIM-avvik-analysen av hele fokusområdet med et par fremhevede momenter (røde bokser) . . . . .	65
7.18	Skjermdump fra Imerso som viser BIM-kollisjoner-analysen av deler av parkeringskjellerens yttervegg . . . . .	66
7.20	Skjermdump fra Revit som forklarer Undet varmekartet . . . . .	67
7.21	Skjermdump fra Revit som viser ferdigprodusert som-bygget BIM-modell av parkeringskjelleren ved UiA Campus Grimstad, der visning (a) er uten dekke over og visning (b) er komplett modell . . . . .	68
7.23	Skjermdump fra Imerso som viser avvik og mangler i som-planlagt BIM-modell . . . . .	69
7.24	Snitt i punktskyen (b) og Solibri (a) som viser uoverensstemmelse mellom som-planlagt og som-bygget hva gjelder helning på taket . . . . .	70
7.25	Skjermdump fra Imerso som viser skannede søyler som ikke er å finne i som-planlagt BIM-modell . . . . .	70
7.26	Skjermdump fra Trimble Business Center (TBC) som viser ferdig registrert punktsky . . . . .	71
7.27	Skjermdump fra Trimble Business Center (TBC) som viser ferdig registrert, klassifisert og vasket punktsky . . . . .	71
7.28	(a) skjermdump fra TBC der visningen kombinerer panoramabilder og punktskydata, (b) skjermdump fra Revit der visningen kombinerer som-bygget BIM-modell og punktskydata (samme situasjon som (a)) og (c) skjermdump fra Revit der visningen kombinerer som-bygget BIM-modell og punktskydata (samme situasjon som (a) og (b) sett ovenfra) . . . . .	72
7.29	Detekterte små rissdannelser i en betongvegg i parkeringskjelleren ved UiA Campus Grimstad . . . . .	73
8.1	Skjermdump fra Imerso som viser (a) innsamlet punktskydata og (b) BIM-modellen til Ugland (de røde boksene i (a) viser manglende elementer i BIM-modellen til Ugland (b)) . . . . .	76
8.2	Skjermdump fra Revit som viser den registrerte punktskyen . . . . .	85
8.3	Skjermdump fra Imerso - panoramafunksjonen som vi ikke fikk til å fungere optimalt . . . . .	87
8.4	Skjermdump fra Imerso som viser høydeforskjellen på 40-50 mm . . . . .	87
8.5	Skjermdump fra Solibri som viser egenskapene til dekke . . . . .	88
8.6	Analyse av gulvflathet etter sammenstilling av punktsky og ARK og RIBprefab BIM-modeller . . . . .	88

# Tabelliste

5.1	Trimble SX12 Scanning Total Station - 3D-skanning . . . . .	22
5.2	Trimble SX12 Scanning Total Station - Oppmåling . . . . .	22
5.3	PC-ytelse eksperiment . . . . .	23
6.1	Arksey og O'Malley sitt metodiske rammeverk for gjennomføring av et systematisk litteratursøk . . . . .	27
6.2	Oversikt over viktige beslutninger som ble tatt før gjennomføringen av intervjuene .	33
6.3	Oversikt over gjeldende utvalgsriterier for å kartlegge relevante intervjuobjekter . .	34
6.4	Oversikt over intervjuobjektene erfaring og nåværende funksjon . . . . .	35
7.1	Sammenligning av konvensjonell kvalitetskontroll og kvalitetskontroll vha. 3D-laserskanning og BIM . . . . .	45
7.2	Sammenligning av foreslått metodikk (3D-laserskanning og BIM) og konvensjonell manuell metode . . . . .	45
7.3	Oversikt over identifiserte begrensninger ved bruken av 3D-skanning i produksjonen av bygg - litteraturstudie . . . . .	48
7.4	Oversikt over programvare som intervjuobjektene benytter/har benyttet . . . . .	54
7.5	Oversikt over identifiserte begrensninger ved bruken av 3D-skanning i produksjonen av bygg - semistrukturerte intervjuer . . . . .	59
7.6	Produserte filstørrelser i det gjennomførte eksperimentet . . . . .	62
7.7	Oversikt over identifiserte begrensninger ved gjennomføring av eksperimentet . . . .	73
8.1	Oversikt over de totale filstørrelsene . . . . .	77

# 1 | Innledning

Bygg- og anleggsbransjen er i en rivende utvikling der implementeringen av ny og innovativ teknologi står i høysetet. Bygg 4.0, BA-næringens svar på den fjerde industrielle revolusjonen (kjent under navnet "Industry 4.0"), setter søkelyset på integrasjonen av "state-of-the-art" digitale teknologier og automatisering i byggeprosesser for å heve effektiviteten, produktiviteten og bærekraften [1]. Den norske digitale infrastrukturen er i verdensklasse, og således har den norske BA-næringen særskilt gode forutsetninger for å bli verdensledende på dette området [2, s.181][3]. Skal en tro Benedicte Økland, tidligere daglig leder i Construction City, vil en satsning på dette området kunne bidra sterkt til å løse historiens største menneskeskapte utfordring [4].

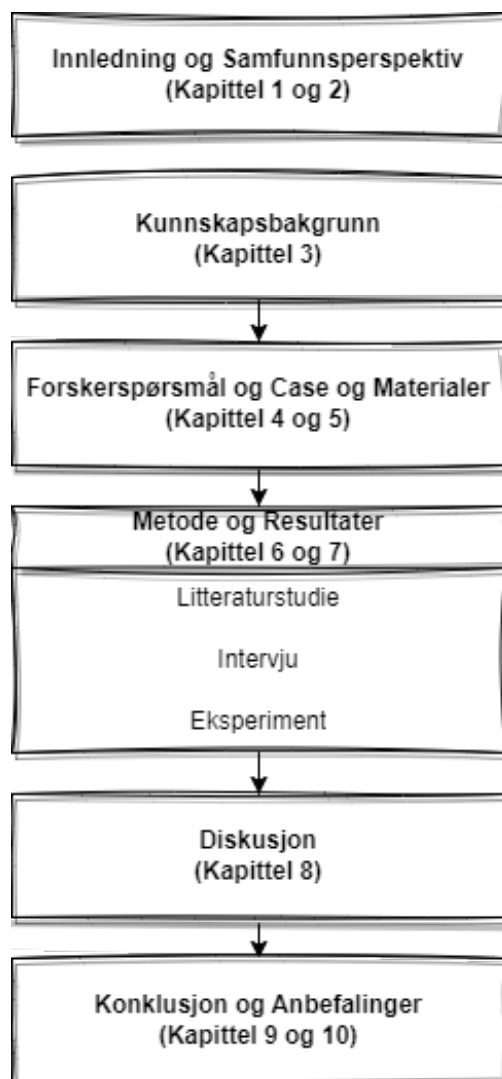
Sentralt i Bygg 4.0 står BIM, og BIM-kompetansen i Norge er sterk. Statsbygg, byggherre for statlige byggprosjekter, har blant annet sverget til BIM for å oppnå effektive byggeprosesser siden 2011, da de stilte krav om bruk av BIM i alle fremtidige prosjekter [5]. Implementeringen av BIM har rettet fokus mot nye måter å innhente byggeplass-data på, og det er her blant annet 3D-laserskanning kommer inn i bildet [6]. 3D-laserskanning er en svært nøyaktig målemetode som bruker laser til å samle inn millioner av punkter på kort tid, og verktøyet har en rekke potensielle bruksområder i produksjonen av bygg og for bygg med rehabiliteringsbehov og/eller manglende/fraværende dokumentasjon.

I 2019 holdt hele verden pusten da Notre-Dame de Paris, et av gotikkens betydeligste monumenter, plutselig stod i brann. Da brannen omsider var slokket, kunne man konstantere at skadene var omfattende; omtrent 1000 kvadratmeter av taket ble ødelagt, og det velkjente og 93 meter høye spire kollapset [7]. Bare noen timer etter brannen, slapp flere aviser nyheten om at en mann ved navn Andrew Tallon allerede i 2015, fire år før brannen, hadde brukt en stasjonær 3D-laserskanner til å dokumentere katedralen i stor detalj. I tillegg til at det nå var kjent at det fantes en databakup i form av en punktsky, begynte også folk å stille spørsmål om den innsamlede punktskydataen kunne spille en viktig rolle i restaureringen av katedralen [8, 9]. Basert på den innsamlede punktskydataen var det mulig å modellere en tredimensjonal modell, som ble brukt til å analysere katedralens geometri og strukturelle egenskaper. Dette har gitt verdifull innsikt som kan vise seg å være svært nyttig i restaureringsarbeidet [10].

I 2022 utarbeidet Menon Economics, Multiconsult og Mycoteam, på oppdrag fra Direktoratet for byggkvalitet (DiBK) og Kommunal- og distriktsdepartementet (KDD), en undersøkelse som kartlegger årsakene til byggfeil i Norge. Rapporten, ved navn "Omfang av byggfeil i Norge", viser at minst tre av fire nye boliger har minst én byggfeil. Her sikter byggfeil til brudd på det byggtekniske regelverket (TEK10 og TEK17), og det er vannrelaterte byggfeil som står for den største andelen av feilene. Undersøkelsen anslår at den totale kostnaden for å rette opp i byggfeil er 520 millioner NOK per årskull for boligbygg oppført i perioden 2010-2020, hvilket medfører at det totale kostnadsanslaget i den samme perioden ligger på 5,7 milliarder NOK [11, s. 4-7]. Videre viser data fra forsikringsselskapene VASK og Fremtind at majoriteten av byggfeilene, som er store nok til å bli forsikringssaker, skyldes feil eller mangelfull utførelse [11, s. 104-105]. Dette indikerer at forbedret kvalitetskontroll av utført arbeid kan redusere risikoen for at byggfeil oppstår etter overlevering, og her kan 3D-laserskanning være et nyttig verktøy.

I forbindelse med at UiA har søkt, og fått godkjent, finansiering til å kjøpe 3D-laserskanner og tilhørende programvare, var det ønskelig med et masterprosjekt på området for å øke forståelsen av bruksområder, muligheter og begrensinger ved bruk av 3D-laserskanningsutstyr i BA-bransjen. Som et resultat av dette, omhandler denne masteroppgaven bruken av 3D-laserskanning i produksjonen av bygg, der målet er å undersøke hvordan en kan bruke 3D-laserskanning til å effektivisere produksjonsfasen.

Det er tatt utgangspunkt i gjeldende rapportmal for masterstudiet i bygg ved Universitetet i Agder i oppbygningen av denne oppgaven. Figur 1.1 viser oppgavens oppbygning i sin helhet.

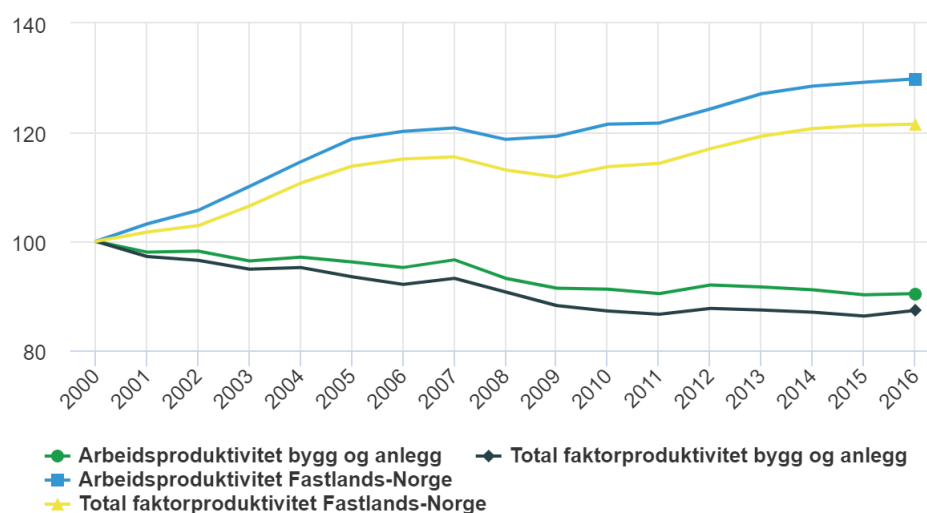


Figur 1.1: Masteroppgavens oppbygning

## 2 | Samfunnspektiv

Det er viden kjent at BA-bransjen har en lang vei å gå hva gjelder utvikling og implementering av nye innovative løsninger. Dette skyldes delvis av at byggeprosjekter er prosjektbaserte og fragmenterte av natur, noe som kan virke hemmende på bransjens evne til å skape utvikling og endring [12]. Nøkkeltall fra McKinsey & Company rapport ved navn "Imagining construction's digital future" viser at produktivitetspotensialet i byggebransjen er enormt; store byggeprosjekter tar typisk 20 % lengre tid å fullføre enn det som er planlagt, med en kostnadsoverskridelse på opptil 80 % [13, s. 2]. Den samme rapporten viser også at produktiviteten i BA-bransjen faktisk har falt i noen markeder siden 90-tallet, og tall fra Statistisk sentralbyrå (SSB) viser en lignende trend i Norge: I sterk kontrast til produktiviteten i privat sektor i Fastlands-Norge, har produktiviteten i BA-virksomhet falt med 10 % siden 2000. Figur 2.1 viser utviklingen i arbeidsproduktivitet i BA-virksomhet og i privat sektor i Fastlands-Norge fra 2000 til 2016 [14].

**Figur 1. Produktivitet. Indeks 2000=100**



Kilde: Statistisk sentralbyrå.

Figur 2.1: Utviklingen i arbeidsproduktivitet i BA-virksomhet og i privat sektor i Fastlands-Norge fra 2000 til 2016 [14]

Selvom produktivitetstredningen kan ha flere årsaker som økt bruk av prefabrikkerte bygningselementer, der produktivitetstredningen tilfaller byggevarerindustrien og ikke byggenæringen, viser Figur 2.1 og tall fra EU-land at BA-næringen står ovenfor en real utfordring hva gjelder å snu den negative/stagnerende trenden i produktivitet. BA-næringens markante posisjon som en "klimagassutslippsgigant" (omlag 40 % av klimagassutslippene i verden kommer fra bygg alene [15]) og de ambisiøse og strengt nødvendige klimamålene Norge og verden skal nå, understreker viktigheten av å ta tak i denne utfordringen.

Rapporten til McKinsey & Company nevner flere idéer for å øke produktiviteten i BA-bransjen, der én av idéene er å benytte seg av nye teknikker som integrerer fotografering, 3D-laserskanning og geografiske informasjonssystemer (GIS), som er muliggjort gjennom relativt nye forbedringer i blant annet droneteknologi [13, s. 4-5]. I et pilotprosjekt gjennomført i 2022 av Statens Vegvesen ble 3D-skanning og sensorer brukt til å digitalisere ett av SVVs bygg på Voss. Digitaliseringen av det eldre bygget på Voss avdekket og dokumenterte feil fortløpende, og med relativt enkle grep kunne SVV rette opp i feilene. Dette kulminerte i en energireduksjon på over 40 % og en vesentlig reduksjon

i reisevirksomheten til flere ansatte da behovet for fysiske befaringer også ble redusert. Pilotprosjektet var så vellykket at SVV i januar i år signerte en millionavtale med teknologiselskapet som står bak proptech-løsningen<sup>1</sup>, hvilket understreker potensialet SVV ser i bruken av denne type teknologi for å redusere klima- og miljøbelastningen fra deres bygg og effektivisere vedlikeholdsprosessen [17].

## 2.1 FNs bærekraftsmål

Som tidligere nevnt er byggebransjen å regne som en ”klimagassutslipsgigant”. Grunnlaget for bruken av dette begrepet er bransjens dystre rykte som 40 %-næringen; det er nemlig dokumentert at 40 % av de globale klimagassutslippene stammer fra byggebransjen, samt at den bruker 40 % av ressursene og omlag 40 % av energien i verden [18]. Så for å nå FNs bærekraftsmål, verdens felles arbeidsplan for å utrydde fattigdom, bekjempe ulikhet og stoppe klimaendringene innen 2030, må byggebransjen gå fra ord til handling - klimaavtrykket må krympe, og det brennkvik.

I den forbindelse er det et krav på UiA at hovedfagsoppgavens tema knyttes opp mot FNs bærekraftsmål, dette for å sette oppgaven i en større sammenheng og for å bidra til økt bevisstgjøring blant fremtidens ingeniører. På et overordnet nivå sies det at BAE-næringen direkte eller indirekte berører samtlige 17 bærekraftsmål [19, 20]. Men gitt oppgavens definerte rammeverk og tema, herunder det utformede forskerspørsmålet, er det valgt å kaste lys over et par av FNs bærekraftsmål som ansees som særlig relevant for denne oppgaven. Figur 2.2 viser oppgavens utvalgte bærekraftsmål [21].



Figur 2.2: Oppgavens utvalgte bærekraftsmål [21]

### 2.1.1 Bærekraftsmål 9 - Industri, innovasjon og infrastruktur

Bærekraftsmål 9 lyder som følger:

*Bygge solid infrastruktur og fremme inkluderende og bærekraftig industrialisering og innovasjon [22]*

Det niende bærekraftsmålet har åtte delmål, og av disse åtte er det valgt å fremheve delmål 9.4. Det lyder som følger:

*9.4) Innen 2030 oppgradere infrastruktur og omstille næringslivet til å bli mer bærekraftig, med mer effektiv bruk av ressurser og mer utstrakt bruk av rene og miljøvennlige teknologiformer og industriprosesser, der alle land gjør en innsats etter egen evne og kapasitet [22]*

Bruken av 3D-laserskanning støtter opp om mer effektiv bruk av ressurser med blant annet å heve kvaliteten til de utførende, øke sannsynligheten for å bygge riktig første gang og bedre informasjonsflyten og samhandlingen mellom de respektive aktørene i byggeprosjekter. Effektiv

<sup>1</sup>Proptech er en forkortelse for property technology, eiendomsteknologi på norsk. Begrepet brukes om anvendelsen av informasjonsteknologi til å innhente og analysere data om hvordan bygg brukes og oppleves [16].



bruk av 3D-laserskanner i BA-bransjen fordrer en satsing på digitalisering, ergo ved å ta i bruk 3D-laserskanner vil en fremme teknologisk utvikling og innovasjon i en bransje mange definerer som teknisk konservativ [23, s. 527][1].

### 2.1.2 Bærekraftsmål 11 - Bærekraftige byer og lokalsamfunn

Bærekraftsmål 11 lyder som følger:

*Gjøre byer og lokalsamfunn inkluderende, trygge, robuste og bærekraftige* [24]

Det ellefte bærekraftsmålet har ti delmål, og av disse ti er det valgt å fremheve delmål 11.1 og 11.4. Disse lyder som følger:

*11.1) Innen 2030 sikre at alle har tilgang til tilfredsstillende og trygge boliger og grunnleggende tjenester til en overkommelig pris, og bedre forholdene i slumområder* [24]

*11.4) Styrke innsatsen for å verne og sikre verdens kultur- og naturarv* [24]

Med utgangspunkt i det definerte forskerspørsmålet i kapittel 4, vil en effektivisering av produksjonen av bygg ved hjelp av 3D-laserskanning kunne gjøre det mer lønnsomt å eksempelvis bygge boliger. Kostnadseffektive byggeprosjekter vil på sikt kunne gi en vekst i antall boliger, som igjen vil kunne gjøre boliger og grunnleggende tjenester mer tilgjengelig for alle. Selv om det er urimelig å anta at bruken av 3D-laserskanning alene vil kunne generere de ovennevnte positive ringvirkningene, vil bruken av denne type teknologi sette fart på satsningen på digitalisering i BA-bransjen.

3D-laserskanning muliggjør presis dokumentering av vår kulturarv. I konteksten av denne oppgaven innebærer dette at en kan utarbeide presise digitale gjengivelser av eksempelvis verneverdige bygg, og disse digitale gjengivelsene kan arkiveres slik at de kan hentes frem i forbindelse med rehabilitering og restaurering. Restaureringen av Notre-Dame, som er nevnt i kapittel 1, er ett eksempel der 3D-laserskanning har spilt en viktig rolle. I tillegg kan innsamlet punktskydata brukes til å avdekke og analysere eventuelle strukturelle svakheter, samt engasjere sponsorer og publikum gjennom fysisk og virtuell turisme. På så måte vil bruken av 3D-laserskanning i BA-bransjen styrke innsatsen for å verne og sikre verdens kulturarv.

## 2.2 Valg av språk

I lys av språkdebatten i akademia i 2018, 2021 og 2022, som skapte stort engasjement blant mange akademikere, er det valgt å vie et lite delkapittel til å utrede hvorfor norsk er valgt som språk i denne hovedfagsoppgaven. Ifølge [25] er produksjonen av vitenskapelige publikasjoner stadig økende i norske forvaltningsorganer, men til gjengjeld øker også andelen av publikasjoner der engelsk er valgt som språk. Forskerne antar at den økte engelskandelen blant annet skyldes et større tilslag av forskeropplærte ansatte som tar med seg den engelske språknormen fra akademia til statlig forvaltning.

§ 1-7. *Ansvar for vedlikehold og videreutvikling av norsk fagspråk* i universitets- og høyskoleloven gir norske universiteter og høyskoler ansvar for vedlikehold og videreutvikling av norsk fagspråk, men tall fra "Tilstandsrapport for høyere utdanning 2022" viser at andelen emner med norsk som planlagt undervisningsspråk går ned i samtlige fagområder [26]. I tillegg sees en sterkere økning i masteroppgaver skrevet på engelsk enn på norsk i perioden 2015-2021, eksempelvis viser statistikken at rett i underkant av 63 % av masteroppgavene på NTNU i 2021 ble skrevet på engelsk [27, s. 33-34]. Selv om dataene er hentet fra utdanningsinstitusjonenes åpne vitenarkiv der det er studentene selv som avgjør hvorvidt oppgaven skal være åpen tilgjengelig eller ikke, sees en økende trend til å skrive masteroppgaver på engelsk.

På bakgrunn av dette ønsker vi, som en del av utdanningsinstitusjonen Universitetet i Agder (UiA), å bryte med den engelske språknormen i akademia og bidra med en masteroppgave skrevet på norsk. God lesing!

## 3 | Kunnskapsbakgrunn

I dette kapitlet presenteres den nødvendige kunnskapsbakgrunnen for å belyse oppgavens overordnede tema og forskerspørsmål, ergo det er primært kunnskap som implisitt eller eksplisitt behandles i oppgavens resultat- og diskusjonsdel som presenteres. Kapitlet er inndelt i tre hovedtemaer: Digitalisering i BA-bransjen, 3D-skanning og BIM. Avslutningsvis presenteres et utvalg av tidligere forskning.

### 3.1 Digitalisering i BA-bransjen

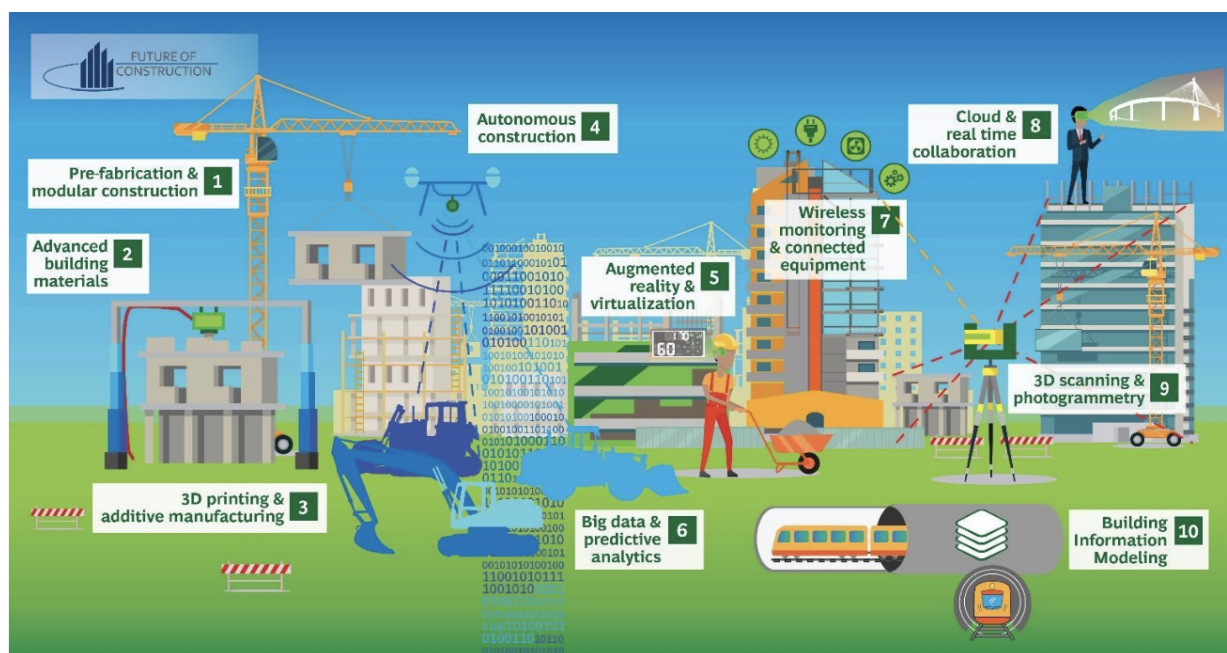
Det siste tiåret har bygg- og anleggsbransjen gjennomgått store endringer knyttet til teknologi og prosesser for gjennomføring av prosjekter [28, 29]. For å bygge videre på dette har BA-næringen hentet inspirasjon fra den fjerde industrielle revolusjon, også kjent som Industri 4.0. Industri 4.0 er et term som først ble introdusert under Hannover-messen i 2011 [30]. Kjernen i Industri 4.0 er det teknologiske konseptet ”cyber-fysiske systemer”, det vil si teknologi som kombinerer fysiske og digitale elementer for å skape systemer som er i stand til å kommunisere og samhandle med hverandre, men også med omgivelse rundt seg. I denne kategorien finner vi robotikk og automatisering, samt tingenes internett (”Internet of Things (IoT)” på engelsk) som er de fysiske enhetene som er koblet sammen via internett [29, 31]. Cyber-fysiske systemer og tingenes internett, sammen med data og tjenester, brukes for å koble produksjonsteknologier og smarte produksjonsprosesser sammen [29, 28, 23].

BA-bransjens svar på Industri 4.0 er Bygg 4.0 (”Construction 4.0” på engelsk). Bygg 4.0 regnes som et transformerende rammeverk som innebærer tre transformasjoner [32]:

1. Industriell produksjon og konstruksjon
2. Digitale teknologier
3. Cyber-fysiske systemer

Eksempler på digitale teknologier vil i dette tilfellet være BIM, utvidet og virtuell virkelighet (”augmented reality (AR)” og ”virtual reality (VR)” på engelsk), kunstig intelligens og 3D-laserskanning, for å nevne noen [28]. Bygg 4.0 vil føre til endringer ikke bare i selve byggeprosessen, men også i organisasjonene og prosjektstrukturene. Dette vil bidra til å transformere den fragmenterte byggebransjen til å bli en integrert bransje. Med andre ord vil innføringen av Bygg 4.0 bidra til å bryte ned siloene, og øke samarbeidet og kommunikasjonen mellom de ulike aktørene i byggeprosjekter, herunder entreprenører, arkitekter, ingeniører og byggherrer. Dette vil føre til mer effektive og produktive prosjekter, samt bedre kvalitetssikring og tidsstyring, som igjen vil føre til økt konkurransekraft og forbedre evnen til å gjennomføre prosjekter til forventet tid [1, 28].

I og med at cyber-fysiske systemer spiller en viktig rolle i Bygg 4.0, trengs en måte å representere det fysiske objektet på. Dette gjøres med såkalte *digitale tvillinger* [31] (mer om dette i underkapittel 3.3.3). Bygg 4.0 er et vidt begrep som involverer mange typer teknologier og prosesser. Figur 3.1 illustrerer hva som inngår i Bygg 4.0 [33].



Figur 3.1: Illustrasjon av hva som inngår i Bygg 4.0 [33]

### 3.1.1 Sentrale begreper

Digitalisering er ett av flere begreper som stadig vekker dukker opp i denne sammenheng. I dette delkapittelet gis en kort begrepsavklaring av de mest relevante begrepene i den hensikt å tydeliggjøre hva de betyr og hva de innebærer.

#### Digitalisering

Artikkelen ”Hva er digitalisering, digital innovasjon og digital transformasjon?” foreslår å definere digitalisering på følgende måte: ”Proessen med å benytte digital teknologi til å endre på en eller flere sosio-tekniske strukturer” [34, s. 5]. Det vil si at en ser på organisasjoner som to delsystemer; ett teknisk og ett sosialt system, og dermed tar i bruk digital teknologi for å øke verdiskapningen i organisasjonen [35, 34]. Et eksempel på dette kan være at jernbindere enkelte steder har begynt å ta i bruk BIM-modellen via smarttelefoner ute på byggeplass, for enklere å kunne løse komplekse armeringsjobber der 2D-tegninger kan oppfattes som rotete og uoversiktlig. Dette kan effektivisere prosessen ved at behovet for ineffektiv kommunikasjon mellom jernbindere og ingeniører reduseres.

#### Digitisering

Et annet sentralt begrep innenfor temaet digitalisering er *digitisering*. Det er lett å forveksle digitisering med digitalisering, da vi på norsk ikke skiller på disse, men begrepet digitisering brukes om den rent tekniske prosessen med å konvertere data og komponenter fra et analogt eller fysisk format til et digitalt format, som inngår i digitalisering [34, s. 4]. Et banalt eksempel på dette er studenter som i forbindelse med innlevering av arbeidskrav eller eksamen bruker ”CamScanner” eller lignende applikasjoner for å konvertere håndskrevne beregninger og/eller notater til en digital PDF.

#### Digital innovasjon

[34, s. 7] beskriver at digital innovasjon omhandler bruken av digital teknologi i kombinasjon med fysiske og digitale komponenter på en innovativ måte som skaper verdi, forbedret effektivitet og/eller nye produkter og tjenester. Et eksempel på digital innovasjon kan være bruken av 3D-laserskanning til å overvåke fremdriften i byggeprosjekter. Dette kan være et eksempel på digital innovasjon da 3D-skanningsteknologien i seg selv ikke er ny, men kombinasjonen med BIM kan gjøre det enklere for prosjektledere å spore fremdriften i prosjekter som kan ha en effektiviserende effekt.

## 3.2 3D-skanning

Ifølge [36] ble omlag 80 % av bygningsmassen i Europa konstruert før 1990-tallet. På bakgrunn av dette er det naturlig å anta at majoriteten av byggene i Norge og resten av Europa mangler dokumentasjon, og at eventuell tilgjengelig dokumentasjon ikke stemmer overens med det som faktisk er bygget. Nå som det begynner å bli aktuelt å oppgradere de eldre byggene, er det blitt populært å ta i bruk 3D-skanningsteknologi for å blant annet dokumentere eksisterende situasjon, og opprette en nøyaktig som-bygget BIM-modell som inkluderer detaljer av bygningen som ikke ville vært mulig å fange med tradisjonelle metoder [37, s. 1][38]. Dette er bare to av mange ting 3D-skanning kan brukes til. Figur 3.2 viser Trimble SX12 Scanning Total Station i aksjon - 3D-laserskanneren vi var så heldig å få låne av SITECH i forbindelse med det utførte eksperimentet beskrevet i kapittel 5.



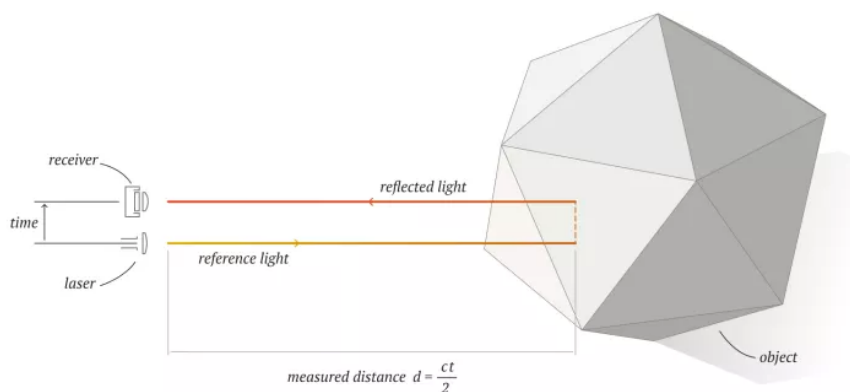
Figur 3.2: Trimble SX12 Scanning Total Station i aksjon ifm. det utførte eksperimentet. Foto: Privat

### 3.2.1 Laserskanning

LiDAR (ofte bare kalt laserskanning på norsk), forkortelse for "Light Detection And Ranging", er en målemetode som bruker pulserende laser til å samle inn millioner av punkter som til sammen former en punktsky. Punktene blir skannet med en nøyaktighet på en brøkdel av en millimeter, der ethvert punkt nøyaktig refereres til et koordinatsystem bestående av både vertikale og horisontale plan [39, s. 41]. Ved å samle punktene i én visning genereres en punktsky, og det er denne som gjør det mulig å blant annet opprette en 3D-modell av skannede objekter og omgivelser.

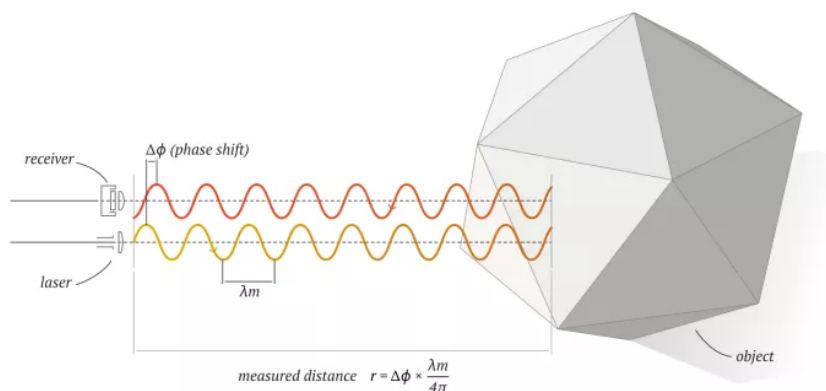
Det er to ulike metoder eller systemer for avstandsmåling med laserskanning. Under gis en kort beskrivelse av disse:

**Time-of-flight (ToF):** Metoden måler avstanden til endepunktet (overflate, objekt o.l.) ved å utsende en laserstråle og måle tiden det tar for lyset å bli reflektert tilbake til en sensor [40]. Figur 3.3 viser en prinsipiell skisse av ToF-metoden [41].



Figur 3.3: Prinsipiell skisse av ToF-metoden [41]

**Phase-shift:** Phase-shift-metoden måler avstanden til endepunktet (overflate, objekt o.l.) ved å sende ut en sammenhengende laserstråle med en bestemt bølgelengde, som deretter reflekteres tilbake til en mottaker. Ved å sammenligne bølgelengdene til den opprinnelige og reflekterte laserstrålen er det mulig å bestemme nøyaktig avstand til overflaten/objektet [40]. Figur 3.4 viser en prinsipiell skisse av Phase-shift-metoden [41].



Figur 3.4: Prinsipiell skisse av Phase-shift-metoden [41]

Kort forklart: Phase-shift-metoden har middels lang rekkevidde med høy nøyaktighet og ToF har lang rekkevidde, men produserer et resultat av litt dårligere kvalitet sammenlignet med Phase-shift-metoden [41].

Laserskanning kommer i all hovedsak i tre ulike varianter [42]:

1. **Terrestrial Laser Scanning (TLS):** Laserskanner som er montert på en tripod/stativ som ikke er i bevegelse.
2. **Mobile Laser Scanning (MLS):** Laserskanner som er montert på et objekt som er i bevegelse, eksempelvis biler, roboter eller tog.
3. **Airborne Laser Scanning (ALS):** Laserskanner som er montert på et flyvende objekt, eksempelvis droner eller helikopter.

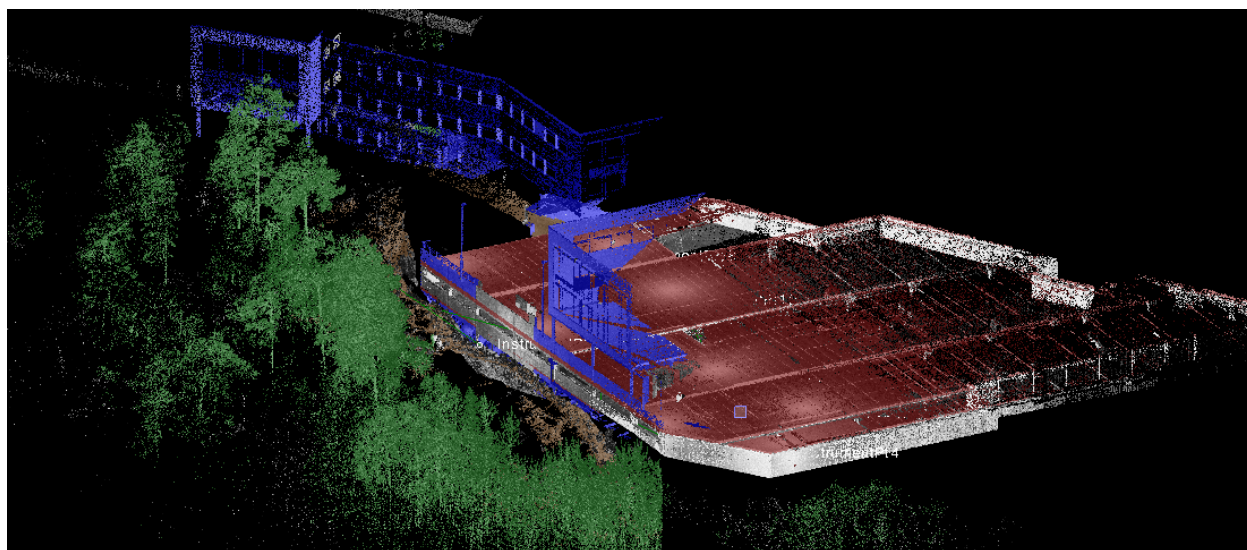
### 3.2.2 Fotogrammetri

Fotogrammetri er vitenskapen å nøyaktig bestemme målinger og tredimensjonale data fra bilder. Fotogrammetri må, i likhet med laserskanning, samle inn data (i dette tilfellet data i form av bilder) fra ulike vinkler for å kunne gjenskape geometrien til en bygning eller et objekt. Selv om fotogrammetri kan utføres med billige digitale kameraer, kan denne prosessen være svært tidkrevende. Fotogrammetri vil i likhet med laserskanning produsere punktskyer og ortografiske bilder [43].

### 3.2.3 Punktsky

En punktsky er en samling av punkter med fastsatte tredimensjonale koordinater, der hvert punkt beskriver en posisjon i det tredimensjonale rommet med en X-, Y- og Z-koordinat ut fra et referansepunkt, gjerne kalt origo. Punktskyer er det digitale resultatet alle 3D-skannere produserer, uavhengig om en bruker laserskanning eller fotogrammetri. En punktsky er selve grunnlaget når en produserer en BIM-modell basert på innsamlet data ved hjelp av 3D-skanner [44, 45]. Figur 3.5 viser punktskyen som ble opprettet i forbindelse med det gjennomførte eksperimentet (se kapittel 5). Punktskyen er et resultat av ni unike skanninger, ergo den er en sammenslått punktsky der punktskydata fra de ni skanningene overlapper hverandre.

Kvaliteten på punktskydata måles med tre parametere; nøyaktighet, fullstendighet og densitet. Nøyaktigheten refererer til rekkeviddenøyaktigheten til hvert punkt, fullstendigheten måles i hvor mye punktskydataen dekker i prosent, mens densiteten refererer til hvor mange punkter man har i punktskyen [46].



Figur 3.5: Skjermdump fra Trimble Business Center (TBC) som viser den opprettede punktskyen ifm. det gjennomførte eksperimentet

### 3.2.4 Anvendelsesområder

3D-skanning har mange bruksområder innen mange ulike fagfelt, men ser en kun på BA-bransjen er det stort sett disse bruksområdene en kommer over [39, s. 38][47, 48]:

- **Som-bygget BIM-modell vs. som-planlagt BIM-modell:** En som-bygget BIM-modell ("as-built" på engelsk) er en BIM-modell som viser hvordan det respektive bygget faktisk er bygget. Til sammenligning viser en som-planlagt BIM-modell ("as-planned" på engelsk) det prosjekterte/planlagte bygget. Ved å benytte punktskydata som underlag er det mulig å produsere en nøyaktig som-bygget BIM-modell, som blant annet kan brukes som sammenligningsgrunnlag opp mot som-planlagt BIM-modell.

- **Kvalitetskontroll:** Innsamlet som-bygget punktskydata kan brukes til å kontrollere det utførte arbeidet i den hensikt å sørge for at man overholder fastsatte krav og at det utførte arbeidet er av tilstrekkelig kvalitet. Et konkret eksempel på dette er å 3D-skanne betongdekker for å kartlegge hvor det eventuelt må avrettes/slipes.
- **Progresjonskontroll:** Ved å kontinuerlig 3D-skanne hele eller deler av byggeplassen, er det mulig å sammenligne den faktiske progresjonen med den planlagte progresjonen (fremdriftsplanen).
- **Dokumentere byggeprosjektets forløp:** Ved å kontinuerlig 3D-skanne hele eller deler av byggeplassen, vil en opparbeide seg et rikt dokumentasjonsunderlag. På den måten er det mulig å hente opp igjen nøyaktig som-bygget punktskydata senere i prosjektet (eller etter overlevering for den saks skyld). I tillegg er det mulig å kontinuerlig oppdatere den som-planlagte BIM-modellen underveis, slik at den stemmer overens med det som faktisk er bygget.
- **Bygg med manglende/utdatert dokumentasjon:** 3D-skanning kan brukes til å dokumentere eldre, historiske, verneverdige og fredete bygninger som har manglende/utdatert dokumentasjon. Et eksempel på dette er 3D-skanningen av Notre-Dame, der innsamlet punktskydata spiller en viktig rolle i gjenoppbyggingen etter brannen i 2019 (se kapittel 1).
- **Deformasjonsovervåkning:** Nedbøynings- og deformasjonsovervåking gjennomføres for å gi ingeniørene tilstrekkelig data for analyser, og dette er det mulig å benytte 3D-laserskanning til. Evaluering av broer, fundament og bjelker er noen av de konstruksjonene og elementene som kan være aktuell å benytte 3D-laserskanner til, da uoppdagede feil relatert til disse kan få fatale konsekvenser.

### 3.3 Bygningsinformasjonsmodellering (BIM)

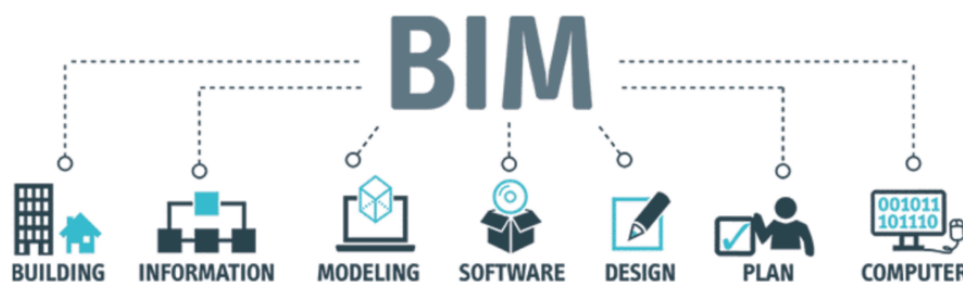
Bruken av BIM i Norge har tatt av for fullt. Dette er det Norges statlige byggherre, Statsbygg, som ofte får mye av æren for da de i 2008, sammen med tre andre offentlige byggherrer fra USA, Finland og Danmark, skrev under på en avtale som beskrev hvordan de ville stille krav til bruken av BIM i fremtidige byggeprosjekter. Denne avtalen førte blant annet til at Statsbygg formet et krav om at alle prosjekter med Statsbygg som byggherre skulle benytte åpenBIM innen utgangen av 2010 [49]. Gitt Statsbyggs posisjon som en markant og viktig byggherre i Norge (Statsbygg leder noen av Norges største og mest komplekse prosjekter, og har til enhver tid over 100 pågående prosjekter), så næringen seg nødt til å tilpasse seg for å kunne konkurrere [50].

Bygningsinformasjonsmodellering (eller -modell), oftest bare omtalt som BIM, er ikke et nytt konsept. Ideen om BIM ble allerede omtalt på slutten av 1970-tallet, da professor Charles M. Eastman mente at det å fysisk tegne konstruksjoner var ineffektivt grunnet at det var tidkrevende og vanskelig å oppdatere byggetegninger, og at daværende byggetegninger hadde en utydelig visuell fremstilling. Til tross for at dette allerede ble omtalt på 70-tallet, ble ikke det vi forbinder med BIM tatt i bruk før på midten av 2000-tallet [51].

BIM er et mye omtalt tema i nyere tid, men selv om det brukes mye er det krevende å finne en felles definisjon av BIM i BA-bransjen: Av noen omtales BIM som en prosess, og av andre omtales BIM som et verktøy. Noen omtaler også BIM som en blanding av en prosess og et verktøy [52]. Så for å unngå forvirring er det valgt å ta utgangspunkt i håndboken "BIM Handbook: A guide to building information" skrevet blant annet av den tidligere nevnte professoren Charles M. Eastman. Med BIM-teknologi konstrueres en nøyaktig digital modell av det som skal bygges, som inneholder all relevant informasjon knyttet til konstruksjonen. Med relevant informasjon menes informasjon om geometri, materialer, komponenter, funksjoner og egenskaper, med andre ord informasjon som er nødvendig for produksjons-, konstruksjons- og innkjøpsaktiviteter som er kritisk for å realisere prosjektet [53]. På mange måter kan BIM sees på som en viderutvikling av CAD, forkortelse for "Computer Aided Design", som er et dataverktøy der en blant annet kan utforme 2D- og 3D-tegninger

av konstruksjoner [54, 55]. Men i motsetning til CAD, der hovedfokuset ligger på det geometriske aspektet, muliggjør BIM å legge til informasjon knyttet til geometrien. Eksempelvis informasjon om materialer, brannklasser, kostnad, osv..

Tilgangen på denne type informasjon i BIM-modellen gjør det mulig å bruke modellen i flere av prosjektets faser, eksempelvis i drift og vedlikeholdsfasen. Ved å implementere BIM i byggeprosjekter har arkitekter, ingeniører, byggherre, entreprenører og bygningsforvaltere en felles digital møteplass, som faciliterer bedre samarbeid og kommunikasjon mellom de respektive aktørene. Dersom BIM blir implementert på riktig måte kan det føre til en mer integrert prosjekterings- og byggeprosess, som vil kunne resultere i høyere kvalitet og redusert byggetid og -kostnader [53]. Figur 3.6 viser hvilke momenter som inngår i BIM [56].



Figur 3.6: Momenter som inngår i BIM [56]

For å mate BIM-modellen med informasjon om for eksempel materialer, er det nødvendig å gi informasjon til alle elementene som inngår i bygget. Dette gjøres ved å digitalisere et fysisk objekt ved å opprette et såkalt BIM-objekt. Et BIM-objekt inneholder geometriske parametre og fysiske og tekniske egenskaper [57]. Disse objektene varierer fra enkle geometriske elementer som søyler, til mer komplekse bygningskomponenter som dører, ventilasjonssystem og elektriske anlegg. Figur 3.7 viser en prinsipiell skisse av et BIM-objekt [58].



Figur 3.7: Prinsipiell skisse av et BIM-objekt [58]

### 3.3.1 BIM-dimensjoner

Innføringen av BIM i byggebransjen resulterte i forbedret byggekvalitet og kommunikasjon, samt kostnadsreduksjoner [59]. Men i artikkelen "Beyond the third dimension: A systematic review of literature and assessment of professional views" fremkommer det at for å utnytte BIM til sitt fulle potensial, så bør man legge til flere BIM-dimensjoner [60]. Dette innebærer blant annet implementeringen av 4D-BIM, som tilegener modellen tidsrelatert informasjon. Dette kan gjennomføres ved å knytte fremdriftsplaner opp mot BIM-objekter under prosjektering, og det vil da være mulig å simulere byggeprosessen og visualisere hvordan bygget kommer til å endre seg med tiden. Det vil da være mulig å oppdage potensielle problemer før de blir en realitet, dette kan være blant annet HMS og/eller konflikter knyttet til logistikk. Av blant annet den grunn, kan det også være aktuelt å legge til 'n' antall dimensjoner i BIM-modellen, som bærekraft, HMS og kapitalforvaltning for å fremheve noen[60][53, s. 18]. Figur 3.8 viser en oversikt over potensielle BIM-dimensjoner ([61]).





Figur 3.8: BIM-dimensjoner [61]

### 3.3.2 BuildingSMART

BuildingSMART er en internasjonal organisasjon grunnlagt i 1995 under navnet "International Alliance for interoperability" (IAI), som i dag består av 23 fagnøytrale nasjonale underavdelinger, hvor blant annet Norge (BuildingSMART Norway) har hatt en avdeling siden 1997. BuildingSMART arbeider for å løse industriens utfordringer knyttet til interoperabilitet og samarbeid på tvers av fag, programvare og systemer [62]. Figur 3.9 viser logoen til BuildingSMART Norway [63].



Figur 3.9: Logoen til BuildingSMART Norway [63]

### ÅpenBIM

åpenBIM er det BuildingSMART jobber mot. Det overordnede målet med åpenBIM er at alle aktører i et byggeprosjekt skal kunne jobbe sammen på tvers av programvare ved å benytte en standardisert filtype som er kompatibel med så mange programvarer som mulig, helst alle. På denne måten vil en kunne samarbeide med samtlige parter/aktører på tvers av programvarer og/eller fagfelt [64].

For å kunne realisere åpenBIM, har buildingSMART de siste 25 årene utviklet "Industry Foundation Class", eller IFC som de fleste kjenner det som. IFC er et sett med ISO-sertifiserte standarder som håndterer prosesser, data, vilkår og endringsstyring for spesifikasjons-, administrasjons- og effektiv utnyttelse i BA-næringen [62]. IFC er nok for mange mest kjent for å være en filtype, og det er filtypen buildingSMART utviklet for å prøve å realisere ambisjonene med åpenBIM. IFC har blitt filtypen "alle" de store leverandørene anvender, herunder Autodesk, Trimble og Adobe [65].

Det motsatte av åpenBIM vil være lukketBIM, og dette refererer til en situasjon der aktørene i et prosjekt bruker programvarer fra samme leverandør med samme filtyper som ikke er kompatible med andre programvarer. På så måte vil en direkte konsekvens av lukketBIM være at det ikke er mulig å jobbe videre i andre programvarer [66].

### 3.3.3 Digital tvilling

En digital tvilling er en digital, virtuell representasjon av et virkelig system [67]. Med andre ord: Digital tvilling er en eksakt virtuell kopi av et fysisk objekt, som kan være alt fra en enkel komponent til et helt system eller en bygning. Formålet med å lage en digital tvilling er å kunne overvåke og optimalisere ytelsen til det fysiske systemet i sanntid, samt simulere og teste ulike scenarier og endringer uten å måtte gjøre endringer på det fysiske systemet [68].

For å kunne kalle det en digital tvilling, må den fysiske og digitale tvillingen kunne kommuniserer med hverandre slik at endringer som skjer med den fysiske tvillingen automatisk oppdateres digitalt. Hensikten med dette er å sørge for at tvillingene til en hver tid er så lik som mulig. Ved å analysere endringer som skjer i den fysiske tvillingen, vil en ut i fra den digitale modellen kunne forstå hvordan ulike endringer påvirker systemet både på godt og vondt, og på bakgrunn av dette er det mulig å optimalisere systemet [67]. Hovedforskjellen mellom digitale tvillinger og BIM-modeller, er at BIM fokuserer mer på design og prosjektering, mens digital tvillinger retter fokuset mot overvåkning og optimalisering av den fysiske konstruksjonen. Et eksempel på bruken av dette er Stavåbrua, der Statens Vegvesen monterte IoT-sensorer på broen for å overvåke den. Etter en liten stund mottok den ansvarlige bruinspektøren et automatisk varsel om at bevegelsessensorene sprengte skalaen. Dette resulterte i at de oppdaget en feil som førte til at broen ble satt ut av drift [69].

### 3.3.4 Reversert modellering (Scan-To-BIM)

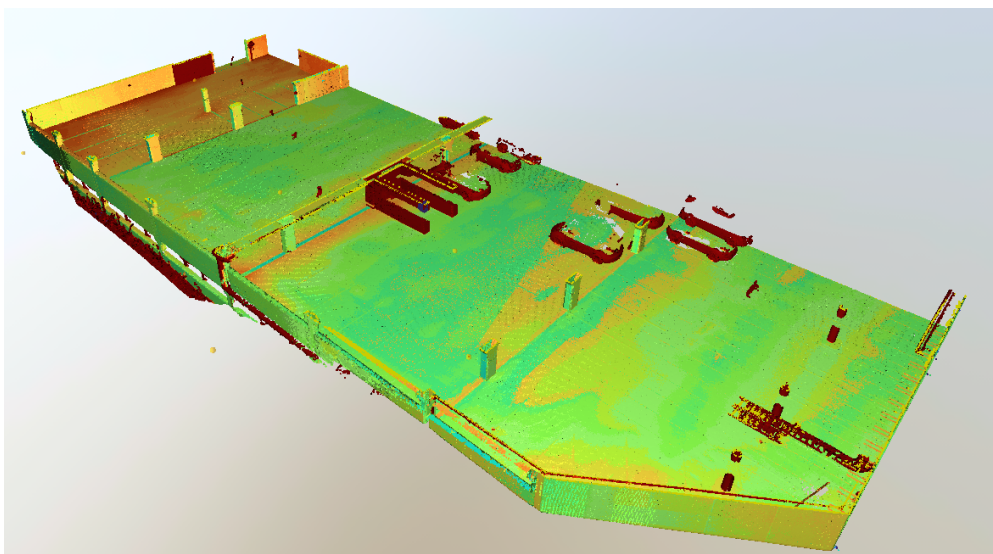
Reversert modellering, eller Scan-to-BIM på engelsk, er prosessen med å opprette BIM-modeller ut fra innsamlet punktskydata ved hjelp av 3D-skanning. For å kunne gå fra en punktsky til en BIM-modell, er en nødt til å gjennomføre flere trinn. For å kunne utføre de ulike trinnene i behandlingen av punktstyker er det nødvendig å benytte seg av ulike teknikker og metoder, herunder registrering, komprimering, klassifisering og outlier-fjerning. Data anskaffet med laserskanning eller fotogrammetri tar form av rå punktstyker, og må først justeres og kombineres i en felles koordinatramme. Dette behandlingssteget er også kjent som registrering [45].

Videre er outlier-fjerningsteknikker avgjørende for å eliminere støy og outliers som kan påvirke nøyaktigheten til punktstykene. I denne oppgaven er det valgt å erstatte det engelske begrepet outlier-fjerningsteknikker med vasking. I tillegg kan det være nødvendig å benytte utvalgs- eller komprimeringsmetoder for å redusere størrelsen på punktstykene, og gjøre det lettere å behandle dataene videre. Ved å utføre disse trinnene i behandlingen av punktstyker, kan en sikre en effektiv og nøyaktig analyse av dataene [45]. Det viser seg at 3D-skanning er veldig effektiv til å registrere alle typer geometriske objekter, men å transformere innsamlet punktskydata på en effektiv måte til en som-bygget parametriske modell er fortsatt under utvikling [38, 59].

### 3.3.5 Punktsky mot BIM (Scan-vs-BIM)

Punktsky mot BIM, eller Scan-vs-BIM på engelsk, er en idé som tar utgangspunkt i at alle dagens bygg prosjekteres med BIM-verktøy. Med dette som utgangspunkt, vil det være mulig å gjennomføre alle typer kontroller med 3D-laserskanning og fotogrammetri ved å utnytte de detalj- og informasjonsrike BIM-modellene [70].

Kjernen i Scan-vs-BIM er å registrere all virkelighetsdata i koordinatsystemet til prosjektets BIM-modell. For å få til dette er det mulig å koordinatfeste punktstyken slik at den samsvarer med den som-planlagte BIM-modellen. Dette kan gjøres på samme måte som med en totalstasjon, der en måler seg inn basert på koordinatfestede referansepunkter rundt på prosjektet. Når 3D-skanneren er målt inn og skanningene er gjennomført, kombineres den som-planlagte BIM-modellen og punktstyken som kjenner igjen og identifiserer de aktuelle objektene [71]. Dette vil gjøre det mulig å hente ut viktig informasjon som blant annet kan føre til (semi)automatisering av progresjons- og kvalitetskontroll [70]. Figur 3.10 viser skjermdump fra en utført Skann-avvik-analyse i Imerso, der de ulike fargene beskriver hvor mye de oppførte bygningselementene viker fra som-planlagt BIM-modell.



Figur 3.10: Skjermdump fra Imerso som viser en utført Skann-avvik-analyse

### 3.3.6 Byggeprosessen

Gitt oppgavens avgrensninger, beskrevet i underkapittel 4.1.1, er det valgt å beskrive kort de relevante fasene i byggeprosessen der bruken av 3D-laserskanning anses som særlig nyttig. Figur 3.11 viser hovedfasene i byggeprosessen, der den stiplede grønne boksen indikerer hvilke faser det er valgt å fokusere på i denne oppgaven. Figuren er tilpasset fra [72].



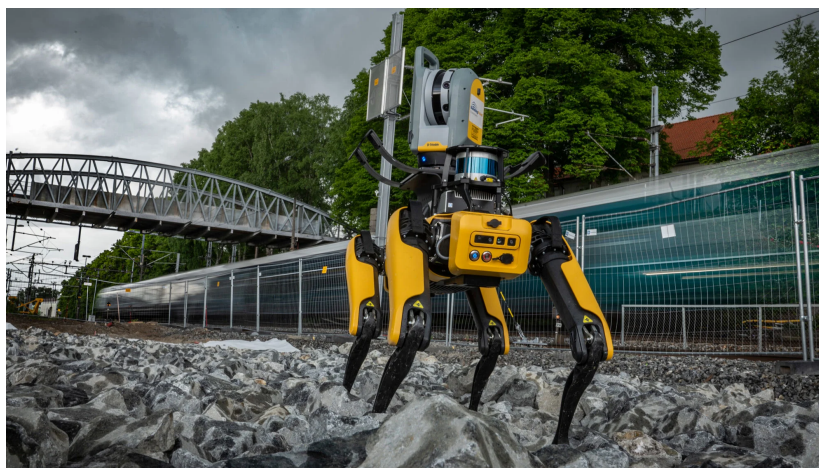
Figur 3.11: Byggeprosessen med uthevet fokusområde. Tilpasset fra [72]

- **Detaljprosjektering:** Detaljprosjekteringen er en grundig planleggingsprosess basert på de to foregående fasene; avklare behov og konseptutvikling og -bearbeiding. Detaljprosjekteringen innebærer å spikre detaljene med det formål om å få igangsatt arbeidene. Typiske leveranser i denne fasen er den ferdige spesifiserte løsningen (BIM-underlag), byggesøknad/igangsettelsessøknad, samsvarserklæring og oppdatert prosjektplan [72].
- **Utførelse:** Etter vedtatt detaljprosjekt kan selve gjennomføringen av byggearbeidet frem til eventuell prøvedrift og overtakelse påbegynnes, og her er alle fag innblandet. Typiske leveranser etter avsluttet byggeperiode er som-bygget dokumentasjon, prestasjonsmålinger, søknad om ferdigattest og FDV-dokumentasjon [72].
- **Overlevering:** Når de fysiske arbeidene er ferdigstilt og ferdigattesten er godkjent, skal prosjektet formelt overleveres byggherre. Den formelle overleveringen består av tre underfaser:
  1. Prøvedrift: Driftsystemer og funksjonalitet skal testes.
  2. Overtakelse: Det skal gjennomføres overtakelsesbefaringer og overtakelsesprotokoller skal signeres.
  3. Reklamasjon: Oppdukkende feil og mangler må følges opp før garantiperioden utløper. I den forbindelse er det vanlig å gjennomføre garantibefaringer, gjerne etter ett år og fem år.

Når de ovennevnte underfasene er gjennomført, går prosjektet over i FDV-fasen (forkortelse for forvaltning, drift og vedlikehold). Denne fasen svarer til prosjektets totale levetid, inkludert tilhørende aktiviteter og kostnader [72].

### 3.3.7 3D-skanning i kombinasjon med annen ”state-of-the-art” teknologi

Enkelte aktører i Skandinavia har fått øynene opp for muligheten til å automatisere innsamlingen av punktskydata ved hjelp av blant annet roboter, herunder Boston Dynamics’ robotiserte ”hund” bedre kjent under navnet Spot. Kombinasjonen av 3D-laserskanning og roboter vil tilfalle den tidligere nevnte kategorien Mobile Laser Scanning (MLS) (se underkapittel 3.2.1), og den baserer seg på teknologien kontinuerlig lokalisering og kartlegging (”Simultaneous localization and mapping (SLAM)” på engelsk). SLAM er en teknikk som kontinuerlig estimerer posisjonering og orientering ved at en robot eller autonomt system kartlegger sine omgivelser og lokaliserer seg selv innenfor det kartlagte området [73]. Det overordnede målet med å ta i bruk denne type teknologi er å effektivisere innsamlingsprosessen. I tillegg vil en ved å bruke Spot istedenfor mennesker eliminere risikoen knyttet til personskader, og dette er en viktig grunn til at Veidekke har begynt å bruke Spot til å gjennomføre 3D-laserskanninger i tunneller [74]. Det er ”mye” snakk om å benytte Spot og andre autonome skanneløsninger ute på byggeplass, men det er lite som tyder på at dette er en utbredt løsning enda. Figur 3.12 viser Boston Dynamics’ Spot i aksjon med en påmontert Trimble laserskanner på ryggen [74].



Figur 3.12: Boston Dynamics’ Spot i aksjon med en påmontert Trimble laserskanner på ryggen [74]

## 3.4 Tidligere forskning og arbeid

### 3.4.1 Bruk av kunstig intelligens i fremdriftsplanlegging

Som en del av vurderingsgrunnlaget i emnet BYG509-G Digital byggeprosess II ved Universitetet i Agder, ble det i 2022 skrevet en semesteroppgave som undersøker bruken av kunstig intelligens i fremdriftsplanlegging. For å svare på oppgavens forskerspørsmål ble det gjennomført en litteraturstudie og ett semistrukturert intervju med en universitetslektor på UiA [75]. Oppgaven ble utarbeidet av tre studenter på sivilingeniørstudiet - bygg, der én av studentene også er forfatter av denne hovedfagsoppgaven.

Funn fra litteraturstudien og det gjennomførte semistrukturerte intervjuet indikerer at KI vil være særlig nyttig til å generere reviderte fremdriftsplaner raskt, samt utarbeide flere alternative fremdriftsplaner slik at en har et utvalg av planer å velge mellom. På den andre siden, viser resultatene også noen konkrete utfordringer ved bruk av kunstig intelligens i fremdriftsplanlegging. Disse omhandler blant annet behovet for et rikt datagrunnlag, og mangelen på innsyn i den underliggende modellen slik at en kan analysere de beslutningene som er tatt [75, s. 21].

### 3.4.2 Optimalisering av 3D laserskanning for kvalitetssikring

”Optimalisering av 3D laserskanning for kvalitetssikring” er en masteroppgave utarbeidet ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) i 2022. Formålet med studien var å kartlegge hvordan bruken av 3D-laserskanning i kvalitetssikring kan optimaliseres for å sikre en virkningsfull effekt. Studien har en kvalitativ tilnærming der følgende datainnsamlingsmetoder ble benyttet: Litteraturstudie, intervju og dokumentstudie [76, s. i].

Studien konkluderer blant annet med at forbedret interoperabilitet er et område med stort forbedringspotensial, som kan lede til at prosesser som distribusjon av avviksmeldinger og oppdatering av BIM-modeller effektiviseres [76, s. 112].

## 4 | Forskerspørsmål

Masteroppgavens formål er å øke forståelsen av bruksområder, muligheter og begrensninger ved bruken av 3D-laserskanning i byggebransjen. For å realisere oppgavens formål er følgende forskerspørsmål utformet:

### Hvordan kan 3D-laserskanning brukes til å effektivisere produksjonen av bygg?

For å svare på det ovennevnte forskerspørsmålet er det utformet tre mer konkrete spørsmål (delspørsmål) som oppgaven skal analysere og besvare. Disse er:

1. *Hva kan 3D-laserskanning brukes til i produksjonen av bygg?*
2. *Hvordan vil bruken av 3D-laserskanning påvirke arbeidsflyten i produksjonen av bygg?*
3. *Hvilke kompetansebehov kreves for å ta i bruk 3D-laserskanningsutstyr og tilhørende programvare?*

Forskerspørsmålet og dets delspørsmål danner rammeverket for oppgaven, og valg tilknyttet forskningsdesign og metode er gjort med utgangspunkt i disse (mer om dette i kapittel 6). Videre følger en angivelse og begrunnelse av hvilke avgrensninger som er gjeldende, samt en kort beskrivelse av oppgavens omfang.

### 4.1 Omfang og avgrensninger

Denne hovedfagsoppgaven er skrevet av to sivilingeniørstudenter ved Universitetet i Agder (UiA), og oppgaven har et omfang på 60 studiepoeng (30 studiepoeng per student). Under følger en beskrivelse av oppgavens romlige og tidsmessige kontekst.

#### 4.1.1 Avgrensning av undersøkelsens fysiske og sosiale rammer - romlig kontekst

For å svare på oppgavens definerte forskerspørsmål benyttes et datasett fra sentrale aktører i produksjonen av bygg fra 2015 til 2023. Med produksjonen av bygg menes også allerede oppførte bygg som har rehabiliteringsbehov eller som mangler dokumentasjonsunderlag i form av som-bygget dokumentasjon. Gitt 3D-laserskannings mange potensielle bruksområder i BA-bransjen, er det valgt å fokusere på produksjonsfasen av bygg. Figur 4.1 viser hvilke faser i byggeprosessen ”produksjonsfasen” viser til i denne oppgaven (figuren er tilpasset fra [72]).



Figur 4.1: Uthevet fokusområde - produksjonsfasen i byggeprosessen [72]

På bakgrunn av at forfatterne har begrenset datateknisk kompetanse, er det valgt å ikke undersøke det tekniske aspektet ved 3D-skanningsteknologien utover det mest grunnleggende for å forstå hvordan verktøyet og tilhørende programvare fungerer. Oppgaven retter heller fokus mot hvordan 3D-laserskanning kan brukes i byggeprosjekter, og om implementeringen av teknologien har en virkningsfull effekt. Det er valgt å avgrense oppgaven til å i all hovedsak undersøke bruken av stasjonær 3D-laserskanning (TLS), ergo når det senere skrives ”3D-laserskanning” er det dette det refererer til. Videre undersøker oppgaven i liten grad 3D-laserskanning i kombinasjon med annen ”state-of-the-art” teknologi, eksempelvis roboter og kunstig intelligens. For å beskrive og presentere

fremtidige muligheter, nevnes likevel kombinasjonen 3D-laserskanning og annen teknologi i oppgaven. Men dette er altså ikke et fokusområde. Avslutningsvis er det valgt å ikke undersøke bruken av 3D-laserskanning i kvalitetskontroll av prefabrikkerte MEP-moduler<sup>1</sup>.

Oppdragsgiver er Universitetet i Agder, og prosjektbeskrivelsen er å finne i delkapittel 12.1. Som det fremgår i prosjektbeskrivelsen, har UiA søkt om, og fått godkjent, finansieringsmidler til å gå til innkjøp av 3D-laserskanner og tilhørende programvare, men utstyret kom ikke på plass før prosjektsslutt. Det lyktes likevel å få låne en Trimble SX12 Scanning Total Station laserskanner av SITECH i én dag, slik at vi fikk gjennomført det planlagte eksperimentet (se kapittel 5).

#### **4.1.2 Avgrensing i tid - tidsmessig kontekst**

Som tidligere nevnt benyttes et datasett fra sentrale aktører i produksjonen av bygg fra 2015 til 2023, her inngår kvalitativ data fra semistrukturerte intervjuer med respondenter som stammer fra bedrifter med tilknytning til byggeprosjekter på byggherresiden og entreprenørsiden. Oppgaven ble utformet over en periode på omtrent fire måneder, og den bygger ikke videre på forhenværende arbeid (eksempelvis fordypningsprosjekt eller forprosjekt).

---

<sup>1</sup>MEP står for "Mechanical, Electrical, and Plumbing", og disse prefabrikkerte modulene består av ulike komponenter som er nødvendig for å betjene bygningens mekaniske, elektriske og sanitære behov [77].

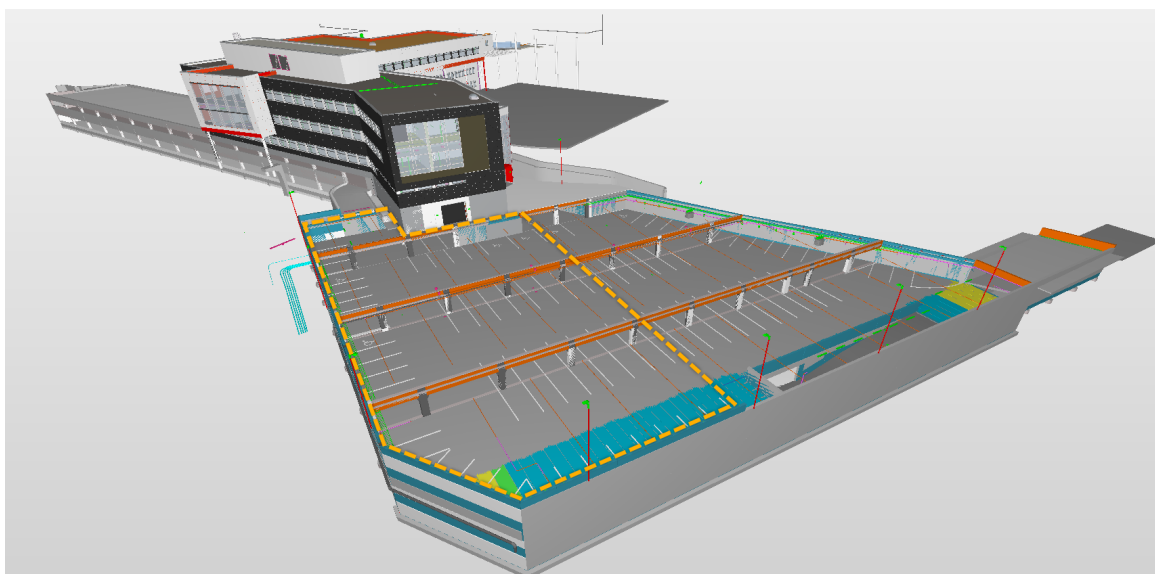
## 5 | Case og Materialer

For å få et bedre bilde av hva 3D-laserskanning kan brukes til, var det ønskelig å gjennomføre et eksperiment for å bedre forstå hvordan verktøyet virker i praksis, samt identifisere muligheter og begrensninger knyttet til bruken av utstyret og tilhørende programvare. I dette kapittelet presenteres det gjennomførte eksperimentet og hvilke materialer som ble benyttet.

### 5.1 Eksperiment - 3D-laserskanning av parkeringskjelleren ved UiA Campus Grimstad

For å kunne besvare delspørsmål 3, "Hvilke kompetansebehov kreves for å ta i bruk 3D-skanningsutstyr og tilhørende programvare?", var det ønskelig å 3D-laserskanne et rom eller område på UiA Campus Grimstad for å sammenligne som-planlagt BIM-modell med som-bygget dokumentasjon (Scan-vs-BIM) og undersøke prosessen med reversert modellering (Scan-to-BIM). Grunnen til dette var at det innledende litteratursøket identifiserte at eksisterende litteratur i liten/ingen grad omhandler maskin- og programvarens kompetansebehov.

Grunnet at bygningsmassen til UiA Campus Grimstad eies av J.B. Ugland, tok vi kontakt med dem for å høre om det var mulig å få tilgang til bygningsmassens BIM-modell. Det lot seg gjøre, men BIM-modellen var noe manglende da det ikke eksisterer digitale modeller av den eldste bygningsmassen; det gamle bygget til Høgskolen i Grimstad fra 1984. Figur 5.1 viser BIM-modellen som ble tilgjengeliggjort, her er eksperimentets fokusområde fremhevet med den stiplede oransje boksen.



Figur 5.1: Skjermdump fra Solibri som viser eksperimentets fokusområde - fremhevet med oransje stiplelinje

For å gjennomføre eksperimentet trengte vi både maskin- og programvare. Av maskinvare var det naturligvis behov for en 3D-laserskanner, men i og med at innkjøpsprosessen ikke kom i mål før prosjektslutt, valgte vi å ta kontakt med SITECH i Drammen som er en autorisert distributør av Trimble-løsninger. I utgangspunktet var det ønskelig å gjennomføre skanneprosessen på egenhånd, men gitt utstyrets prisklasse ble det enighet om at SITECH skulle bistå med gjennomføringen av skanningen. Med seg hadde SITECH en Trimble SX12 Scanning Total Station laserskanner, med nødvendig ekstrautstyr. Se underkapittel 5.2.2 for ytterligere detaljer. Figur 5.2 viser laserskanneren vi fikk låne av SITECH.





Figur 5.2: Trimble SX12 Scanning Total Station fra SITECH. Foto: Privat

## 5.2 Materialer

### 5.2.1 Programvare

- **Trimble Business Center (TBC):** TBC er programvaren vi trengte for å bearbeide og registrere punktskyen, samt for å konvertere filformatet til punktskyen (\*.rwcx) til andre filformat, herunder filformatene som aksepteres av Revit (\*.rcp) og Imerso (\*.e57).
- **Autodesk Revit:** Revit er programvare utviklet av Autodesk, og er en meget populært BIM-programvare i byggebransjen. Programvaren benyttes til å opprette 3D-modeller av bygninger og konstruksjoner. I dette eksperimentet ble Revit benyttet til å produsere en som-bygget BIM-modell ved å utføre en reversert modellering (Scan-to-BIM).
  - **Undet:** Undet leverer programvareutvidelser som har en del innebygde funksjoner som kan bistå med å blant annet opprette en BIM-modell ut ifra innsamlet punktskydata. Undet leverer programvareutvidelser til en rekke datamodelleringsverktøy, men i dette eksperimentet ble "Undet Revit" og "Undet Indexer" benyttet.
- **CloudCompare:** En gratis programvare der en kan laste opp punktskyer i forskjellige filformat. CloudCompare ble brukt til å bekrefte at registreringen av punktskyen ble gjort korrekt.
- **Imerso:** Imerso er en webbasert plattform som blant annet gjør det mulig å kontrollere som-bygget bygg mot som-planlagt bygg. I dette eksperimentet ble Imerso brukt til å sammenligne som-planlagt BIM-modell med som-bygget punktsky.
- **Solibri:** Solibri gjør det mulig for samtlige fagfelt å sjekke hver enkelt modell opp mot hverandre for å kontrollere for blant annet kollisjoner. Solibri ble blant annet benyttet til å kontrollere identifiserte feil/avvik i Imerso, ved å gå inn i modellen å ta ut snitt og andre detaljer som var av interesse.

### 5.2.2 Maskinvare

- **Totalstasjon:** Grunnet at det ikke fantes fastmerker i umiddelbar nærhet til eksperimentets fokusområde, var det nødvendig med en totalstasjon for å nøyaktig georeferere innsamlet punktskydata. Trimble SX12 Scanning Total Station er en kombinasjon av totalstasjon og 3D-laserskanner, ergo det var ikke behov for en egen totalstasjon (se Tabell 5.2 for totalstasjonens spesifikasjoner).
- **3D-laserskanner:** Trimble SX12 Scanning Total Station ble benyttet til å samle inn punktskydata (se Tabell 5.1 for laserskannerens spesifikasjoner).
- **SPS985 GNSS Smart Antenna:** Er en GNSS (Global Navigation Satellite System), og ble benyttet til å etablere et nettverk av koordinatfestede referansepunkt.
- **Trimble TSC7 Controller:** Er en målebok som ble brukt til å styre/operere totalstasjonen og GNSS antennen. I tillegg til dette lagres alt av data fra jobben eksternt på denne.
- **Datamaskin med rikelig minne (RAM):** TBC, Revit, CloudCompare og Solibri krever god PC-ytelse, følgelig ble en stasjonær PC tilhørende universitetet benyttet til å prosessere innsamlet punktskydata (se Tabell 5.3 for datamaskinens spesifikasjoner).

### 5.2.3 Maskinvare - spesifikasjoner

Tabell 5.1, 5.2 og 5.3 viser en oversikt over spesifikasjonene tilknyttet maskinvarene som ble benyttet i eksperimentet [78].

Tabell 5.1: Trimble SX12 Scanning Total Station - 3D-skanning [78]

Trimble SX12 Scanning Total Station	
Skannespesifikasjoner	
Vinkelnøyaktighet	1.5 mgon
3D-posisjonsnøyaktighet	2.5 mm ved 100 m
Rekkevidde og refleksivitet	18% ved 300 m
Målefrekvens	26600 Hz opptil 600 m
Rekkevidde støy	1.5 mm ved 50 - 200 m 2.5 mm ved 300 m
Driftstid	Opptil 7 timer

Tabell 5.2: Trimble SX12 Scanning Total Station - Oppmåling [78]

Trimble SX12 Scanning Total Station	
Spesifikasjoner oppmåling	
Vinkelnøyaktighet	0.3 mgon
Måle tid	Prisme modus, 1.6 s DR modus, 1.2 s
Nøyaktighet	Prisme modus, Standard 1 mm + 1.5 ppm Prisme modus, Sporing 2 mm + 1.5 ppm DR modus, Standard 2 mm + 1.5 ppm
Rekkevidde	Prisme modus, 1 m - 5500 m DR modus, 1 m - 800 m
Autolås rekkevidde	1 m - 800 m
Driftstid	Opptil 7 timer

Tabell 5.3: PC-ytelse eksperiment

<b>PC-ytelse eksperiment</b>	
<b>Spesifikasjoner</b>	
CPU	Intel Core i7-3770
Hovedkort	Hewlett-Packard 1790
RAM	16 GB
GPU	NVIDIA Quadro 2000
Lagringsplass	932 GB HDD

## 6 | Metode

I dette kapitlet beskrives valg og bruk av metoder benyttet til å besvare oppgavens forskerspørsmål. En presis og nøyaktig beskrivelse av benyttede metoder er viktig av flere grunner, blant annet for å ivareta krav om reliabilitet og validitet. Dette er sentrale begrep innenfor kvalitative og kvantitative forskningstilnæringer, og følgelig er det valgt å vie noen setninger til å definere disse begrepene. Reliabilitet, eller pålitelighet, brukes om målingers konsistens eller stabilitet. En måling er altså reliabel, eller har høy reliabilitet, dersom en oppnår samme måling når måleprosessen gjentas flere ganger [79]. Validitet, eller gyldighet, brukes om hvorvidt de slutningene en trekker fra resultatene fra et forsøk eller en studie kan betegnes som gyldige eller ikke [80]. Å oppnå absolutt reliabilitet og validitet i et forskningsprosjekt vil være en umulig oppgave, men målet er at disse skal være så høy som mulig. For å vurdere et prosjekts reliabilitet og validitet er mottakeren avhengig av å få innsyn i forfatterens utvalgte metodikk, hvilket er hensikten med dette kapitlet.

### 6.1 Forskningsdesign

Forskningsdesign, eller prosjektutformingsstadiet, er et stadiet i forskningsprosjektet der det etableres en overordnet plan for hvordan forskerspørsmålet skal belyses og besvares. Utarbeidelse av forskningsdesign skjer altså i etterkant av at forskerspørsmålet/problemstillingen er definert. I vitenskapelige undersøkelser bør følgende punkter vurderes [81, s. 83]:

- Forskningstyper, herunder eksplorerende design, deskriptivt design og kausalt design.
- Forskningsmetoder, herunder kvantitativ metode, kvalitativ metode og metodetriangulering.
- Empirisk design, herunder mellomgruppe-design, innen-gruppe-design og longitudinell metode.
- Datainnsamlingsmetoder, herunder spørreundersøkelse og intervju.
- Metoder tilknyttet dataanalyse.

Andre viktige momenter som bør vurderes før valg av forskningsdesign er forskningsperspektiv og tilnærming til teori og empiri. For å unngå at dette metodekapitlet blir en metodelære bok i miniatyr, er det valgt å diskutere de ovennevnte momentene i konteksten av dette prosjektet alene. Dette er å finne i kapittel 6.1.1.

#### 6.1.1 Valg av forskningsdesign

Det er tatt utgangspunkt i boken "Hvordan gjennomføre undersøkelser?", av Dag Ingvar Jacobsen, ved fastsettelse av forskningsdesign. Boken skiller mellom to hovedtyper undersøkelser [82, s. 65]:

1. Undersøkelser som har til hensikt å beskrive dagens situasjon - **beskrivende undersøkelser**. Denne type undersøkelser forekommer ofte når forfatterens forkunnskaper om et fenomen er begrenset, og på den måten er det ønskelig å søke en forståelse.
2. Undersøkelser som har til hensikt å måle virkninger eller effekter av et tiltak - **forklarende/kausale undersøkelser**. Denne type undersøkelser forekommer når forfatterne ønsker å etablere en empirisk sammenheng mellom årsak og virkning.

Videre skiller boken mellom to typer problemstillinger [82, s. 66]:

1. Problemstillinger som har som mål å utdype det vi vet lite om - eksplorerende problemstillinger.
2. Problemstillinger som har som mål å se rekkevidden eller omfanget av et fenomen - testende problemstillinger.

Tatt i betraktning oppgavens utformede forskerspørsmål i Kapittel 4 og det som er beskrevet ovenfor, kan denne studien defineres som en beskrivende og eksplorerende undersøkelse. Med utgangspunkt i

dette er eksplorerende design valgt som forskningsdesign. Denne type forskningsdesign brukes altså når forskerspørsmålet er uklart (i den forstand at det er nødvendig å gå i dybden på det som skal studeres), ergo det vil være nødvendig å få fram nyanser [82, s. 66]. Den praktiske betydningen av et eksplorerende design er at mange veivalg tas underveis, etter hvert som ny innsikt og kunnskap tas i betraktning. Dette kan eksempelvis være justeringer av det utformede forskerspørsmålet og dets underspørsmål eller utvalgsstrategi. Med et eksplorerende design er det ofte fordelaktig med en kvalitativ tilnærming. Dette skyldes at den kvalitative tilnærmingen konsentrerer seg om få enheter, og at innsamlet data kan klassifiseres som nyanserik [82, s. 141]. Det overordnede målet med denne tilnærmingen i denne oppgaven, er å samle inn oppfatninger og erfaringer om bruken av 3D-skanning i byggeprosjekter fra et utvalg av relevante aktører i et byggeprosjekt. Følgelig ble det bestemt å gjennomføre intervjuer, i form av semistrukturerte intervjuer, med respondenter som har erfaring med bruk av denne type teknologi i byggeprosjekter. I tillegg var det ønskelig å få praktisk erfaring med bruk av 3D-skanningsutstyr og tilhørende programvare i den hensikt å kartlegge hvorvidt det er krevende eller ikke å ta i bruk teknologien og utstyret med begrensede forkunnskaper. Dermed ble det også bestemt å gjennomføre et småskala eksperiment der prosessene reversert modellering (Scan-vs-BIM) og punktsky mot BIM (Scan-vs-BIM) ble utprøvd på deler av UiA Campus Grimstad. Gjennomføringen av disse stadiene er ytterligere beskrevet i delkapittel 6.3 og 6.4.

Fra et naturvitenskapelig ståsted kan en si at denne veivalg-fleksibiliteten kan true oppgavens validitet og reliabilitet, da endringer og justeringer av viktige momenter som forskerspørsmål og utvalgsstrategi kan endre rammene for oppgaven. Men på en annen side kan denne fleksibiliteten sees på som et fortrinn i kvalitative tilnærminger grunnet at en ikke er nødt til å ta alle valg på forhånd. På så måte åpner en opp for at nye problemstillinger kan oppstå etterhvert som ny og uventet kunnskap innhentes, noe som kan styrke kvaliteten på oppgaven [83, s. 10]. Denne oppgaven ønsker å øke forståelsen av bruksområder, muligheter og begrensninger ved bruken av 3D-skanning i byggeprosjekter, og grunnet at det er et relativt nytt forskningstema (se Figur 6.2 for resultater fra det innledende litteratursøket) ble veivalg-fleksibiliteten vurdert som hensiktsmessig.

### 6.1.2 Sterke og svake sider ved en kvalitativ tilnærming

I tillegg til den ovennevnte veivalg-fleksibiliteten som ansees som gunstig i denne oppgaven og at innsamlet kvalitativ data kan klassifiseres som nyanserik, beskriver [82, s. 141] at det faktum at forskere ikke påtvinger det eller de som undersøkes faste svarkategorier gjør at en får fram den ”riktige” forståelsen av det som studeres. I semistrukturerte intervjuer med høy grad av åpenhet, eksempelvis, er det respondentene som definerer den ”korrekte” forståelsen. Dette reduserer risikoen for at innsamlet data bærer preg av forskernes forutinntatte meninger/teorier.

På den andre siden er en markant svakhet ved kvalitative tilnærminger at det gjerne er få enheter som undersøkes, hvilket kan medføre genarliseringproblemer [82, s. 143]. I teorien vil dette kunne løses med å samle inn data fra et representativt utvalg, men gitt oppgavens tidsmessige avgrensning, beskrevet i underkapittel 4.1.2, ville dette tatt alt for lang tid. Følgelig er det viktig å ha dette i bakhodet når en analyserer og trekker konklusjoner fra innsamlet kvalitativ data.

## 6.2 Litteraturstudie

I dette delkapitlet beskrives valg av litteratursøk, herunder valg av søkestrategi og en detaljert beskrivelse av benyttede søkeord, seleksjonskriterier og databaser. Avslutningsvis presenteres overordnede resultater fra det gjennomførte litteratursøket. Hensikten med dette delkapitlet er å sørge for at litteratursøket er transparent slik at det kan repliseres/etterprøves.

### 6.2.1 Litteraturstudie som metode

Når en jobber med forskningsrelaterte temaer vil det nesten bestandig finnes mye relevant litteratur, og det er fort gjort å gå seg vill i jungelen av tilgjengelig litteratur. Dermed er det helt essensielt å utvikle en grundig plan før gjennomføringen av litteraturstudien. Ifølge boken ”Handbook of eHealth Evaluation: An Evidence-based Approach” kan en litteraturstudie tjene to formål [84, s. 157]:

1. Innhente relevant litteratur som avdekker eksisterende kunnskap. Denne type litteraturstudie brukes ofte til å:
  - Sammenfatte eksisterende litteratur og identifisere potensielle kunnskapshull som den aktuelle studien adresserer.
  - Danne et teoretisk grunnlag basert på forhenværende forskning i den hensikt å underbygge aktuelle forskerspørsmål, aktualisere temaet og forskerspørsmålet studien adresserer, eller validere valgt tilnærming og/eller metode for den foreslåtte studien.
2. Innhente relevant litteratur og sammenfatter disse. Denne type litteraturstudie brukes ofte til å:
  - Gi en oversikt over det nåværende kunnskapsnivået innenfor et spesifisert tema eller disiplin. Dette kan være en oppsummering av nylige fremskritt eller oppdagelser, eller anbefalinger til videre forskning innenfor den spesifiserte disiplinen. Resultatene fra denne type litteraturstudie presenteres ofte i form av en såkalt oversiktsartikkel.

I denne sammenheng er formålet med litteraturstudien å danne en oversikt over eksisterende litteratur, samt etablere et teoretisk grunnlag med utgangspunkt i forhenværende forskning, ergo det ovennevnte første formålet. På så måte er litteraturstudien i denne oppgaven utført som en såkalt "scoping review", eller et systematisk litteratursøk som det heter på norsk. Det engelske ordet "scope" kan på norsk oversettes til omfang eller rekkevidde, og ved å gjennomføre et systematisk litteratursøk vil en raskt kunne etablere en oversikt over omfanget, dekningen og/eller volumet av litteratur innenfor et valgt tema. Ifølge [85, s. 2] vil det være hensiktsmessig å gjennomføre et systematisk litteratursøk dersom en ønsker å kartlegge én eller flere av følgende punkter:

- Eksisterende kunnskap innenfor et valgt tema.
- Avklare nøkkelbegreper og definisjoner i litteraturen.
- Undersøke hvordan forhenværende forskning har blitt utført.
- Identifisere essensielle egenskaper og faktorer innenfor et valgt tema.
- Om det er relevant å gjennomføre en systematisk oversikt ("systematic review" på engelsk).
- Identifisere og analysere potensielle kunnskapshull.

En "systematic review", eller systematisk oversikt på norsk, kan på mange måter sees på som en videreføring av et systematisk litteratursøk i den forstand at det er en mer detaljert, spisset og tidkrevende tilnærming. Hensikten med en systematisk oversikt er å erverve all tilgjengelig data/informasjon/bevis som er relevant for studiens tydelige definerte forskerspørsmål, og tilnærmingen har ofte en varighet på mer enn ett år [86].

I denne studien er et systematisk litteratursøk vurdert til å være den mest hensiktsmessige tilnærmingen. Grunnlaget for denne vurderingen er primært tilknyttet oppgavens omfang og forfatterens kunnskapsnivå om temaet ved prosjektstart: Gitt oppgavens begrensede varighet på omtrent 4 måneder, ble det vurdert dithen at det var særskilt viktig å komme tidlig og raskt i gang med kartleggingen av litteratur, slik at litteraturstudien ikke opptok for mye tid. Videre var det nødvendig å sette seg inn i det teoretiske rammeverket ved prosjektstart, da forfatterens forkunnskaper knyttet til temaet var begrenset. Dermed fungerer litteraturstudien, gjennomført som et systematisk litteratursøk, også som en introduksjon til forskningstemaet.

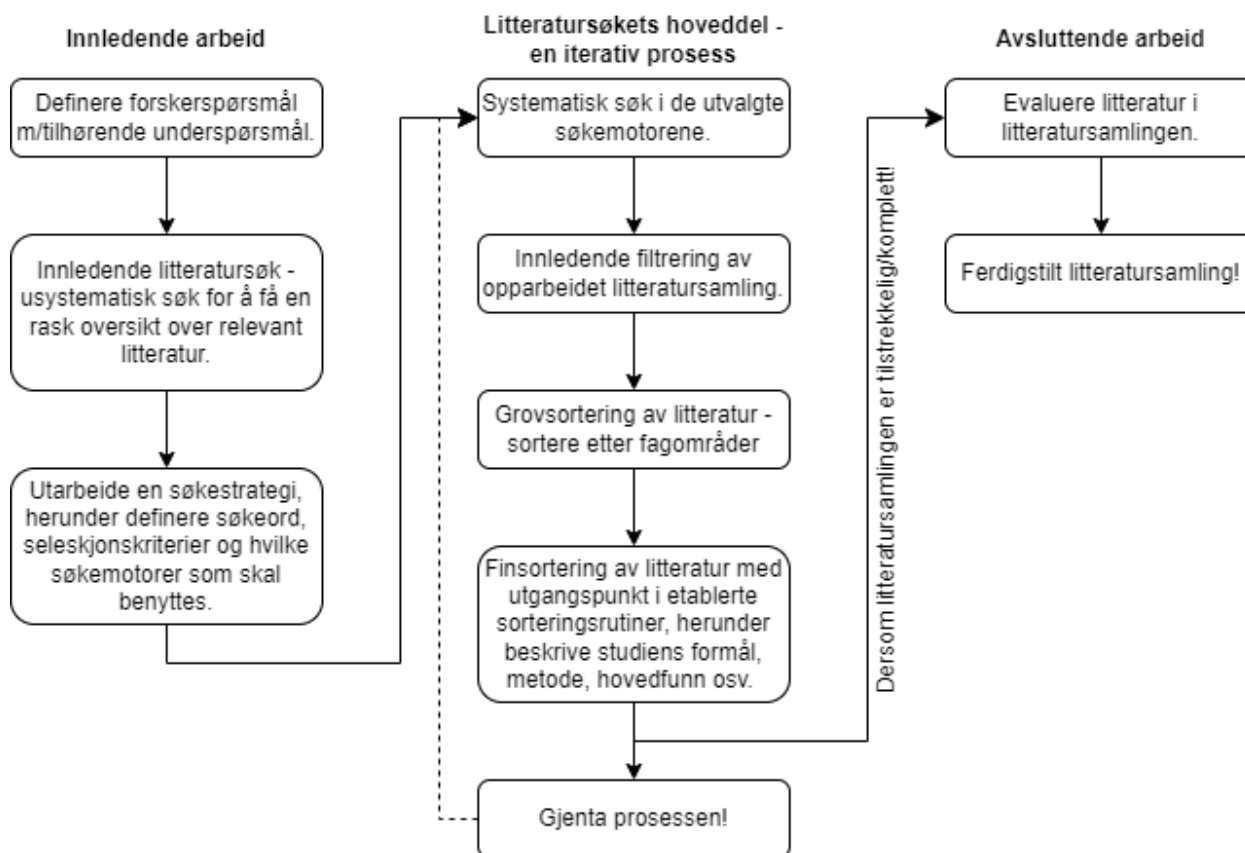
Det systematiske litteratursøket er gjennomført med utgangspunkt i Arksey og O'Malley sitt metodiske rammeverk for gjennomføring av et systematisk litteratursøk. Fremgangsmåten i litteraturstudier vil av naturlige årsaker variere, og dette er intet unntak. Til tross for at det er etterstrebet å følge rammeverkets hovedstadium, er det gjort noen tilpasninger. I samråd med anbefalinger gitt i [87, s. 6], er kartleggingen av litteratur utført som en iterativ prosess. Det

vil si at kartlegging og sortering av litteratur har blitt oppdatert kontinuerlig, hvilket har vært nødvendig ettersom forfatterens innsikt i forskningstemaet har utviklet seg over tid. Tabell 6.1 viser en komprimert oversikt over rammeverket [87, s. 3].

Tabell 6.1: Arksey og O'Malley sitt metodiske rammeverk for gjennomføring av et systematisk litteratursøk [87, s. 3]

Arksey and O'Malley Framework Stage	Description
1: Identifying the research question	Identifying the research question provides the roadmap for subsequent stages. Relevant aspects of the question must be clearly defined as they have ramifications for search strategies. Research questions are broad in nature as they seek to provide breadth of coverage.
2: Identifying relevant studies	This stage involves identifying the relevant studies and developing a decision plan for where to search, which terms to use, which sources are to be searched, time span, and language. Comprehensiveness and breadth is important in the search. Sources include electronic databases, reference lists, hand searching of key journals, and organizations and conferences. Breadth is important; however, practicalities of the search are as well. Time, budget and personnel resources are potential limiting factors and decisions need to be made upfront about how these will impact the search.
3: Study selection	Study selection involves <i>post hoc</i> inclusion and exclusion criteria. These criteria are based on the specifics of the research question and on new familiarity with the subject matter through reading the studies.
4: Charting the data	A data-charting form is developed and used to extract data from each study. A 'narrative review' or 'descriptive analytical' method is used to extract contextual or process oriented information from each study.
5: Collating, summarizing, and reporting results	An analytic framework or thematic construction is used to provide an overview of the breadth of the literature but not a synthesis. A numerical analysis of the extent and nature of studies using tables and charts is presented. A thematic analysis is then presented. Clarity and consistency are required when reporting results.
6: Consultation (optional)	Provides opportunities for consumer and stakeholder involvement to suggest additional references and provide insights beyond those in the literature.

Flytdiagrammet i Figur 6.1 viser gangen i det gjennomførte litteratursøket. Det er basert på det ovennevnte rammeverket til Arksey og O'Malley m/tilhørende tilpasninger. Det er hentet inspirasjon fra Figur 2.1 i [76, s. 10] i utarbeidelsen av flytdiagrammet.



Figur 6.1: Gangen i det gjennomførte litteratursøket

### 6.2.2 Søkestrategi

Som det fremgår i flytdiagrammet i Figur 6.1 over, ble litteraturstudiens søkestrategi utarbeidet etter det innledende usystematiske litteratursøket. På så måte fungerte det innledende litteratursøket som en kartleggingsprosess av sentrale begreper og terminologi innenfor forskningstemaet, og dette ble videre brukt til å lage en oversikt over aktuelle søkeord og søkefraser. I den forbindelse ble det utarbeidet et eget loggføringssystem i Microsoft Excel basert på loggboken presentert i nettkurset "Academic Information Seeking" på Coursera og i boken "The Good Paper: A Handbook for Writing Papers in Higher Education" [88].

For å unngå for vide søk og et u håndterlig antall treff i søkemotorene, kan en benytte ulike søketeknikker for å innsnevre og spesifisere søket. Følgende søketeknikker ble benyttet i denne studien [89]:

1. Frasesøk - brukes for søk etter eksakt samsvar. Ble brukt for å inkludere relevante fraser i søket.
2. Trunkering - brukes for søk etter ord med flere eller ukjente endinger ved å bruke et stjernetegn (\*). 3D scan\* gir også treff på 3D scanner, 3D scanning o.l..
3. Kombinasjonssøk (boolske operatorer) - brukes til å begrense eller utvide søk ved å bruke boolske operatorer (AND, OR, NOT o.l.) mellom søkeord og søkefraser. Det er primært AND og OR som er benyttet i denne litteraturstudien.
4. Feltsøk - brukes til å definere i hvilke felter av referansen søkeordene eller søkefrasen skal forekomme. TITLE-ABS-KEY("3D scanning" AND applications) gir treff med frasen 3D scanning og applications i referansens tittel, sammendrag eller index (emneord). Dette gjør det mulig å ytterligere begrense/spesifisere søket.

I tillegg til ovennevnte søketeknikker, er også citation chaining benyttet i denne oppgaven. Det skiller vanligvis mellom backward chaining og forward chaining, der sistnevnte er vurdert til å være den mest hensiktsmessige i denne sammenheng. Denne søketeknikken går ut på å benytte en sentral kilde innenfor forskningstemaet, en kilde med flere siteringer, til å identifisere nyere kilder. På så måte kan én kilde føre til en annen kilde, som igjen kan føre til en annen kilde, hvilket skaper en kjede av relaterte kilder. Backward chaining, derimot, går ut på å studere de benyttede kildene i en oppgave/artikkel/bok i den hensikt å identifisere primærkilden [90]. Hovedfagsoppgaver og doktorgradsavhandlinger som omhandler bruk av 3D-skanning i BA-bransjen er eksempler på litteratur som har blitt studert i den hensikt å identifisere relevante primærkilder. Denne teknikken ble i all hovedsak benyttet i litteratursøkets innledende fase, samt for å finne spesifikk informasjon underveis.

For å sikre en iterativ prosess i litteratursøkets hoveddel, ble det benyttede kombinasjonssøket (se underkapittel 6.2.5) lagret og varsling ble aktivert slik at vi ble oppdatert da ny litteratur som samsvarte med kombinasjonssøket ble publisert.

### 6.2.3 Benyttede søkemotorer

I søken etter fagfelleverdert litteratur ble de to største og mest omfattende databasene for akademiske tidsskrifter og andre dokumenter innen ulike akademiske disipliner, Web of Science og Scopus, benyttet [91]. Grunnet at anvendelse av 3D-skanning i byggebransjen er et relativt nytt tema (se Figur 6.2) og at BA-næringen i Norge er ledende innen digitalisering, var det også nødvendig å inkludere norsk litteratur og grå litteratur om forskningstemaet. Følgelig ble også Google Scholar benyttet.



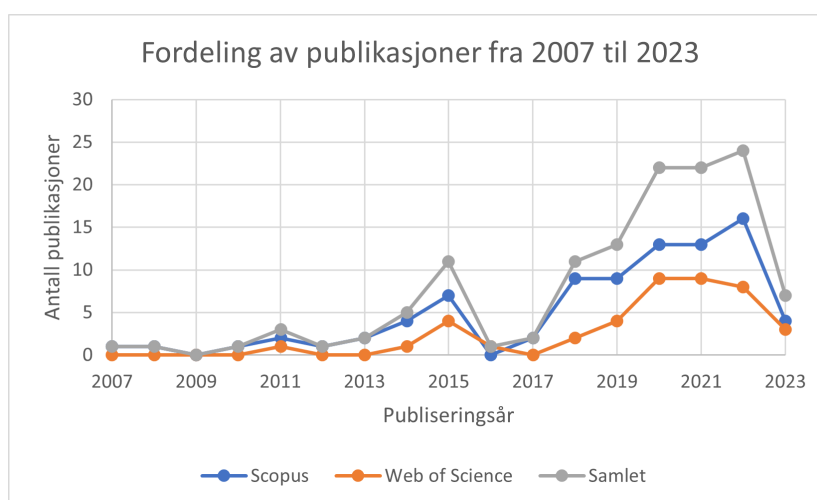
## 6.2.4 Seleksjonskriterier

I tillegg til de tidligere nevnte søkeordene og -frasene, ble litteratur som tilfredsstilte følgende seleksjonskriterier valgt:

1. Bare litteratur som omhandler bruken av 3D-laserskanning i produksjonen<sup>1</sup> av bygg ble inkludert.
2. Bare litteratur som omhandler bruken av stasjonær 3D-laserskanning (TLS) er inkludert<sup>2</sup>.
3. Bare litteratur fra år 2015 til 2023 ble inkludert.
4. Bare engelsk litteratur fra Web of Science og Scopus ble inkludert.
5. Alle akademiske publikasjoner, konferanseartikler, bøker, rapporter og tekniske rapporter ble inkludert.
6. Litteratur som omhandler energisimulering og -beregning vha. blant annet 3D-skanning er ekskludert.
7. Litteratur som omhandler identifisering og verifisering av objekter vha. av kunstig intelligens, herunder dyplæring ("deep learning" på engelsk), er ekskludert.

## 6.2.5 Overordnede resultater fra litteratursøket

Det innledende litteratursøket i databasene Scopus og Web of Science resulterte i 127 treff, hvorav 85 treff kom fra Scopus og 42 treff kom fra Web of Science. Det benyttede kombinasjonssøket i det innledende litteratursøket lyder som følger: (TITLE-ABS-KEY("3D scan\*"OR "3D laser scan\*"OR LIDAR AND Building OR Construction AND BIM AND Efficien\*) AND (LIMIT-TO(LANGUAGE, English))), ergo de ovennevnte tallene stammer fra dette søket. Det samme kombinasjonssøket ble benyttet i Scopus og Web of Science, og som det fremkommer av tallene over er det betraktelig flere treff på Scopus. Årsaken til den store differansen i antall treff kan skyldes at Scopus dekker et bredere spekter av akademiske tidsskrifter enn Web of Science. Grunnen til dette er dels på grunn av at Scopus er mer internasjonalt orientert; andelen akademiske tidsskrifter fra USA, Canada, Storbritannia, Nederland, Tyskland og Sveits var i 2006 78 % på Web of Science, mens andelen av akademiske tidsskrifter fra de samme landene på Scopus var 67 % [92, s. 11]. Figur 6.2 viser fordelingen av publikasjoner fra 2007 til 2023 fra Scopus, Web of Science og samlet med utgangspunkt i det ovennevnte kombinasjonssøket.



Figur 6.2: Fordeling av publikasjoner fra 2007 til 2023

<sup>1</sup>Her inngår også som bygget-dokumentasjon og andre potensielle bruksområder ifm. allerede oppførte bygg.

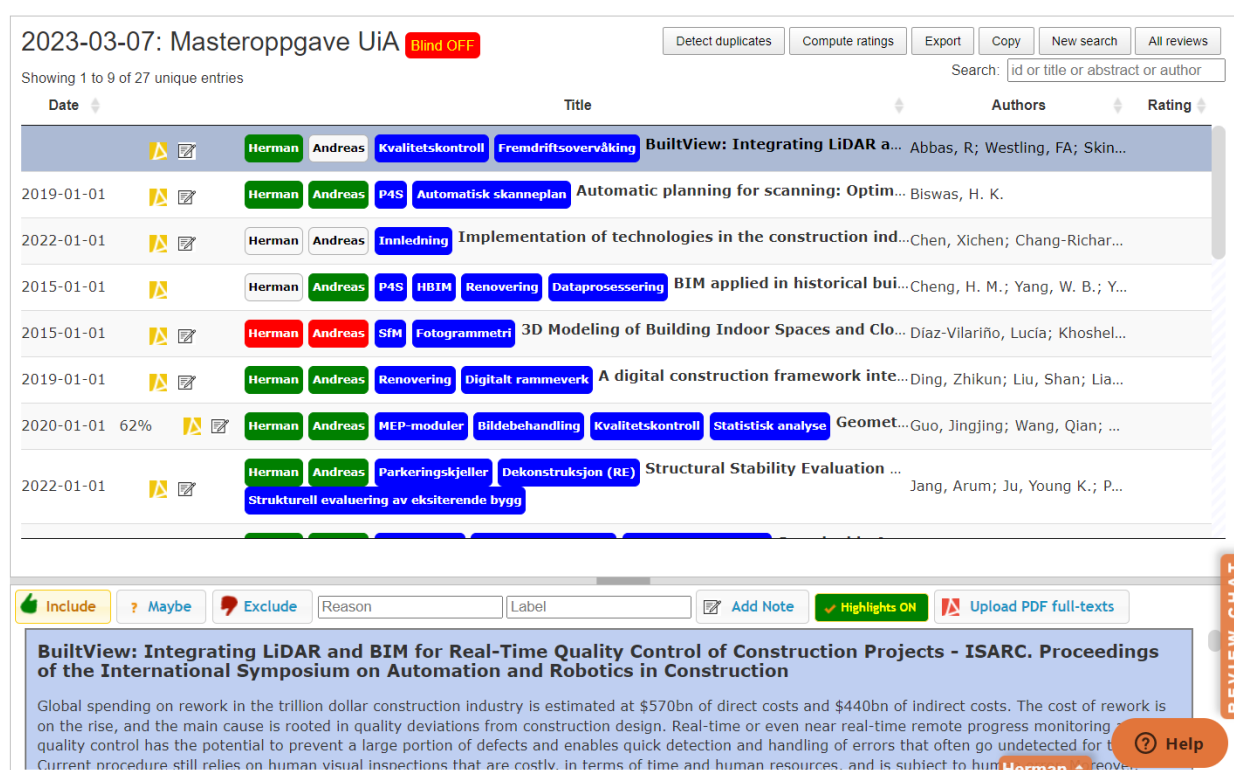
<sup>2</sup>Her inngår også litteratur som omhandler bruken av stasjonær 3D-laserskanning i kombinasjon med luftbåren 3D-skanning (ALS).

Som det fremgår i Figur 6.2 er det begrenset med dokumenter/publikasjoner publisert før 2015, hvilket bekrefter at forskningstemaet er relativt nytt. Men særlig etter 2017 sees en jevn økning i antall publikasjoner, og dette kan forespeile at byggebransjen, med academia i ryggen, har fått øynene opp for 3D-laserskanning som et potensielt nyttig verktøy i byggeprosjekter.

De 127 treffene fra Scopus og Web of Science ble gjennomgått ved gjennomlesing av tittel og sammendrag, og dette resulterte i utvelgelsen av totalt 38 dokumenter/publikasjoner. I forbindelse med dette, ble verktøyet Rayyan benyttet. Dette er en plattform som hjelper brukere med å kategorisere og gjennomgå dokumenter for å effektivisere gjennomgangsprosessen [93]. En nyttig funksjon i Rayyan er at flere kan delta i litteraturgjennomgangen samtidig uten at inkluderings- og ekskluderingsbeslutninger synliggjøres for hverandre. Denne funksjonen heter "Blind ON", og ved å benytte oss av denne funksjonen kunne vi gjennomføre litteraturgjennomgangen hver for oss for så å sammenligne og sammenstille inkluderings- og ekskluderingsbeslutninger og notater da litteratursamlingen var gjennomgått. Etter deduplisering, ble 27 dokumenter/publikasjoner med videre til neste prosess - finsortering av opparbeidet litteratursamling (se Figur 6.1).

### 6.2.6 Finsortering av opparbeidet litteratursamling

Siste fase i det gjennomførte litteratursøket var finsortering og evaluering av opparbeidet litteratursamling. I likhet med den ovennevnte grovsorteringen, ble Rayyan med "Blind ON" funksjonen også benyttet til å finsortere og evaluere litteraturen. Denne fasen bestod av en grundigere gjennomlesning av litteraturen, og det ble produsert et kort sammendrag av litteraturens innhold, formål og hovedfunn. På bakgrunn av dette ble hver artikkel evaluert opp mot oppgavens forskerspørsmål og dets delspørsmål, og inkluderings- og ekskluderingsbeslutninger ble tatt. Figur 6.3 viser skjermdump fra Rayyan-plattformen etter gjennomført finsortering og evaluering hver for oss. Som det fremgår av figuren er "Blind ON" funksjonen deaktivert slik at notater og inkluderings- og ekskluderingsbeslutninger synliggjøres. Dermed kunne vi sammenligne og sammenstille individuelle beslutninger for å ferdigstille litteratursamlingen.



2023-03-07: Masteroppgave UiA Blind OFF Detect duplicates Compute ratings Export Copy New search All reviews

Showing 1 to 9 of 27 unique entries Search: [id or title or abstract or author]

Date	Title	Authors	Rating
	<b>BuiltView: Integrating LiDAR a...</b>	Abbas, R; Westling, FA; Skin...	
2019-01-01	<b>Automatic planning for scanning: Optim...</b>	Biswas, H. K.	
2022-01-01	<b>Implementation of technologies in the construction ind...</b>	Chen, Xichen; Chang-Richar...	
2015-01-01	<b>BIM applied in historical bui...</b>	Cheng, H. M.; Yang, W. B.; Y...	
2015-01-01	<b>3D Modeling of Building Indoor Spaces and Clo...</b>	Diaz-Vilarriño, Lucia; Khoshel...	
2019-01-01	<b>A digital construction framework inte...</b>	Ding, Zhikun; Liu, Shan; Lia...	
2020-01-01	<b>Geomet...</b>	Guo, Jingjing; Wang, Qian; ...	62%
2022-01-01	<b>Structural Stability Evaluation ...</b>	Jang, Arum; Ju, Young K.; P...	

**BuiltView: Integrating LiDAR and BIM for Real-Time Quality Control of Construction Projects - ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction**

Global spending on rework in the trillion dollar construction industry is estimated at \$570bn of direct costs and \$440bn of indirect costs. The cost of rework is on the rise, and the main cause is rooted in quality deviations from construction design. Real-time or even near real-time remote progress monitoring and quality control has the potential to prevent a large portion of defects and enables quick detection and handling of errors that often go undetected for t... Current procedure still relies on human visual inspections that are costly, in terms of time and human resources, and is subject to human error.

Include Maybe Exclude Reason Label Add Note Highlights ON Upload PDF full-texts Help REVIEW CHAT

Figur 6.3: Skjermdump fra Rayyan-plattformen etter gjennomført finsortering og evaluering hver for oss

Den endelige litteratursamlingen består av 17 publikasjoner. Figur 6.4 viser fordelingen av disse publikasjonene.



Figur 6.4: Fordeling av publikasjonene i den endelige litteratursamlingen

### 6.2.7 Sterke og svake sider ved den gjennomførte litteraturstudien

Ifølge [82, s. 81] er den mest markante styrken med systematiske litteraturstudier at leseren i prinsippet skal kunne replisere litteratursøket, og på den måten kunne gjøre seg opp en mening om det som presenteres er til å stole på eller ikke. På bakgrunn av dette er det forsøkt å beskrive de ulike fasene i den gjennomførte litteraturstudien på en oversiktlig og detaljert måte slik at repliserbarheten ivaretas. På så måte vurderes denne åpenheten som en styrke ved den gjennomførte litteraturstudien.

På den andre siden er det også identifisert noen svake sider ved den gjennomførte litteraturstudien. I søken etter litteratur foretas det en rekke subjektive beslutninger, herunder valg av søkemotorer, seleksjonskriterier og inkluderings- og ekskluderingsbeslutninger, som har direkte innvirkning på hvilke publikasjoner som inkluderes i den endelige litteratursamlingen. I tillegg kan kombinasjonen av suboptimale søkeord/-fraser og bruk av få søkemotorer/databaser medføre at viktig litteratur har blitt oversett. De benyttede søkemotorene/databasene i denne litteraturstudien begrenser seg til Scopus og Web of Science, ergo norsk litteratur er ikke inkludert. Gitt spesifikke forhold ved Norge, eksempelvis værforhold og digitaliseringen av norsk byggenæring, ansees ekskluderingen av norsk litteratur i litteraturstudien som en svakhet. Men i realiteten har naturvitenskap og teknologi tilnærmet null publikasjoner på norsk [94], ergo det er rimelig å anta at det primært er norskskrevne hovedfagsoppgaver som er ekskludert.

## 6.3 Intervju

I tillegg til den tidligere nevnte litteraturstudien, er metodene intervju og eksperiment valgt for innsamling av empirisk data. I dette delkapittelet gis en grundig forklaring av gjennomføringen av intervjuene.

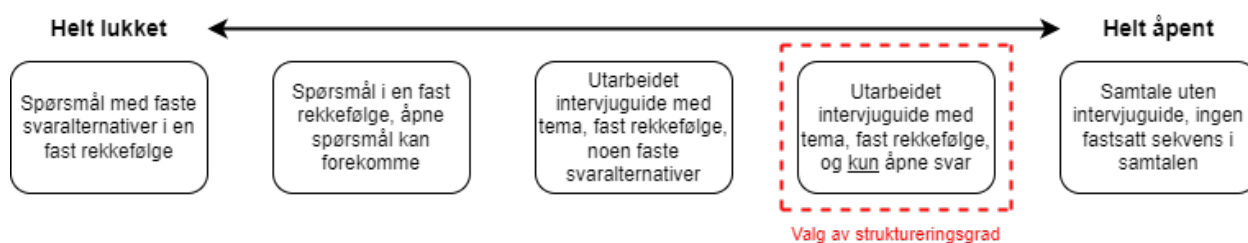
Det finnes flere forskjellige typer kvalitative intervjuer, der graden av åpenhet er det som skiller de fra hverandre. Vanligvis skilles det mellom semistrukturerte intervjuer og ustrukturerte intervjuer. Synonymer for semistrukturert er "halvstrukturert" eller "delvis strukturert", og denne type intervjuer kan best beskrives som en samtale mellom intervjuholder og respondent med utgangspunkt i en forhåndsutarbeidet intervjuguide [95]. Intervjuguiden gir en oversikt over temaer som skal belyses i løpet av intervjuet, og den kan også inneholde åpne spørsmål som samtalen tar utgangspunkt

i. Semistrukturerte intervjuer kan ha ulik grad av åpenhet, der graden av åpenhet fastsettes i intervjuguiden, men hovedessensen er at respondenten skal få tid og anledning til å gå i dybden der de selv ønsker. På så måte er det mulig å få fram den enkelte respondentens holdninger og oppfatninger om temaet som skal belyses [82, s. 163].

Intervjuene i denne oppgaven er foretatt som semistrukturerte intervjuer. Bakgrunnen for valget av denne intervjutypen er todelt;

1. Forskningstemaet er relativt nytt, og det er ikke lenge siden teknologien ble introdusert som et nyttig verktøy i BA-bransjen (se Figur 6.2). Følgelig var det ønskelig å velge en åpen intervjuform som får fram den enkelte respondentens erfaringer og oppfatninger med bruken av 3D-laserskanning i byggeprosjekter.
2. Forfatterens forkunnskaper om temaet var begrenset ved prosjektstart, ergo det ble vurdert dithen at det var en overhengende fare for at viktige momenter ville utebli dersom en mer lukket intervjuform ble valgt.

Figur 6.5 viser hvilken intervjuform som er valgt i denne oppgaven. Den er basert på Figur 8.1 Grader av strukturering av et intervju i boken "Hvordan gjennomføre undersøkelser?" [82, s. 166].



Figur 6.5: Intervjuformer basert på ulik grad av strukturering, oppsett hentet fra Figur 8.1 i [82, s. 166]

Før igangsettelse av intervjuene ble samtykkeerklæring og intervjuguide utarbeidet. Grunnet at personopplysninger ble behandlet i forbindelse med intervjuene og at UiA har avtale med Sikt om personverntjenester i forskning, stilles det krav til at studenter skal melde sine forskningsprosjekter til Sikt [96]. Meldeskjemaet ble vurdert og godkjent i god tid før gjennomføringen av intervjuene, vurderingen i sin helhet er å finne i delkapittel 12.4. Det ble utarbeidet to versjoner av intervjuguiden; én til respondentene og én til internt bruk. Grunnen til dette er at det i utgangspunktet ble utarbeidet en lang liste med spørsmål som alle ble anslått som relevante for oppgavens forskerspørsmål og dets delspørsmål, men for å unngå for høy grad av strukturering ble disse omformulert til totalt 8 åpne spørsmål som utgjør spørsmålene i respondentenes intervjuguide. Følgelig ble de opprinnelige spørsmålene brukt som hjelpemiddel underveis i intervjuene for å blant annet stille oppfølgingsspørsmål og for notatføring. Spørsmål ble utarbeidet underveis i det innledende litteratursøket, og den endelige listen med spørsmål ble definert etter en intern workshop og tilbakemeldingsrunde med intern veileder. Respondentenes intervjuguiden i sin helhet er å finne i delkapittel 12.3.

I tillegg til utarbeidelse av samtykkeerklæring og intervjuguide, ble det også foretatt en rekke beslutninger tilknyttet den praktiske gjennomføringen av intervjuene. [82, s. 168-171] nevner fem viktige spørsmål en bør ta stilling til før gjennomføringen, disse er:

- "Hvor skal intervjuet foretas?"
- "Skal hensikten med intervjuet være skjult eller åpen?"
- "Skal intervjuet tas opp eller ikke?"

- ”Hvor lenge bør intervjuet vare?”
- ”Skal vi gjenta intervjuer?”

Tabell 6.2 viser en oversikt over beslutninger som ble tatt med utgangspunkt i de ovennevnte spørsmålene.

Tabell 6.2: Oversikt over viktige beslutninger som ble tatt før gjennomføringen av intervjuene

Spørsmål	Beslutning
Hvor skal intervjuet foretas?	I utgangspunktet gjennomføres intervjuene som web-baserte intervjuer, i dette tilfellet vil det si over Microsoft Teams. Grunnen til at intervjuene ikke gjennomføres ansikt til ansikt skyldes primært at de aktuelle intervjuobjektene ikke holder til i nærheten av Grimstad, hvilket hadde medført at mye ressurser (herunder tid og penger) hadde gått til reising.
Skal hensikten med intervjuet være skjult eller åpent?	Det er valgt å ikke skjule hensikten med intervjuet da det er vurdert som usannsynlig at respondenten vil gi usanne og/eller upresise opplysninger når intervjuobjektet har kjennskap til hensikten.
Skal intervjuet tas opp eller ikke?	Ja, intervjuene skal tas opp. Hensikten med å ta lydopptak av intervjuene er for å unngå forstyrrelser som følge av notering, samt for å tilrettelegge for at intervjuene kan transkriberes ordrett etter at de er gjennomført. Forespørsel om tillatelse til å ta lydopptak skal fremkomme i samtykkeerklæringen.
Hvor lenge bør intervjuet vare?	Med utgangspunkt i tidsanbefalingene gitt i boken ”Hvordan gjennomføre undersøkelser?” og temaets omfang, er intervjuer med en varighet på én time vurdert som hensiktsmessig.
Skal vi gjenta intervjuer?	Nei, intervjuene skal ikke gjentas. Dette skyldes at oppgaven har en begrenset tidsramme, og at det er vurdert dithen at det er mer interessant å få tak i flere personers erfaringer og oppfatninger enn å gjenta intervjuene med et mindre utvalg.

### 6.3.1 Gjennomføringen av intervjuene

Totalt ble det gjennomført fire semistrukturerte intervjuer med en varighet på mellom 1 og 1,5 time. Samtlige intervjuer ble utført over Microsoft Teams, og i den forbindelse ble det tatt lydopptak i kombinasjon med Microsoft Teams’ innebygde direkte transkripsjonsverktøy. Sistnevnte er en innebygd tjeneste i skrivebordsversjonen av Microsoft Teams, og den transkriberer møtet i sanntid der den inkluderer talerens navn og et tidsstempel [97]. I etterkant av intervjuene ble lydopptaket og den genererte transkripsjonen brukt til å transkribere intervjuene ordrett. De transkriberte intervjuene ble så sendt til de respektive intervjuobjektene for gjennomlesning og godkjenning.

Innledningsvis i intervjuene ble det stilt noen få spørsmål om respondentens fartstid i bygg- og anleggsbransjen og erfaring med bruk av 3D-skanner i byggeprosjekter. Dette var informasjon som var kartlagt på forhånd, ergo formålet med disse spørsmålene var å få en myk start på intervjuene slik at intervjuobjektene var komfortable da vi bevegde oss inn i de mer kritiske delene av intervjuene. Videre fulgte intervjuets hoveddel bestående av i alt 8 åpne spørsmål, og her ble det forsøkt å gi respondentene fritt spillerom til å snakke om det de følte var relevant og av interesse. Oppfølgingsspørsmål og/eller bekreftelser på uttalelser ble stilt underveis slik at intervjuene forløp som samtaler. Avslutningsvis ble respondentene spurt om relevante informasjonskilder som vi bør undersøke nærmere, dette for å fange opp eventuelle oversette momenter og kilder.

### 6.3.2 Utvalg - strategisk utvelging

Strategisk utvelging går ut på å velge et begrenset antall personer eller enheter basert på en faglig vurdering som er særlig relevante for undersøkelsen og dens forskerspørsmål, og denne utvelgelsesprosessen ble vurdert som hensiktsmessig grunnet oppgavens gjeldende tids- og ressursbegrensninger (se underkapittel 4.1.1 og 4.1.2). Det finnes forskjellige utvelgingsmetoder for strategiske utvalg, herunder kvoteutvelging, sluppmessig utvelging, utvelging ved selvseleksjon og snøballutvelging [98]. Utvelging ved selvseleksjon innebærer at relevante personer eller enheter tilsendes informasjon om undersøkelsen og invitasjon til å delta i den. Utvalget består da av personer eller enheter som sier seg villig til å delta i undersøkelsen. En oversikt over relevante personer ble utarbeidet med utgangspunkt i et sett med predefinerte utvalgs-kriterier, disse er å finne i Tabell 6.3. Her er utvalgs-kriteriene oppført i rangert rekkefølge; kriterium A svarer til det viktigste utvalgs-kriteriet og kriterium D til det minst viktigste utvalgs-kriteriet. Her har kriterium A og B, i motsetning til C og D, blitt definert som absolutte krav for intervjudeltakelse. Dette for å sikre at intervjuobjektene har tilstrekkelig med erfaring og kompetanse hva gjelder bruk av 3D-laserskanning i byggeprosjekter. Kriterium C og D ble vurdert som viktige, men ikke absolutte i den forstand at potensielle intervjuobjekter ikke ble direkte ekskludert dersom de ikke oppfylte disse to kriteriene.

Tabell 6.3: Oversikt over gjeldende utvalgs-kriterier for å kartlegge relevante intervjuobjekter

Kriterium	Beskrivelse
A (krav)	Jobber/har jobbet i en virksomhet som innehar rollen som byggherre, entreprenør og/eller rådgiver i byggeprosjekter.
B (krav)	Er/har vært involvert i et byggeprosjekt der 3D-laserskanning blir/har blitt benyttet.
C (ikke krav)	Benytter/har benyttet 3D-laserskanning selv, herunder gjennomfører/har gjennomført 3D-laserskanninger på byggeplass og jobber/har jobbet i tilhørende programvare for å bearbeide innsamlet data.
D (ikke krav)	Har jobbet i byggebransjen før og etter 3D-skanningsteknologien først ble introdusert, slik at potensielle muligheter og begrensninger kan kartlegges.

På bakgrunn av de ovennevnte utvalgs-kriteriene ble totalt 6 personer kontaktet om deltakelse i undersøkelsen, og av disse takket 4 personer ja til å delta. De utvalgte intervjuobjektene stammer fra bedrifter med tilknytning til byggeprosjekter på byggherresiden og entreprenørsiden. Tabell 6.4 viser en oversikt over intervjuobjektene erfaring og nåværende funksjon.

### 6.3.3 Analysering av innsamlet data

Etter at intervjuene var gjennomført ble samtlige transkribert ordrett. I transkripsjonsprosessen ble både lydopptakene og de genererte tekstfilene fra Microsoft Teams' innebygde direkte transkripsjonsverktøy benyttet, da de genererte tekstfilene var noe uoversiktlige og på langt nær presise nok. Det ble besluttet at transkripsjonsprosessen skulle skje omgående grunnet at det var ønskelig å gjøre det når intervjuet var ferskt i minne. Da samtlige intervjuer var transkribert, ble de sendt til de respektive intervjuobjektene for gjennomlesing og godkjenning. Ingen intervjuobjekter hadde innvendinger på de transkriberte intervjuene.

Videre begynte arbeidet med å analysere den innsamlede dataen. Til å begynne med ble de transkriberte intervjuene gjennomgått nøye i fellesskap, og oppgaverrelevante utsagn ble markert og kategorisert. Eksempler på kategorier som ble brukt er "Begrensninger", "Dokumentasjon" og "Positive ringvirkninger". I forbindelse med markerings- og kategoriseringsprosessen, ble det også skrevet notater som i korte trekk oppsummerte intervjuobjektene utspill slik at det var enklere å identifisere samsvarende og motsigende utsagn. På så måte var det mulig å notatføre samsvarende eller motsigende utspill i de transkriberte intervjuene ved å kryssreferere til de andre intervjuene. Funn i de gjennomførte intervjuene presenteres i delkapittel 7.2.

Tabell 6.4: Oversikt over intervjuobjektene erfaring og nåværende funksjon

Intervjuobjekt	Nåværende funksjon	Erfaring
1	Entreprenør/masterstudent	3 år som sommerstudent og 1 år som deltidsansatt i en erfaren og stor byggentreprenør, jobbet spesifikt med 3D-skanning på et prosjekt sommeren 2022.
2	Entreprenør	Innovasjonsleder i en stor byggentreprenør, har brukt 3D-skanner på byggeprosjekter i litt over 2 år. Totalt 3 år hos entreprenør.
3	Entreprenør	Innovasjonssjef i en stor byggentreprenør, har brukt 3D-skanner på byggeprosjekter i litt over 2 år. Over 7 år hos entreprenør, fungerte som anleggsleder i 4 år før nåværende stilling.
4	Byggherre	Lang fartstid i BA-bransjen; 17 år hos entreprenør (både bygg og anlegg), 20 år som prosjektleder hos en av landets største byggherrer og 10-15 år som prosjektleder for BIM-satsningen hos en av landets største byggherrer.

#### 6.3.4 Sterke og svake sider ved de gjennomførte intervjuene

Det finnes flere styrker og svakheter med semistrukturerte intervjuer. Hva gjelder styrker er flere av disse allerede nevnt; den åpne intervjuformen får fram den enkelte respondentens erfaringer, holdninger og oppfatninger om temaet som skal belyses, og det faktum at det er rom for å stille oppfølgingsspørsmål og følge opp tilleggsinformasjon som fremkommer under intervjuet gjør det mulig å samle inn et rikt informasjonsgrunnlag. Resultatet av dette kan være at viktige momenter, som ellers ville uteblitt ved en mer lukket intervjuform, belyses, som kan ha en berikende og mer innsiktsfull effekt på oppgaven/studien [99, s. 378]. I tillegg kreves det færre respondenter sammenlignet med mer strukturerte intervjuformer og/eller kvantitative datainnsamlingsmetoder, hvilket kan være fordelaktig i oppgaver/studier av denne sorten med en begrenset tidsramme.

På den andre siden nevner både [82, 99] viktigheten av at den semistrukturerte intervjuformen kartlegger enkeltindividers erfaringer, holdninger og oppfatninger om det aktuelle temaet, og følgelig vil denne intervjuformen ha problemer med den eksterne gyldigheten<sup>3</sup>. Videre vil den åpne intervjuformen gi store datamengder, og dette i kombinasjon med den lange intervjuvarigheten medfører at det går mye tid til finskriving av notater og/eller transkribering av intervjuene. Dermed kan det oppstå en situasjon der man sitter med mer informasjon enn man klarer å prosessere, som fort kan føre til at man mister oversikten. I tillegg til dette, nevner [82, s. 189] et par undersøkelseeffekter i tilknytning til individuelle intervju som er verdt å nevne, disse er:

- Intervjuereffekt - refererer til hvordan tilstedeværelsen og oppførselen til den/de som holder intervjuet kan påvirke respondentens opplysninger, og følgelig skape spesielle resultater.
- Konteksteffekt - refererer til hvordan lokasjonen intervjuet gjennomføres på kan påvirke respondentens opplysninger, og følgelig skape spesielle resultater.

Det er forsøkt å omgå den førstnevnte effekten, intervjuereffekten, ved å utarbeide åpne spørsmål som intervjuene har tatt utgangspunkt i. Likevel vil det være tilnærmet umulig å eliminere risikoen

<sup>3</sup>Med ekstern gyldighet (også kalt ytre validitet) menes at resultatene fra en undersøkelse kan overføres/generaliseres til andre områder utover det utvalget som er studert [80]

fullstendig for at respondentene indirekte har blitt påvirket til å gi ønskede svar ved at forfatterne har formulert styrende oppfølgingsspørsmål. Derfor har det i denne oppgaven vært rettet et særlig fokus mot å la respondentene prate fritt rundt de åpne spørsmålene, og stille oppfølgingsspørsmål dersom viktige momenter ikke har blitt belyst.

Et annet viktig moment, for å sikre reliabiliteten, er antallet og utvalget av intervjuobjekter. I denne oppgaven er det gjennomført fire intervjuer med fire respondenter, der tre respondenter stammer fra bedrifter med tilknytning til byggeprosjekter på entreprenørsiden og én på byggherresiden. Men i intervjuenes planleggingsfase ble respondenter med tilknytning til byggeprosjekter på rådgiversiden også ansett som særlig relevant, ergo denne respondentgruppen mangler. Dette er en betydelig svakhet da rådgiverbransjen trolig ville gitt verdifull innsikt hva angår muligheter, begrensninger og potensielle anvendelsesområder ved bruken av 3D-laserskanning i prosjekteringsfasen av bygg.

## 6.4 Eksperiment

I tillegg til den tidligere nevnte litteraturstudien, er metodene intervju og eksperiment valgt for innsamling av empirisk data. I dette delkapittelet gis en grundig forklaring av gjennomføringen av eksperimentet.

### 6.4.1 Planlegging

På bakgrunn av hvilke BIM-modeller vi hadde til rådighet og ”støy” ønsket vi innledningsvis å skanne den gamle parkeringskjelleren lokalisert under i4Helse-bygget ved UiA Campus Grimstad. Grunnen til at det var nettopp en parkeringskjeller vi ønsket å skanne var todelt:

1. Det var ønskelig å produsere en punktsky med så lite støy som mulig (ingen pulter, bord, stoler osv.).
2. Det var ønskelig med en synlig bærekonstruksjon.

Grunnen til at det var viktig for oss å redusere støy i punktskyen var med tanke på tidsforbruk knyttet til å vaske modellen, men kanskje det viktigste for oss var med tanke på størrelsen på filer. Dette på grunn av at vi under intervjuene og det innledende litteratursøket fikk inntrykk av at bearbeiding av punktskyer var en prosess som krever at en har god PC-ytelse, så for at dette ikke skulle bli en flaskehals under eksperimentet så ønsket vi ikke for store filer.

For å oppnå en punktsky med så lite støy som mulig ønsket vi å skanne etter endt arbeidsdag (etter kl. 16:00), da studenter og ansatte ved Sørlandets Teknologipark benytter seg av disse parkeringsfasilitetene. Men grunnet at SITECH skulle bistå oss med gjennomføringen av skanningene, var vi nødt til å skanne i ordinær arbeidstid. Følgelig valgte vi å revurdere hvilken del av parkeringskjelleren vi skulle skanne, da vi av erfaring vet at den initielle delen vanligvis er fullpakket med biler. Selv om det hadde gått fint å skanne den initielle delen av parkeringskjelleren med parkerte biler, ville det vært særlig krevende å fange geometrien bak bilene. Figur 6.6 viser den initielle delen av parkeringskjelleren vi ønsket å skanne. Bildet er tatt i ordinær arbeidstid, og som det fremgår av bildet er denne delen av parkeringskjelleren nokså full av biler.





Figur 6.6: Parkeringskjelleren under i4Helse-bygget på dagtid. Foto: Privat

Dette førte til at vi i stedet valgte å skanne den nye delen av parkeringskjelleren, som primært benyttes av ansatte ved Sørlandets Teknologipark. Dagen før gjennomføringen av skanningene ble det gjennomført en befaring for å kartlegge denne delen av parkeringskjelleren, og det ble funnet at det var betydelig færre parkerte biler i denne delen. Men på den andre siden er denne delen betydelig større og mer utfordrende å skanne blant annet grunnet at søyler opptar deler av parkeringsarealet. Men dette ble sett på som fordelaktig da vi var nødt til å gjennomføre flere skanninger for å fange den nødvendige geometrien, i motsetning til den initielle delen av parkeringskjelleren som er enklere utformet.

Den andre grunnen til at vi valgte nettopp en parkeringskjeller er at den bærende konstruksjonen er synlig, da denne konstruksjonen kun består av søyler, vegger og dekke av betong og asfalt. Dermed vil ikke kledning, fliser og alt annet som måtte være installert på bærende konstruksjon komme i veien for oss under sammenligning av som-planlagt BIM-modell og som-bygget punkttsky.

#### 6.4.2 Etablere nettverk

Etablering av nettverk vil som oftest ikke være nødvendig under byggeprosjekter da dette allerede er etablert før byggestart. Men da det er mange år siden dette bygget var ferdigstilt, var alle kjente fastmerker blitt borte. Derfor var vi nødt til å etablere et nettverk med koordinatfestede referansepunkt, gitt at vi ønsket å georeferere (plassere prosjektet vårt digitalt i henhold til den fysiske verden med X-, Y- og Z-koordinater) innsamlet punktskydata og gjennomføre flere skanninger av samme objekt fra forskjellige posisjoner. Dette på grunn av at programmene som skal automatisk registrere punktskyene til en samlet punkttsky trenger å vite koordinatene til hvert og ett punkt. Hadde vi ikke gjort dette, ville programmet plassert samtlige punktskyer i samme punkt.

Før å gjøre dette etablerte vi fastmerker, som er punkter med kjente koordinater, som alle ble utplassert slik at de var synlig fra samme posisjon i parkeringskjelleren. Tilsammen ble det etablert syv fastmerker; tre utenfor parkeringskjelleren og fire inni parkeringskjelleren. Under følger en detaljert beskrivelse av hvordan nettverket ble etablert:

1. **Planlegging:** Før vi startet innmålingen av fastmerkene, måtte vi i samarbeid med SITECH sin ansatt planlegge hvor fastmerkene skulle plasseres for å sørge for at punktene dekket det planlagte området. I tillegg til dette ble det sørget for at utstyret var riktig kalibrert med rett koordinatsystem (UTM32), og at vi hadde tilstrekkelig strømforsyning og tilgang til nødvendig programvare.
2. **Oppsett av Trimble SX12 Scanning Total Station:** Vi oppsatte så Trimble SX12 Scanning Total Station med totalstasjon-funksjonen slik at den kunne se store deler av inne- og uteområdet. Deretter justerte vi instrumentet for å få en nøyaktig avlesning av fastmerkene.
3. **Utplassering av fastmerker:** Da vi hadde bestemt oss for hvor fastmerkene skulle plasseres, kunne vi begynne å sette de ut. Ute så markerte vi totalt tre punkter på trestubber, for å enkelt få øye på fastmerkene. For å koordinatfeste fastmerkene ble Trimble SPS985 GNSS Smart Antenna benyttet. Da vi ikke hadde tilstrekkelig med prisme måtte en av oss være ute å flytte de underveis i skanningen. Inne ble det utplassert totalt fire fastmerker; tre ble boret inn i veggen og en i asfaltdekke. Figur 6.7 og 6.8 viser henholdsvis et eksempel på et utplassert prisme og Trimble SX12 Scanning Total Station som oppnår kontakt med et prisme.



Figur 6.7: Eksempel på et utplassert prisme.  
Foto: Privat



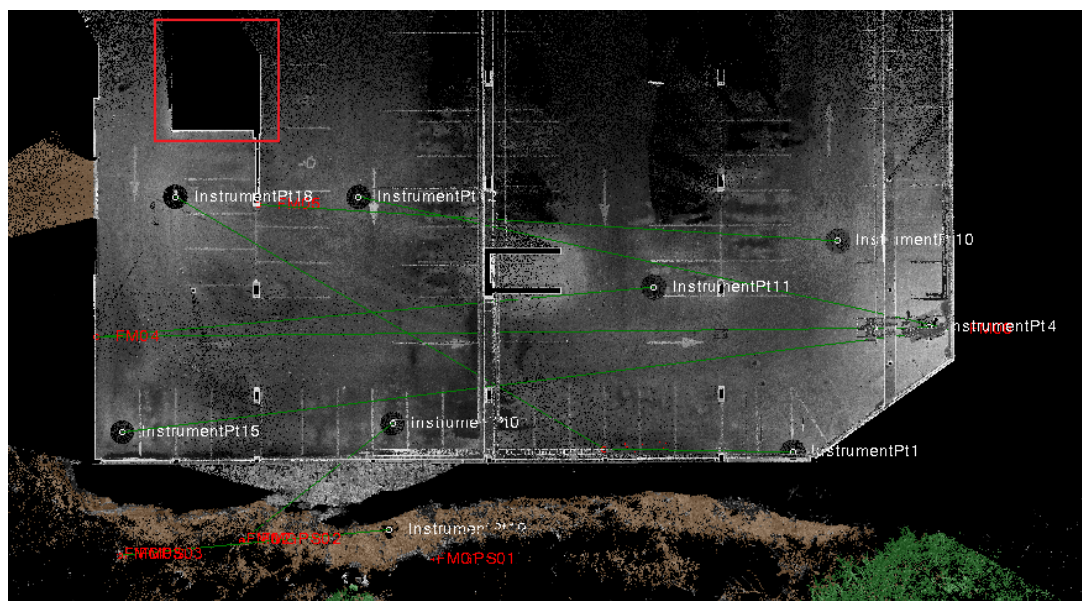
Figur 6.8: Trimble SX12 Scanning Total Station oppnår kontakt med et prisme. Foto: Privat

4. **Utføring av målinger:** Vi brukte så totalstasjon-funksjonen på utstyret til å måle avstanden og vinkelen mellom hvert fastmerke og referansepunktene. All relevant data ble notert digitalt på måleboken.
5. **Kontrollering av nøyaktighet:** Etter at vi hadde målt hvert fastmerke, kontrollerte vi nøyaktigheten ved å gjennomføre en kontrollmåling. Denne prosessen gjentok vi for hvert fastmerke.
6. **Dokumentering av resultatene:** Det vi så sto igjen med etter at vi var ferdig med å måle fastmerkene, var at SX12 Scanning Total Station ved hjelp av fastmerkene kunne plassere seg i det tredimensjonale rommet.

### 6.4.3 Gjennomføring av skanningene

På grunn av utformingen av parkeringskjelleren var vi nødt til å gjennomføre en god del flere skanninger enn først antatt. Dette for å sørge for at vi fikk med oss alle nødvendige overflater tilknyttet hver konstruksjonsdel, og følgelig unngå å få skyggeområder. Av den grunn gjennomførte vi totalt 9 skanninger, der 8 ble foretatt inni parkeringskjelleren og den siste på utsiden for å få med ytterveggenes overflate. Tidsforbruket knyttet til hver skanning var på rundt 20 minutter, der selve skanningen varte omtrent 15 minutter og resterende tid gikk til flytting og oppsett av 3D-laserskanneren på ny posisjon. Figur 6.9 viser eksperimentets skannerute, der de runde sorte sirkelene med tilhørende hvit skrift markerer hver skanneposisisjon. I tillegg sees et eksempel på et tidligere nevnt skyggeområde (markert i rødt). Under beskrives gjennomføringen av skanningene i korte trekk:

1. **Planlegging:** I planleggingen av gjennomføringen av skanningen var det primært to ting som måtte hensyntas; hvor vi måtte plassere 3D-laserskanneren for å dekke hele fokusområdet og at det er fri sikt til fastmerkene inni parkeringskjelleren slik at punktskyene kunne georefereres. I dette eksperimentet ble denne planleggingsprosessen gjort på stedet.
2. **3D-laserskanne:** Selve 3D-laserskanningen var veldig rett frem. Her stilte vi opp Trimble SX12 Scanning Total Station og sørget for at vi hadde fri sikt til de ovennevnte fastmerkene. Deretter var det bare å starte skanningen, og dette gjentok vi 9 ganger.
3. **Overføre innsamlet rådata:** Avslutningsvis ble innsamlet rådata overført fra måleboken. I dette eksperimentet ble dette gjort av SITECH, som senere delte filene med oss.



Figur 6.9: Skanneruten med fremhevet skyggeområde - Skjermdump fra Trimble Business Center

### 6.4.4 Bearbeiding av punktsky

Etter fullført 3D-laserskanning begynte bearbeidelsesprosessen av innsamlet punktskydata i programvaren Trimble Business Center (TBC). I TBC importerte vi de genererte rådata-filene og tilhørende koordinatfil, og programvaren ble brukt til å kombinere de ulike filene fra de 9 gjennomførte skanningene og vaske den endelige punktskyen.

For å importere innsamlet rådata var det nødvendig å inkludere følgende filtyper: Samtlige .rwcx-filer (disse inneholdt punktskydata fra hver individuelle skanning), \*.spj-fil (koordinatfil) og \*.JPG-filer (bilder tatt av 3D-laserskanneren i starten av hver skanning). Etter å ha importert alle disse filene til programmet, ble de kombinert av TBC til en helhetlig punktsky-modell.

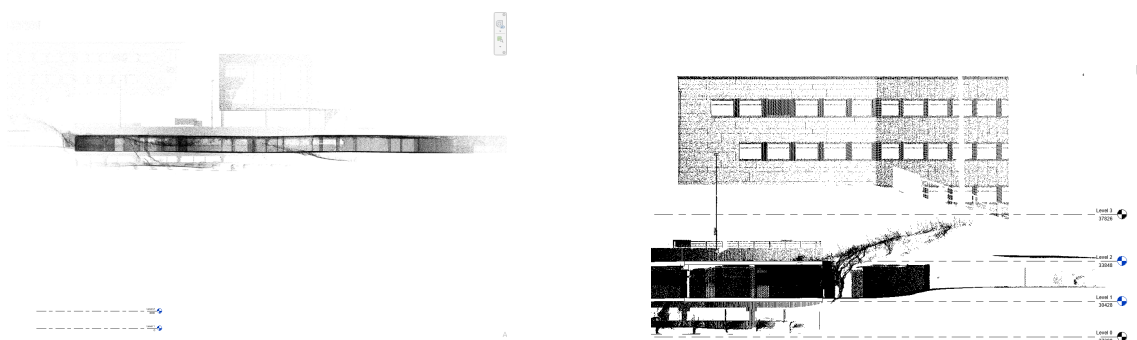
Etter registreringen av punkttskyen, begynte prosessen med å bearbeide den. Som vi senere vil presentere i Resultat 7.3, inneholdt punkttskyen mye informasjon som lå utenfor eksperimentets fokusområde (se Figur 7.26). Derfor var det nødvendig å utføre en rensing og opprydding i punkttskyen for å oppnå en kategorisert punkttsky. Dette ble gjort på følgende måte:

1. **Automatisk klassifisering:** Til å begynne med ble det benyttet en funksjon i TBC som automatisk klassifiserer punkttskyen. Dette innebærer at programvaren selv skiller mellom ulike objekter i en punkttsky, og i vårt tilfelle ble følgende klasser opprettet: "Bygning", "Høy vegetasjon", "Terreng" og "Standard", der sistnevnte klasse er ukategorisert. I denne sammenheng erfarte vi at den automatiske klassifiseringen er noe upresis, da den blant annet slet med å klassifisere der bygget og terrenget møter hverandre. Resultatet av dette var at programvaren klassifiserte store deler av veggen mot terrenget feil. I tillegg slet den også med å skille mellom berg/fjell og asfalt, da store deler av asfaltdekke ble klassifisert som terreng. Men i det store og det hele evnet programvaren å klassifisere omtrent 75 % av punkttskyen riktig, som var nok til at vi kunne begynne å skru av og på såkalte "punkttskyregioner". Dette gjorde det lettere å jobbe med punkttskyen da det var mulig å (de)aktivere enkelte klasser.
2. **Manuell klassifisering:** For å bygge videre på den automatiske klassifiseringen, ble det gjennomført en manuell klassifisering for å rette opp i feil i den automatiske klassifiseringen. Ved å gå gjennom de ulike punkttskyregionene som ble opprettet i den automatiske klassifiseringen, var det mulig å flytte deler av en klasse som var feil-kategorisert til den riktige klassen. Dette ble gjort ved å markere de objektene/delene i den gitte punkttskyregionen som var feil-kategorisert, for så å flytte de til riktig klasse.
3. **Vasking/Rydding:** Dette er en videreføring av den manuelle klassifiseringen beskrevet over. Her gikk vi inn i hver punkttskyregion og flyttet alt som var støy til en egen klasse. Dette er en mer omfattende prosess, ettersom vi måtte skjule deler av punkttskyen uten å deaktivere punkttskyregioner. Dette gjorde vi ved å opprette grensebokser som kan justeres i X-, Y- og Z-retning, slik at det var mulig å vise eller utelate deler av punkttskyen. På denne måten forsikret vi oss om at vi ikke flyttet punkter som var av interesse til støy-klassen. Da dette var gjort, var det enkelt å deaktivere identifisert støy i punkttskyen.
4. **Fileksport:** Avslutningsvis eksporterte vi de punkttskyregionene som var av interesse for videre arbeid. Det ble eksportert til følgende filformat: \*.rcp (for Revit og Undet) og \*.e57 (for Imerso).

#### 6.4.5 Reversert modellering (Scan-to-BIM)

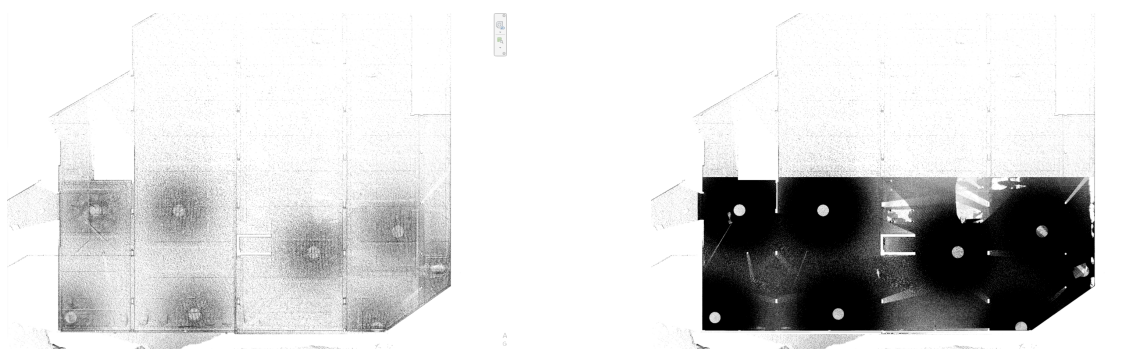
Reversert modellering ble gjennomført i Revit ved hjelp av programvareutvidelsen Undet. Prosessen med reversert modellering innebar arbeid i Revit med programvareutvidelsen Undet Revit og programvaren Undet Indexer. Under gis en kort beskrivelse av stegene i prosessen:

1. **Undet Indexer:** Undet Indexer var et nødvendig tilleggsprogram for Undet Revit. I Undet Indexer startet vi med å opprette et Undet-prosjekt for "Monuments, building and interiors modelling projects", da beskrivelse på denne prosjekttypen samsvarte best med vårt eksperiment. I Undet Indexer lastet vi inn \*.rcp-filene vi eksporterte fra TBC, og opprettet en \*.ipcp-fil. Dette er filtypen til Undet Revit, og den eneste filtypen denne programvaren godtar.
2. **Klargjøring av Revit:** Neste steg var å klargjøre Revit for modellering. Her startet vi med å laste inn Undet-prosjektet i Revit via Undet sin fane på panelet i Revit. Det er utelukkende denne fanen vi jobbet i under dette steget, så alt av rotering og flytting av punkttskyen måtte gjennomføres her. Dette er viktig for å bevare posisjonen til prosjektet.
3. **Plassering av bygget:** Videre måtte bygget plasseres i forhold til aksene i Revit. Dette ble gjort ved å opprette forhåndsvisninger av bygget i planvisning og himmelretningene, for deretter å sammenstille akselinjene med bygget. Dette er forsøkt illustrert i Figur 6.10.



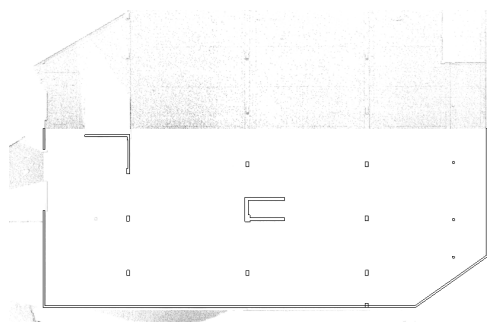
Figur 6.10: Skjermdump fra Undet/Revit - (a) er punktskyen ved innlasting og (b) er etter at bygget er plassert

4. **Opprettelse av "raster" og relevante snitt:** For å enklere kunne tyde hva de mange punktene i punktskyen refererte til, måtte vi opprette en rastervisning. Ved å opprette rastervisning med Undet så produserte vi pikselerte 2D bilder som kunne fremheve blant annet søyler og vegger. Dette var mulig på grunn av at densiteten på punktskyen var høy rundt disse stedene. Det som var viktig med rastervisningene var at de var transparente, på så måte ble det vi modellerte synlig over visningene og ikke skjult under. I tillegg til rastervisningene, opprettet vi snitt i ytterveggen for å se utsparingene i vinduene og for å se helningene på taket og asfaltdekke. Figur 6.11 viser forhåndsvisningen med (b) og uten (a) rastervisning.

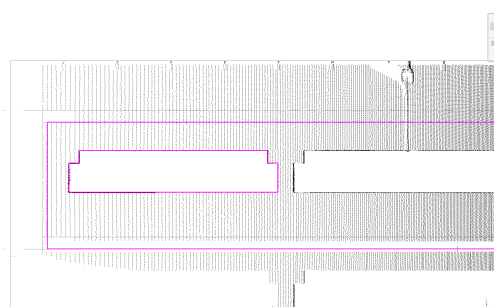


Figur 6.11: Skjermdump fra Undet/Revit - (a) er punktskyen ved innlasting uten rastervisning og (b) er punktskyen med rastervisning som mørklegger områder med høy tetthet av punkter

5. **Modellering:** Da steg én til fire var gjennomført, lå alt til rette for å begynne å modellere. Da var det bare å tegne etter konturene av punktene og justere opprettede snitt der hvor det var vrient å se hva som var hva. Figur 6.12 og 6.13 viser henholdsvis plassering av søyler og vegger etter rastervisningen og modellering av vindusåpning etter punktsky.



Figur 6.12: Plassering av søyler og vegger etter rastervisningen



Figur 6.13: Modellering av vindusåpning etter punktsky

6. **Analysering og verifisering:** Avslutningsvis ble den ferdigstilte som-bygget BIM-modellen sammenlignet med den opprinnelige punktskyen for å evaluere modellens nøyaktighet. Grunnen til dette er at modellens nøyaktighet er direkte avhengig av modellørens evner, ergo dette steget var ment for å bekrefte kvaliteten på den som-bygget BIM-modellen. Ved å benytte analyse-funksjonen i programvareutvidelsen Undet Revit, ble det produsert et varmekart som viser avvik mellom punktsky og som-bygget BIM-modell.

#### 6.4.6 Punktsky mot som-planlagt BIM-modell (Scan-vs-BIM)

Med den web-baserte plattformen Imerso ble det gjennomført en sammenligning av punktsky mot som-planlagt BIM-modell ("Scan-vs-BIM" på engelsk). Stegene tilknyttet dette kunne vi først påbegynne etter at arbeidet i Trimble Business Center var ferdig, da det var behov for filtypen \*.e57.

Ettersom vi fikk tilgang til denne løsningen via en eksisterende kunde hos Imerso, ble selve prosjekt-opprettelsen gjort av ansatte hos Imerso. Under beskrives gangen i den gjennomførte sammenligningen av punktsky mot som-planlagt BIM-modell:

1. **Opprettelse av prosjekt:** Dette steget ble gjort av ansatte hos Imerso.
2. **"Legg til bygning":** Innledningsvis var vi nødt til å opprette en bygning i det gjeldende prosjektet. Her er det også mulig å legge til flere bygninger dersom en har et prosjekt med flere separate bygninger, men dette var ikke nødvendig i det gjennomførte eksperimentet. For å opprette bygningen startet vi med å importere ARK- eller RIB-filen, slik at plattformen kan generere etasjeplanene til bygget basert på informasjonen som IFC-filene inneholder. Da dette var gjort, kunne vi importere de resterende IFC-filene (RIV, RIBp (Bygg - prefab), RIE osv.).
3. **Import av punktsky:** Da samtlige relevante IFC-filer var importert, kunne vi gå videre til å importere punktskyen. Import av punktsky gjøres på en egen side i Imerso, og her er det kun to ting som må hensyntas: Om det er benyttet stasjonær 3D-laserskanning (TLS) eller andre varianter (MLS/ALS) og en bekreftelse av det benyttede koordinatsystemet. Sistnevnte skyldes at den som-planlagt BIM-modellen og punktskyen var i ulike koordinatsystemer.
4. **Sammenstilling med BIM:** Et av de mest kritiske stegene var å sammenstille punktskyen med BIM-modellen, dette er viktig for å senere kunne bruke analyse-verktøyene i Imerso. Dette er i utgangspunktet ikke et vanskelig steg, da Imerso gjør nesten alt automatisk såfremt punktskyen og BIM-modellen er i samme koordinatsystem. Men dette var ikke tilfellet i dette eksperimentet, slik at vi måtte gjøre store deler av denne prosessen manuelt. Modellene vi valgte å bruke for å sammenstille punktsky med som-planlagt BIM-modell var ARK-, RIBprefab- og RIB-modell.
5. **Analyse:** Da punktskyen og BIM-modellen var sammenstilt var det klart for å utføre analyser og kontroller. Imerso har tre ulike analyseverktøy: Skann-avvik, BIM-avvik og BIM-kollisjoner. Under gis en kort beskrivelse av hvordan disse ble brukt:
  - (a) **Skann-avvik:** Dette analyseverktøyet genererer et varmekart som viser avvik i punktskyen sammenlignet med som-planlagt BIM-modell. Dette ble brukt til å identifisere avvik i som-planlagt BIM-modell. Her ansees BIM-modellen som den "korrekte", slik at avvik i punktskyen tydeliggjøres.
  - (b) **BIM-avvik:** Dette analyseverktøyet har likheter med "Skann-avvik", men fungerer litt anderledes. I stede for å sammenligne punktskyen med BIM-modellen så gjør den det motsatte, ergo her ansees punktskyen som den "korrekte", slik at avvik i BIM-modellen fremkommer. På så måte er det enkelt å identifisere avvik i som-planlagt BIM-modell, og det er dermed mulig å gjøre endringer i den som-planlagt BIM-modellen slik at den samsvarer med det som faktisk er bygget.

- (c) **BIM-kollisjoner:** Som navnet tilsier, er dette en funksjon som gjør det mulig å kjøre kollisjonstester for å detektere fremtidige konflikter mellom ulike fagfelt før de inntreffer.

## 7 | Resultat

I dette kapittelet presenteres oppgavens hovedfunn. Det er valgt å presentere resultatene fra de respektive datainnsamlingsmetodene hver for seg i den hensikt å tydeliggjøre hvor resultatene stammer fra. Det er kun resultater som er relevante for å svare på oppgavens forskerspørsmål og dets delspørsmål som er inkludert.

### 7.1 Hovedfunn fra litteraturstudie

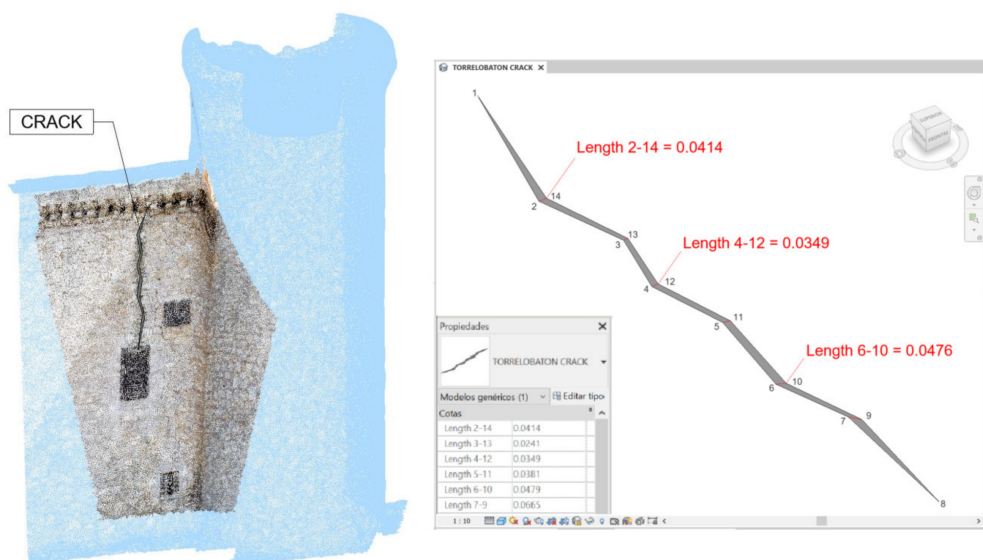
#### 7.1.1 Bruksområder

##### Reversert modellering (scan-to-BIM)

[100, 101] bruker scan-to-BIM metodikk for å lage som-er digitale modeller av verneverdige bygninger. Begge studiene kombinerer 3D-laserskanning med fotogrammetri for å samle inn punktskydata, herunder bakkebasert stasjonær 3D-laserskanner og luftbasert dronekamera.

[100] produserte en BIM-modell med høy nøyaktighet og presisjon. Studien indikerer at scan-to-BIM tilnærmingen er veldig effektiv til å 3D-modellere historiske bygninger, da den er tidseffektiv i felt (innsamling av punktskydata) og på kontoret (modellering) [100, s. 58].

I tillegg til å lage en digital modell av Torrelobatón slott med en gjennomsnittlig nøyaktighet på 1,65 cm, kombinerer [101] punktskydata (3D-laserskanning og fotogrammetri) med termiske og multispektrale data (2D bilder). Dette muliggjør analyse av en sprekk i slottets nordøstlige vegg. Figur 7.1 viser modellering av den monitorerte sprekk.



Figur 7.1: Modellering av sprekk i slottets nordøstlige vegg [101, s. 7]

#### Kvalitetskontroll

[102, 103] presenterer systematiske og praktiske tilnæringer for å forbedre kvalitetskontrollen av prefabrikkerte bygningselementer ved å kombinere BIM og 3D-laserskanning:

- [102] introduserer et rammeverk som integrerer BIM med 3D-laserskanningsteknologi for å muliggjøre hurtig analyse av monteringskvaliteten til komponenter for en flyttbar flomvegg. For å validere gjennomførbarheten og nøyaktigheten av den presenterte metoden, implementerer studien den i et flyttbart flomveggprosjekt i Kina. For å evaluere det foreslåtte



rammeverket mot konvensjonelle metoder for kvalitetskontroll, ble det gjennomført en detaljert sammenligning med utgangspunkt i følgende parametere: Nødvendig antall arbeidere, måletid og nøyaktighetsnivå. Tabell 7.1 viser resultatene fra sammenligningen av de to metodene.

2. [103] presenterer en metodikk som integrerer BIM med 3D-laserskanningsteknologi for kvalitetskontroll av prefabrikkerte påhengsvegger og installasjonen/monteringen av disse på byggeplass. For å demonstrere metodikkens gjennomførbarhet og effektivitet, ble den anvendt i et byggeprosjekt i Kina der påhengsvegger ble installert/montert. I likhet med den ovennevnte studien, ble den presenterte metodikken sammenlignet med konvensjonell manuell metode. Tabell 7.2 viser en konseptuell sammenligning med den konvensjonelle metoden.

Tabell 7.1: Sammenligning av konvensjonell kvalitetskontroll og kvalitetskontroll vha. 3D-laserskanning og BIM [102, s. 18]

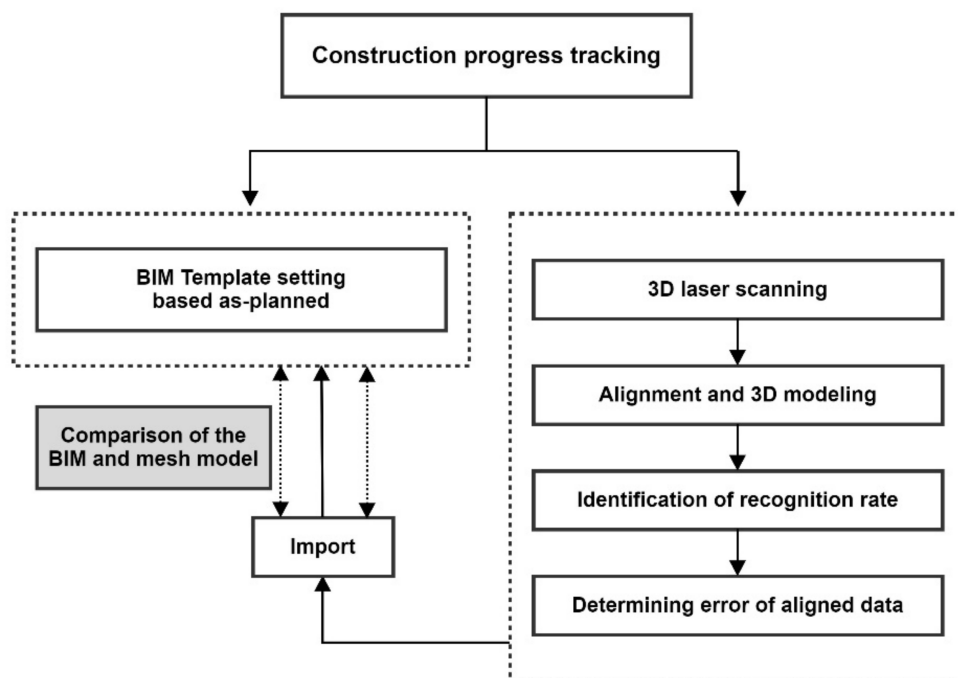
		Standard Quality Control	3D Laser Scanning and BIM
Tools needed		Theodolite, flexible rule, gradient	3D Laser Scanner, Computer
Number of workers needed		2	1
Measuring time (average two anchor plates per minute)	Fixed period	10	5
	After pouring the concrete	3	1
Accuracy (average for ten anchor plates)	X distance (mm)	2.98	2.35
	Y distance (mm)	4.87	4.12
	Z distance (mm)	7.39	5.68

Tabell 7.2: Sammenligning av foreslått metodikk (3D-laserskanning og BIM) og konvensjonell manuell metode [103, s. 17]

Comparison Item	3D Laser Scanning Approach	Conventional Manual Approach
Tools	3D Laser Scanner	Tape measure, scale, laser rangefinder, drawings, total station
Measurement method	Completely non-contact, long-distance measurement, not affected by the environmental conditions (illumination, etc.)	Contact, close distance measurement, affected by the environment conditions (illumination, etc.)
Field drawing work	Unnecessary, automatic data collection	Necessary
Measuring efficiency	High efficiency, complete single-station panoramic scan within 1 min	Low efficiency, can only measure point-to-point distance, and labor-intensive
Degree of security	Non-contact measurement to ensure personnel safety	Degree of security
Result form	Point cloud data can be imported into REVIT\Autocad\3DMAX\Navisworks\ArchiCAD and other BIM software; easily obtain a series of evaluation distance, slope distance, vertical distance, clearance, diameter, angle, azimuth, slope, inclination angle, and coordinates Data; BIM model is accurately modified and reviewed according to point cloud data.	Label data on drawings based on measured point-to-point distances
Modeling method	Efficient reverse modeling based on point cloud	Draw CAD drawings based on on-site manuscripts, and then perform 3D modeling based on CAD drawings
Accuracy	All-round acquisition of on-site conditions, which can be accurately reflected through 3D point cloud data. According to the point cloud data, the size data of artificially unmeasurable positions can be obtained, with high accuracy. Millimeter-level accuracy avoids wasting capital and materials due to rework	Only based on the experience of the on-site review personnel measure the data that is considered to be reviewed, might occur interference affected by human factors, the measurement data is partial, subjective, and prone to produce human errors
Skills requirement	The 3D scanner operation, the collection method of the point cloud, and the data processing approach are easy to learn	A measurement team composed of experienced workers is needed
Applicability	Suitable for all difficult curtain wall projects, especially projects with complex structures, high precision requirements, large space, and difficult manual measurement.	Simple structure, small area, and low precision-required structures
Visualization	3D visualization	2D Plane visualization

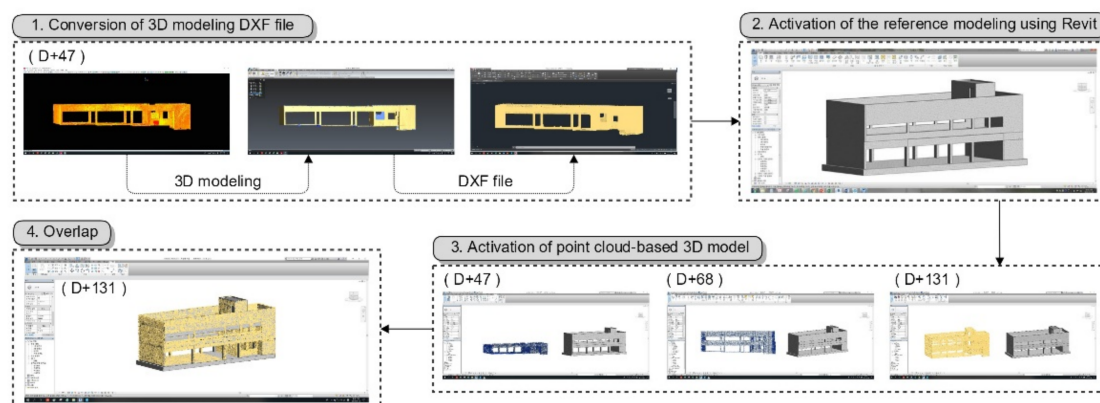
### Fremdriftsovervåking

[104] foreslår en metode for å spore fremdriften i byggeprosjekter ved hjelp av 3D-skanning. Figur 7.2 viser den foreslåtte fremgangsmåten.



Figur 7.2: Foreslått fremgangsmåte for fremdriftsovervåking ved hjelp av 3D-skanning [104, s. 2]

Studien tar blant annet for seg et eksperiment der et toetasjes bygg med tak ble 3D-skannet både med bakkebasert og dronebasert laserskanning. Innsamlet punktskydata ble kontrollert opp mot faktisk avstand målt med et måleverktøy. Kontrollen viste at innsamlet punktskydata ved hjelp av bakkebasert laserskanning var mer nøyaktig sammenlignet med dronebasert laserskanning. Men for å sikre at data om utilgjengelige områder, som for eksempel tak, også ble inkludert, så kombinerer studien bakkebasert og dronebasert laserskanning. Innsamlet punktskydata ble så konfigurert til en 3D-modell ved hjelp av en modelleringsprosess der polygoner genereres fra omrisset av punktskyen ("3D polygon mesh modeling" på engelsk). Deretter ble volumet til den konfigurerte 3D-modellen kontrollert opp mot faktisk mengde betong benyttet, og dette resulterte i en differanse på mindre enn 3 %. Avslutningsvis sammenlignes den konfigurerte 3D-modellen med den som-planlagte BIM-modellen. Figur 7.3 viser den valgte prosessen for å sammenligne modellene.

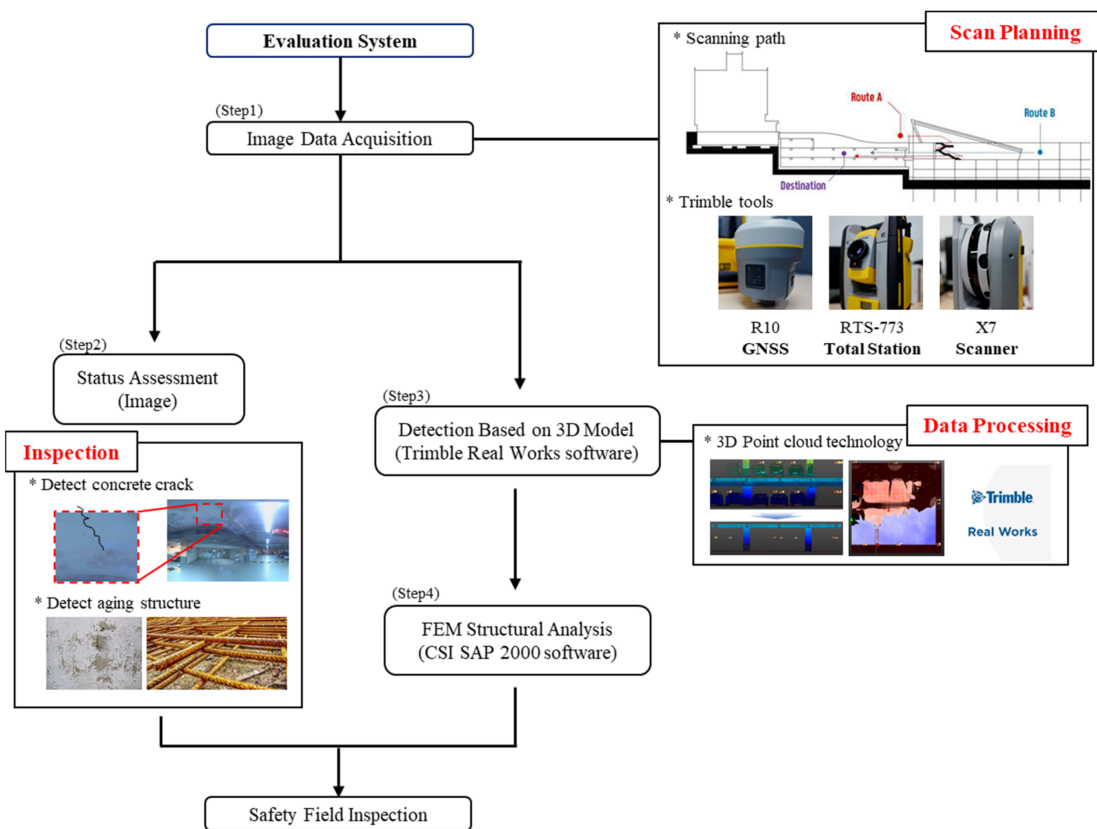


Figur 7.3: Sammenligning av BIM-modell og som-bygget modell basert på punktskydata [104, s. 13]

Studien konkluderer med at sammenligningsprosessen visualiserer den faktiske fremdriften på en god måte, noe som kan gjøre det enklere for prosjektledere å spore fremdriften og identifisere når fremdriften avviker fra planen. Videre muliggjør den foreslåtte datainnsamlingsmetoden at beslutninger kan bli tatt raskt basert på blant annet hurtig informasjonslevering og avviksdeteksjon, hvilket kan redusere tids- og kostnadsoverskridelser i fremtidige byggeprosjekter [104, s. 13].

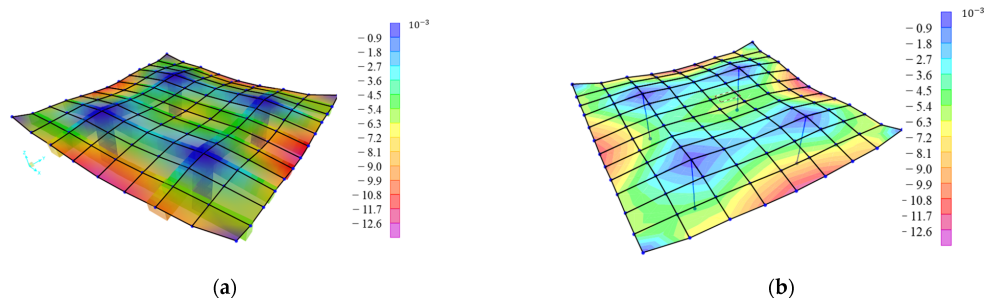
### Strukturell evaluering av eksisterende bygg

[105] foreslår å bruke 3D-laserskanning til å evaluere tilstanden til eksisterende bygg. Studien tar blant annet for seg to underjordiske parkeringsplasser, og bruker 3D-laserskanning til å samle inn punktskydata og bilder. Målet med det foreslåtte evalueringssystemet, herunder bruk av 3D-laserskanning, var å øke nøyaktigheten, redusere tidsbruken og oppnå økonomisk gjennomførbarhet sammenlignet med eksisterende evalueringsmetodikk. Figur 7.4 viser det foreslåtte evalueringssystemet.



Figur 7.4: Foreslått metodikk for strukturell evaluering av eksisterende bygg [105, s. 3]

3D-laserskanning ble her brukt til å detektere avvik som sprekke-dannelser, avskalling og vannlekasjer ved visuell inspeksjon av innsamlede bilder, og punktskydata ble brukt til å måle nedbøyning og deformasjoner og lage som-er digitale modeller av strukturelle komponenter som senere ble analysert ved hjelp av elementmetoden ("FEM Structural Analysis" på engelsk). Dette gjør det mulig å identifisere eventuelle svakheter og/eller potensielle problemer, samt sammenligne bygningskomponentenes faktiske strukturelle egenskaper med bygningskomponentenes planlagte strukturelle egenskaper. Studien konkluderer blant annet med at inspeksjon av aldrende bygninger uten dokumentasjon i form av digitale tegninger og modeller, kan utføres raskere og mer nøyaktig enn konvensjonelle metoder ved reversert modellering ("reverse engineering" på engelsk) ved hjelp av 3D-laserskanning [105, s. 16]. Figur 7.5 viser resultater fra den strukturelle analysen fra "Case 1" basert på eksisterende tegninger og tegninger basert på reversert modellering ved hjelp av 3D-laserskanning.



Figur 7.5: Resultater fra den strukturelle analysen fra ”Case 1” basert på eksisterende tegninger (a) og tegninger basert på reversert modellering ved hjelp av 3D-skanning (b) [105, s. 12]

### 7.1.2 Begrensninger

Tabell 7.3 viser en oversikt over identifiserte begrensninger ved bruk av 3D-skanning i byggeprosjekter.

Tabell 7.3: Oversikt over identifiserte begrensninger ved bruken av 3D-skanning i produksjonen av bygg - litteraturstudie

Begrensning	Beskrivelse	Kilde(r)
Skannevinkel	En 3D-laserskanner beregner avstanden til objekter eller overflater basert på tiden det tar for laserstrålene å reise frem og tilbake. Følgelig kan støy/unøyaktigheter oppstå som et resultat av skannevinkel, ergo valg av skanneposisjoner kan ha direkte påvirkning på kvaliteten på innsmalet punktskydata.	[105, 104, 103]
Under-skanning/over-skanning	Skanneplaner blir ofte utarbeidet basert på erfaring, og noen ganger først når personen(e) som skal utføre skanningene ankommer byggeplass. Dette kan lede til under-skanning (ufullstendig data) eller over-skanning (unødvendig antall skanninger). Sistnevnte kan resultere i et unødvendig stort datasett som må bearbeides, som kan ta tid og betydelige dataressurser. I tillegg kan den unødvendige lange tidsbruken skape aktivitetsforstyrrelser på byggeplass.	[106]
Dataprosessering	Dataprosessering, herunder vasking, registrering og segmentering, ved hjelp av automatiske prosesser der en blant annet bruker algoritmer og dyplæring (”deep learning” på engelsk) er fortsatt i tidligfasen. Følgelig er det behov for videre forskning på området for å øke nøyaktigheten og effektiviteten i denne fasen.	[107]
Kompetanse 3D-laserskanning og BIM	Mange arbeidere og/eller ingeniører på byggeplass har lite kjennskap til 3D-laserskanning og BIM. Følgelig tar det tid å lære arbeidere og/eller ingeniører og håndtere en 3D-laserskanner og prosessere innsamlet punktskydata. Dette kan forbedres ved å hyre inn en laserskanning-spesialist eller sørge for nødvendig opplæring og automatisere dataprosesseringen.	[102, 103]
Økonomisk gjennomførbarhet	De initielle kostandene ved anskaffelse av 3D-skanner og tilhørende utstyr er høyere enn ved konvensjonelle manuelle metoder.	[102, 103]

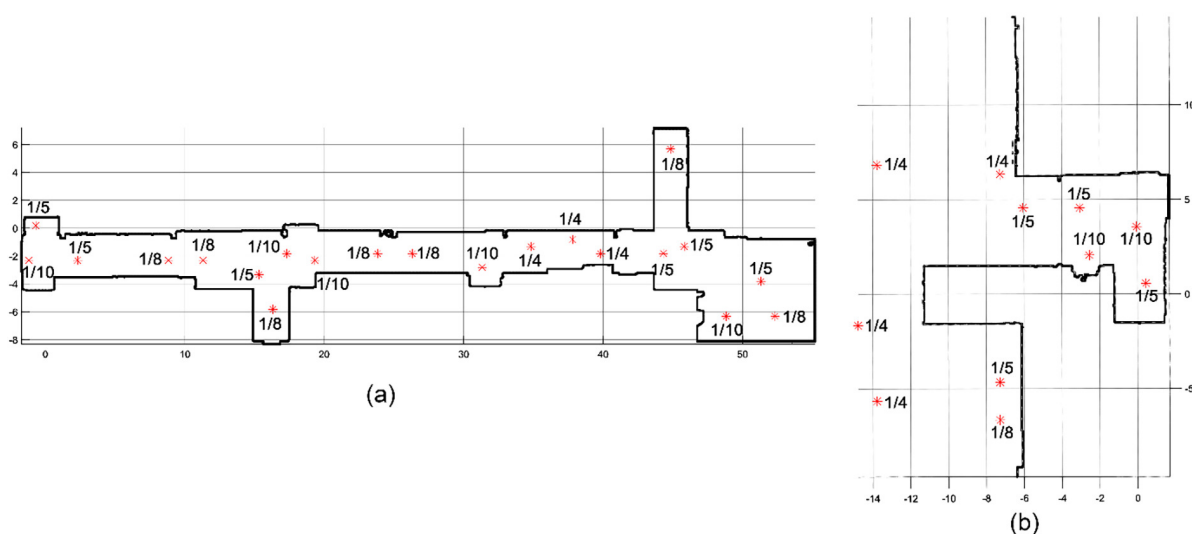
### 7.1.3 P4S

#### Optimalisert skanneplan

For å bestemme optimale skanneposisjoner og parametere som tilfredsstill den nødvendige datakvaliteten, samt minimere tiden det tar å samle inn data, for eksisterende bygninger med manglende eller fraværende 2D eller 3D dokumentasjon, foreslår [108] en skanneplan-metode basert på brukerdefinerte datakvalitetskrav og den genetiske algoritme<sup>1</sup>. Metoden består av tre steg:

1. Forhåndsskanning: I og med at metoden baserer seg på at 2D eller 3D dokumentasjon av det eksisterende bygget er manglende eller fraværende, har forhåndsskanningen som formål å raskt fange en foreløpig punktsky av det som skal skannes. Etter at forhåndsskanningen er gjennomført må punktskydataen bearbejdes, herunder registreres og vaskes. I tillegg benytter metoden automatisk segmentering av bygningsdeler utviklet i [110].
2. Definerings av datakvalitetskrav: Dette steget har som formål å la brukeren selv definere datakvalitetskrav for skanneplanen. Studien fokuserer på to parametere for datakvalitet: (1) Fullstendighet og (2) LOD ("Level Of Detail" på engelsk). Deretter genereres et sett med målpunkter basert på den tidligere nevnte segmenteringen og de brukerdefinerte datakvalitetskravene.
3. Optimalisering av skanneplan: Dette steget har som formål å formulere skanneplanen som en optimaliseringsmodell og finne den optimale skanneplanen. Her defineres et søkeområde (inkludert aktuelle skanneposisjoner), og synlighetsanalyser (hvilke målpunkter kan/kan ikke skannes av en aktuell skanneposisjon) og LOD-beregninger utføres. Avslutningsvis benytter metoden den genetiske algoritme til å finne den optimale løsningen til modellen.

For å teste metoden ble det gjennomført to eksperimenter med ulik kompleksitet. Skanneplanene utviklet av den foreslåtte metoden ble så sammenlignet med manuelle skanneplaner laget av fagkyndige landmålere. Skanneplanene ble sammenlignet basert på fullstendighet, LOD og total arbeidstid. Resultatene viser at den foreslåtte metoden reduserer total arbeidstid med opptil 20 %, samt at det var mer sannsynlig at den manuelle metoden gikk glipp av visse regioner grunnet unøyaktig estimering av potensielle blokkeringer. Sistnevnte medførte at det måtte foretas flere skanninger. Figur 7.6 viser de optimaliserte skanneplanene utarbeidet med den foreslåtte metoden.



Figur 7.6: Optimaliserte skanneplaner utarbeidet med studiens foreslåtte metode: (a) og (b) refererer her til de to gjennomførte eksperimentene [108, s. 12]

<sup>1</sup>Den genetiske algoritme er en søke- og optimaliseringsteknikk inspirert av evolusjonsprinsippene i biologien, og den brukes til å finne optimaliserte løsninger på komplekse problemer [109]

### Automatisk skanneplan

[106] introduserer en tilnærming for automatisk skanneplan som hensyntar LOA ("Level of Accuracy" på engelsk) og LOC ("Level of Surface Completeness" på engelsk). Sistnevnte er en ny foreslått skanneplan-spesifikasjon som evaluerer punktskydata-kvalitet ut ifra hvor mye av overflaten til et objekt som har blitt skannet. Den foreslåtte skanneplan-algoritmen bruker følgende input:

- Som-planlagt 3D BIM-modell.
- 3D-skannerens karakteristikk, herunder synsfelt, vinkeloppløsning og skannerens høyde.
- Skannespesifikasjonene (LOA og LOC) som skal skannes for hvert 3D BIM-modellobjekt.

Tilnærmingen består av følgende fem steg:

1. Gulvet i den som-planlagte BIM-modellen der 3D-skanneren skal plasseres velges semi-automatisk. Deretter genereres et rutenett på gulvets overflate; her betraktes hvert rutenettkryss som en potensiell skanneposisjon.
2. Med utgangspunkt i 3D-skannerens definerte karakteristikk, så beregnes virtuelle skanninger fra alle potensielle skanneposisjoner automatisk.
3. Hvert virtuelt skannede 3D-punkt filtreres i henhold til den definerte LOA-spesifikasjonen.
4. For hvert objekt av interesse, så beregnes dekkede overflateområder fra alle potensielle skanneposisjoner automatisk.
5. En optimalisert skanneplan (så få skanneposisjoner som mulig), som tilfredsstillende den definerte LOC-spesifikasjonen, beregnes automatisk.

For å teste og evaluere tilnærmingen ble det gjennomført tre eksperimenter, der kompleksiteten skiller de fra hverandre. Figur 7.7 viser en oversikt over de respektive som-bygget BIM-modellene, definerte skannespesifikasjoner og 3D-skannerens karakteristikk.

Parameter	Value
<b><i>Scanner Characteristics</i></b>	
Angular Resolution	0.17° x 0.17°
Scanner Height ( <i>h</i> )	2m
Field of View	360° x 152°
<b><i>Scanning Specifications</i></b>	
LOA	±2mm
LOC	50% of the object's overall surface (same for all objects)
<b><i>Other Parameters</i></b>	
Grid density ( $\beta$ )	4m

(a)

(Fortsetter på neste side)

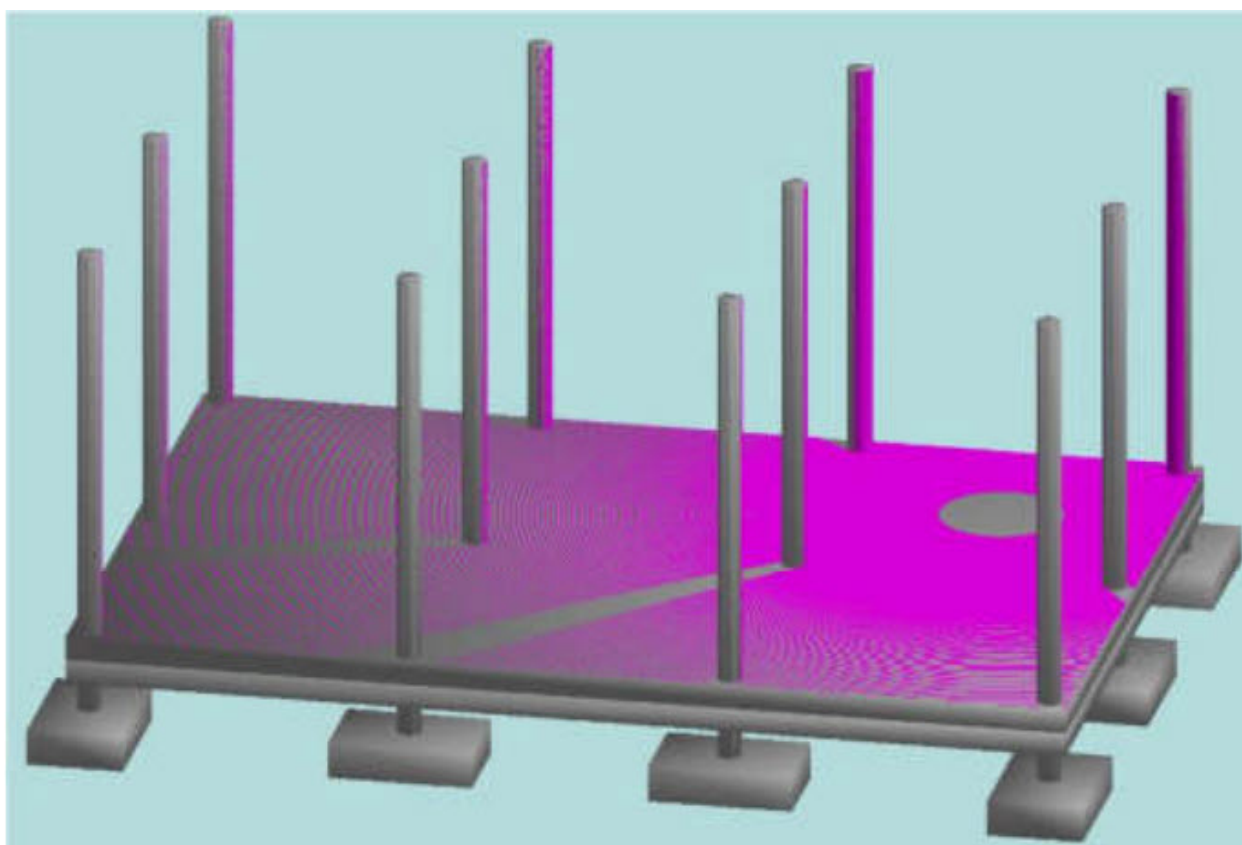
(Fortsettelse fra forrige side)

<b>As-planned 3D BIM Models</b>	<b>Plan size</b>	<b>Number of Objects</b>
Simple Structural Model	12m x 8m	<b>25</b>
Complex Structural Model	66m x 54m	<b>64</b>
Structural+MEP Model	33m x 6m	<b>118</b>

(b)

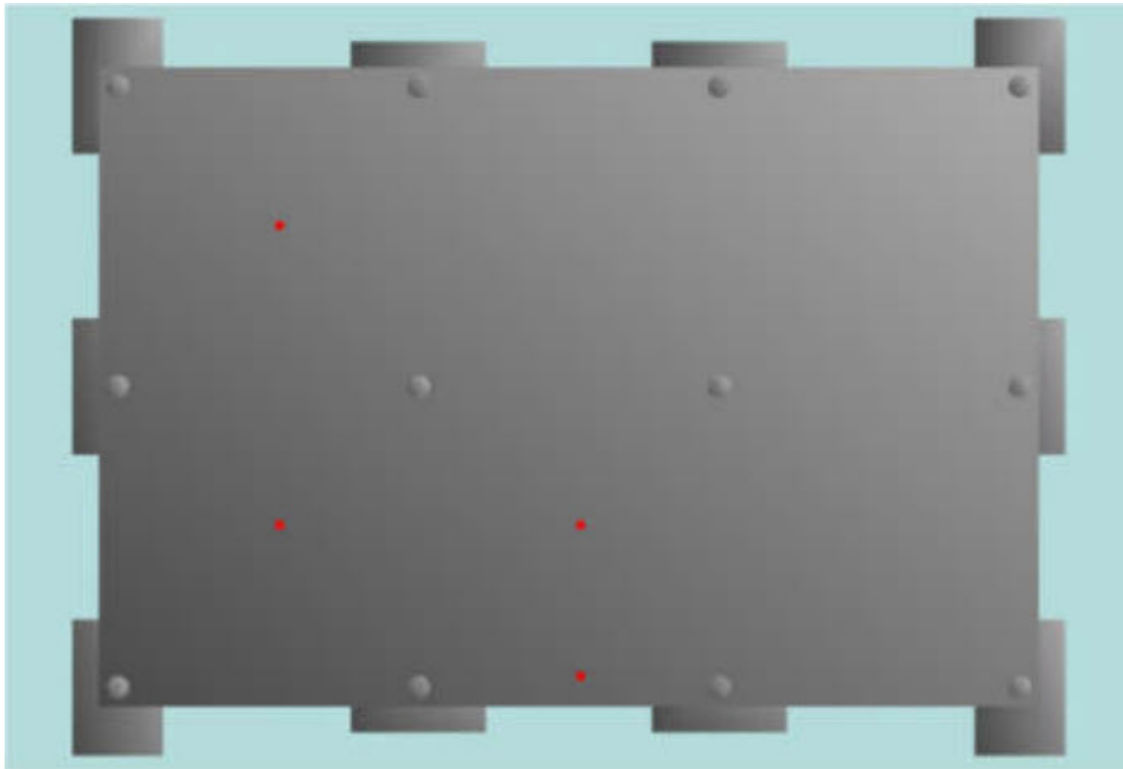
Figur 7.7: Oversikt over definerte skannespesifikasjoner, 3D-skannerens karakteristikk (a) og de respektive som-bygget BIM-modellene (b) [106, s. 6]

”Simple Structural Model” består av ett gulv, tolv søyler og søylefundament. Rutenettets tetthet, definert i Figur 7.7, ga 24 potensielle skanneposisjoner, og virtuelle skanninger ble beregnet for hver enkelt skanneposisjon. Figur 7.8 viser den genererte virtuelle skanningen fra skanneposisjon 24.



Figur 7.8: Virtuell skanning fra skanneposisjon 24 [106, s. 7]

Det avsluttende optimaliseringssteget beregnet minimum antall skanneposisjoner for å oppfylle de definerte skannespesifikasjonene for alle 13 objekter (ett gulv og tolv søyler) til å være fire. Figur 7.9 viser de optimaliserte skanneposisjonene.

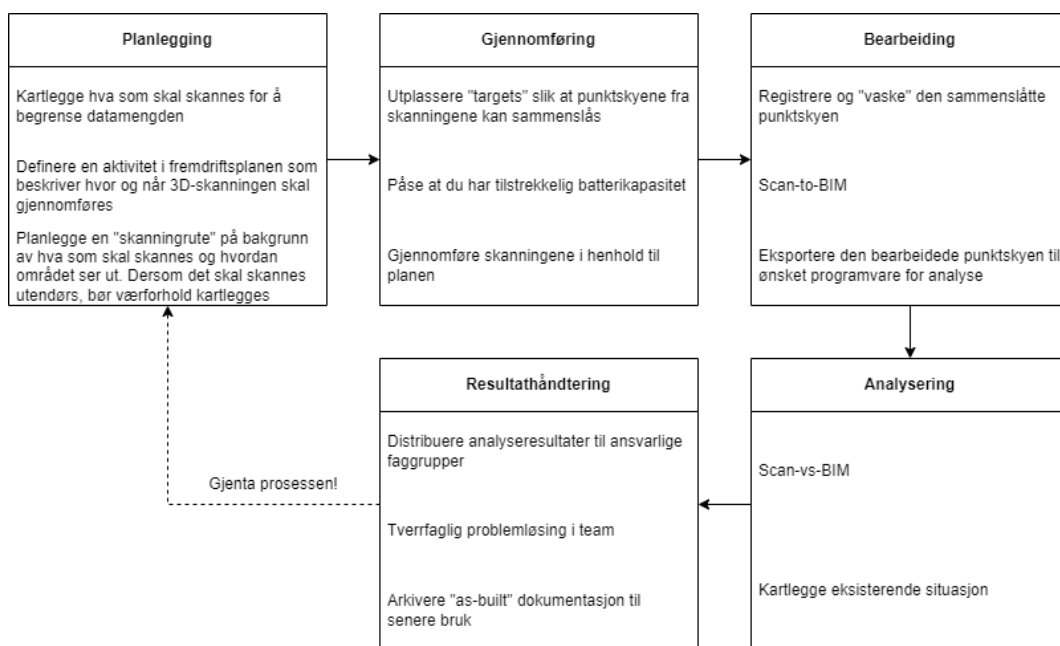


Figur 7.9: Optimaliserte skanneposisjoner (markert med røde prikker) fra det gjennomførte eksperimentet med BIM-modellen "Simple Structural Model" [106, s.7]

## 7.2 Hovedfunn fra intervjuer

### 7.2.1 Prosesskart for 3D-skanning

Figur 7.10 viser en oversikt over de viktigste aktivitetene i forbindelse med 3D-skanning av byggeprosjekter. Prosesskartet er et resultat av intervjuobjektene beskrivelser av hvordan 3D-skanning gjennomføres på byggeprosjekter i dag. Prosesskartet har vi kalt "De fem ing-ene".



Figur 7.10: De fem ing-ene: Prosesskart 3D-skanning basert på intervjuobjektene utsagn



## Planlegging

Gjennomføring av 3D-skanning innledes med en planleggingsprosess der formålet er å kartlegge hva som skal skannes, når det skal skannes og hvordan det skal skannes. Intervjuobjektene opplyser at dette er viktig av flere grunner:

- Det er lett å skanne mye, men utfordringen ligger i det å vite hva 3D-skanneren kan prestere og hvordan den bør brukes både for å få best mulig resultat, men også for å unngå innsamling av unødvendig mye data. På så måte er det en suksessfaktor å konkretisere hva målsettingen med 3D-skanningen er, og med utgangspunkt i dette definere hva en må skanne for å oppnå målet.
- Området som skal skannes bør være uten forstyrrelser<sup>2</sup>. Følgelig bør 3D-skanningen gjennomføres på et tidspunkt der det er lite/ingen aktiviteter på byggeplass, dersom dette ikke lar seg gjøre bør en koordinere med mannskapet på gulvet når og hvor det skal 3D-skannes slik at aktivitetskonflikter unngås. Intervjuobjekt 4 beskriver at de før gulvstøp setter inn 3D-skanning som en aksjon/aktivitet i fremdriftsplanen, og at det skal 3D-skannes når armeringen er ferdig og minimum to dager før støp slik at det er mulig å gjøre endringer basert på 3D-skanningen før betongen ankommer byggeplass. I tillegg bør området som skal skannes ryddes for lagret materialer og verktøy for å redusere støy i punktskyen.
- For å sikre at geometrien til objekter og konstruksjonsdeler blir av høy kvalitet i punktskyen, bør en skanningrute<sup>3</sup> planlegges. Ifølge intervjuobjektene avhenger detaljgraden av denne planlegging av brukerens erfaring med 3D-skanningsutstyr: Intervjuobjekt 1 og 4 beskriver at en etterhvert skjønner hvor en bør plassere skanneren for å få best mulig resultat, ergo dette er noe man kan gjøre på stedet dersom en har tilstrekkelig erfaring. I tilfeller der brukeren har mindre erfaring, bør detaljgraden øke slik at skanning-kvaliteten ivaretas. Et annet viktig moment i denne sammenheng, som ifølge intervjuobjektene bør inngå i planleggingsfasen, er værforholdenes påvirkning på skanning-kvaliteten. Dersom 3D-skanningen skal foregå utendørs, bør værforholdene på den aktuelle skanning-dagen kartlegges da regn og snø har negativ påvirkning på skanning-kvaliteten (mer om dette i delkapittel 7.2.8).

## Gjennomføring

Når en plan foreligger, er neste fase selve gjennomføringen av 3D-skanningen. Før 3D-skanningsutstyr medbringes ut på byggeplass er det viktig å påse at en har tilstrekkelig batterikapasitet så skanningen ikke blir brutt underveis. Intervjuobjektene beskriver at skanningenes varighet varierer, og at det derfor er viktig å vurdere nødvendig batterikapasitet ut ifra blant annet omfanget av skanningen og ønsket punktstetthet. Før skanningene påbegynnes er det vanlig å utplassere såkalte "targets", dette er gjerne koordinatsatte svart/hvitt firkanter som 3D-skanneren gjenkjenner slik at punktskyene kan koordinatsettes. Deretter gjennomføres skanningene i henhold til den utarbeidede planen. Figur 7.11 viser et eksempel på et utplassert referansepunkt, i dette tilfellet et prisme.

---

<sup>2</sup>Her refererer "forstyrrelser" til lagret materialer og verktøy, samt mannskapsrelaterte aktivitetsforstyrrelser

<sup>3</sup>En skanningrute kan best beskrives som en plan som viser nødvendige skanningposisjoner for å dekke området som skal 3D-skannes



Figur 7.11: Trimble SX12 gjenkjenner og fokuserer på et prisme-referansepunkt. Foto: Privat

### Bearbeiding

Etter endt 3D-skanning, må innsamlet rådata bearbeides. Ifølge intervjuobjektene består denne fasen vanligvis av å registrere og vaske punktskyene. Førstnevnte bearbeidingsprosess innebærer å registrere innsamlet punktskydata slik at en får én samlet punktsky, dette er mulig dersom det er benyttet koordinatfestede referansepunkt som tidligere nevnt. Vasking av punktskyene er en støyreduksjonsprosess som innebærer å fjerne støy og forstyrrelser fra punktskyen.

### Analysering

Når punktskymodellen er bearbeidet, er den klargjort for videre analyse. Valg av analyse og analyseverktøy avhenger av formålet med 3D-skanningen; intervjuobjektene beskriver at det finnes en rekke leverandører av programvarer, både lisensiert og gratis, som kan benyttes til å analysere punktskymodellen. Tabell 7.4 viser en oversikt over programvare som intervjuobjektene benytter eller har benyttet/testet.

Tabell 7.4: Oversikt over programvare som intervjuobjektene benytter/har benyttet

Programvare	Programvarelisens	Bruk
Imerso	Abonnement	Brukes til å monitorere som-bygget mot som-planlagt, har blant annet en varmekart-funksjon som visualiserer hvor mye BIM-modellen matcher punktskyen.

Fortsetter på neste side

Tabell 7.4 – fortsettelse fra forrige side

Programvare	Programvarelisens	Bruk
Dalux	Abonnement	En digital plattform som blant annet brukes til å dokumentere og distribuere avvik.
Revit	Lisens	Brukes blant annet til å tegne som-bygget modeller med punktskyer som underlag; laster punktskyer opp i Revit slik at en kan tegne modeller etter konturene i punktskyene.
Vectorworks	Lisens	Samme som Revit.
Archicad	Lisens	Samme som Revit og Vectorworks.
Leica Cyclone	Lisens	Brukes til å bearbeide punktskyer, herunder registrere og vaske punktskyer.
Cintoo	Abonnement	Et alternativ til Imerso.
Scaled Robotics	Abonnement	Den skybaserte plattformen til Scaled Robotics brukes til avviksdeteksjon og fremdriftsovervåking, et alternativ til Imerso.
Autodesk ReCap	Lisens	Brukes til å lage som-bygget modeller med punktskyer som underlag.
CloudCompare	Gratis	Brukes til å trimme ned kompleksiteten i store punktskyer.

## Resultathåndtering

Etter gjennomført analyse gjenstår resultathåndtering, eller resultatbehandling. Her distribueres eventuelle avvik og/eller dokumentasjon til ansvarlige faggrupper og som-bygget dokumentasjonen arkiveres til senere bruk. I denne sammenheng forklarer intervjuobjektene at arkiveringen av som-bygget dokumentasjon er særlig nyttig da det er mulig å hente opp igjen spesifikk og nøyaktig informasjon fra ulike faser i byggeprosjekter, og at denne type loggføring kan ha stor nytteverdi både underveis i prosjektet, men også etter overlevering (mer om dette i delkapittel 7.2.4).

### 7.2.2 Avviksdeteksjon

Det er bred enighet blant intervjuobjektene at 3D-skanning er et nyttig verktøy til å detektere avvik. Sammenlignet med tradisjonelle metoder for å detektere avvik, som gjerne lener seg på eldre målemetoder og stikkprøvekontroller, vil man ved å bruke 3D-skanner kunne kontrollere relativt store områder veldig raskt og med høy presisjon. Det understrekes av flere intervjuobjekter at 3D-skanning er særlig nyttig til å detektere store geometriske avvik som kan være krevende å se med det blotte øyet, intervjuobjekt 3 og intervjuobjekt 4 forklarer det på følgende måte:

*Vi har jo noen caser, selvfølgelig, som jeg bruker for å poengtere nettopp fordelene med bruk av 3D-skanning: På det Prosjekt X (navngir et konkret prosjekt), eksempelvis, så hadde vi en betongkjellervegg som var veldig høy og hadde høy toleranse sånn på loddavviket. Og betongleverandøren har alt innenfor toleransene, men det var 4 cm forskyvning på toppen. Og det resulterte i at sprinkelrøret måtte flyttes i hvert fall 3-4 cm, som var tilstøtende til ventilasjonsrør som igjen var tilstøtende til aggregatet. Hadde alle bare tuta og kjørt som vanlig, så hadde vi endt opp med at de ikke hadde fått plassert ned det aggregatet, men selvfølgelig flyttet røret og alt sånt i ettertid eller når alle står der og skal heise ned det aggregatet. Så en kunne jo selvfølgelig kvantifisert og satt timer på alle de som det hadde affektert, men vi fanget jo det her opp rett etter at forskalingen var fjernet, så vi meldte bare til rørprosjekterende at de måtte omrokere litt og flytte litt på høyder sånn at vi kunne få plass til aggregatet. Det hadde vi jo ikke fanget opp hadde det ikke vært for 3D-skanning, tenker jeg.*

### Intervjuobjekt 3 - innovasjonssjef i en stor byggenreprenør

*På Prosjekt X (navngir et konkret prosjekt) så oppdaget vi at etasjeplanen over annenetasje var forskjøvet med 8-10 cm, og det var i et punkt hvor det var planlagt heis. Og hvis vi ikke hadde skannet dette, og oppdaget denne forskyvningen, så ville de ikke ha oppdaget det før de hadde slått hullet. Heisen lå ferdig produsert i Tyskland et sted og så lodder du opp, og så oppdager du at ”faen, dette går ikke!”*

#### **Intervjuobjekt 4 - daværende prosjektleder hos en av landets største byggherrer**

I sitatene over poengterer intervjuobjektene at avvikene ikke hadde blitt detektert før det hadde vært for sent dersom 3D-skanning ikke hadde blitt benyttet, og begge diskuterer senere i intervjuene de potensielle økonomiske konsekvensene ved å overse avvik av lignende karakteristikker som beskrevet over. Selv om begge poengterer at det er en krevende oppgave å tallfeste eventuelle besparelser ved å detektere avvik tidlig nok, så forteller intervjuobjekt 4 følgende om prosjektet der annenetasje var forskjøvet med 8-10 cm:

*På Prosjekt X (navngir det konkrete prosjektet), hvor mye hadde det kostet å omprosjekttere og relokalisere den jævla heisen hvis det ikke hadde blitt oppdaget før de hadde tatt hull? Altså hvor mye penger er det snakk om? Nei, da er vi inne på ”a whole shitload of money”.*

#### **Intervjuobjekt 4 - daværende prosjektleder hos en av landets største byggherrer**

### **7.2.3 Tidligere avviksdeteksjon**

Et annet viktig moment som fremgikk i intervjuene, som kan relateres til det foregående delkapittelet, er hvor tidlig avvik avdekkes. Samtlige intervjuobjekter opplyste at de opplever at flere avvik detekteres tidligere sammenlignet med tradisjonelle metoder, og at dette er et særskilt viktig moment for å redusere risiko, unngå store kostnadsoverskridelser og generelt øke kvaliteten. Intervjuobjektene poengterer at tidlige deteksjoner av avvik bidrar til at det blir bygd riktig første gang ved at det er mulig å rette opp i avvikene eller omprosjekttere før det blir et problem av stor økonomisk betydning eller et produksjonsproblem som kan true fremdriften i prosjektet. Flere intervjuobjekter understreker at tidsaspektet ved avviksdeteksjon ikke bare er viktig for å unngå følgefeil senere i produksjonen, men også for å redusere kostnader dersom feil må rettes opp:

*Det å hogge en utsparring dagen etter veggen er støpt er fremdeles mye billigere enn å hogge den fire uker etterpå, samme gjelder kvisting. Altså det å skrape veggen ren når det renner fra dekke over. Det koster mye mer å gjøre det 6 måneder etterpå.*

#### **Intervjuobjekt 4**

Videre påpekes det at feil vil forekomme i byggeprosjekter, om man vil det eller ikke, blant annet på bakgrunn av det uomtvistelige faktum at mennesker gjør feil:

*Det er mennesker på byggeplassen så det kommer til å komme feil. Ting skjer og ingen er feilfrie, så det handler jo egentlig bare om å fange det opp tidlig nok sånn at vi kan ta aksjon på det.*

#### **Intervjuobjekt 3 - innovasjonssjef i en stor byggentreprenør**

Et annet intervjuobjekt opplever at det er mer behagelig og enklere å undersøke et problem ved å sammenligne som-bygget med som-planlagt modeller. Her vektlegges det at det er enklere å forstå et problem ved å analysere det i 3D-verdenen sammenlignet med å analysere det opp mot 2D-tegninger, og at det er enklere å viderefremde problemer og/eller utfordringer ved å vise til 3D-skannede punktskyer. Sistnevnte er flere intervjuobjekter inne på; at avviksdokumentasjon veldig ofte er mangelfullt og at 3D-skanning løser en del fallgruver med tanke på det:

*Du får kanskje bilder på telefonen som er skjeve og uskarpe og mye rart, får den registrert som avvik og den sier jo egentlig ingenting. Så det er et problem! Og gjennom skanning så vil man da sikre bra underlag med en gang, og det løser en del fallgruver med tanke på det.*

## **Intervjuobjekt 2 - innovasjonsleder i en stor byggetrepreneur**

I denne sammenheng erfarer intervjuobjektene også at det stor variasjon i ingeniørers evne til å lese og forstå 2D-tegninger, med den eldste generasjonen ingeniører på den ene siden som gjerne lener seg på gammel praksis for å tolke 2D-tegninger, og nyutdannede ingeniører i dag på den andre siden som liker å tegne og jobbe i 3D.

### **7.2.4 Dokumentasjon**

Det er bred enighet blant intervjuobjektene at 3D-skanning bidrar til økt og bedre dokumentasjon av alle prosjektets faser. I den forbindelse beskriver intervjuobjektene de mange bruksområdene for dokumentasjon basert på 3D-skanning, der de viktigste er beskrevet under:

- Kontinuerlig utvikling av som-bygget BIM-modell: Ved iterativ 3D-skanning av bygget gjennom utførelsesfasen kan en kontinuerlig utvikle som-bygget BIM-modell slik at en besitter en til enhver tid gjeldende som-bygget BIM-modell. I den forbindelse diskuterer intervjuobjekt 4 utfordringen byggebransjen har med å lage identiske digitale tvillinger av bygg; intervjuobjektet mener at dagens såkalte digitale *tvillinger* i realiteten er digitale *søsken*, men at 3D-skanning, gjennom innhenting av nøyaktig som-er informasjon og geometri, kan bidra til å transformere dagens digitale søsken til morgendagens digitale toeggede tvillinger.
- Reklamasjonsfase: Etter overlevering og ibrukttagelse av bygget er det ikke usannsynlig at feil og/eller mangler avdekkes, for eksempel i forbindelse med garantibefaringer eller i løpet av driftsperioden. Dokumentasjon i form av punktskydata kan i mange tilfeller bidra til å løse eventuelle oppdukkende konflikter da en har opparbeidet seg nøyaktig som-bygget dokumentasjon gjennom utførelsesfasen, eller ved å 3D-skanne på nytt for å kontrollsjekke opp mot den som-planlagte BIM-modellen. Intervjuobjekt 3 forteller i intervjuet om et konkret eksempel der 3D-skanning ble brukt til å kontrollere fallet i en parkeringskjeller grunnet at byggherren klagde på at det ikke var tilstrekkelig fall til sluk. Intervjuobjektet gikk da inn og 3D-skannet hele kjelleren, og mot slutten av dagen kom han tilbake med et fargekart som viste slukenes plassering og hva slags fall det var til dem. Det viste seg at fallet var akkurat sånn det skulle være, og følgelig ble den diskusjonen/konflikten lagt helt død.
- Kartlegge hvor installasjoner og andre bygningselementer er plassert: Dokumentasjon i form av punktskydata kan brukes til å foreta kontrollmålinger og generelt kontrollere og kartlegge hvor ulike installasjoner og andre bygningselementer er plassert på områder som ikke lenger er tilgjengelig. Intervjuobjekt 3 viser til et konkret eksempel der 3D-skannet dokumentasjon ble brukt til å identifisere hvor varmerør under en støp var plassert. Dette ble gjort i forbindelse med at noe skulle festes i gulvet, og ved å foreta noen enkle kontrollmålinger var de trygge på at de ikke traff noen varmerør da de borret i gulvet.

### **7.2.5 Samhandling og informasjonsflyt**

Samtlige intervjuobjekter opplyser at bruken av 3D-skanning i produksjonen av bygg gir bedre samhandling og informasjonsflyt mellom de respektive aktørene, og at verktøyet stimulerer tverrfaglig samarbeid og problemløsning. Det faktum at én person kan samle inn, bearbeide og analysere nøyaktig punktskydata fra et stort område raskt, gjør det til en mannskapseffektiv ressurs. I tillegg gjør eksisterende BIM-praksis det enkelt å distribuere rådata og analyser til relevante personer og/eller faggrupper. Intervjuobjekt 2 viser til et konkret eksempel der 3D-skanning utspilte en viktig rolle i arbeidet med å dimensjonere dybden på peler i fjell:

*På et prosjekt for litt siden så 3D-skannet vi fjell som var gravd frem. Så vi georefererte fjellet som et skann-underlag, og så sendte vi det over til RIB-en. Og så satt RIB, anleggsleder og jeg, som skulle følge opp betongen, i et Teams-møte og plasserte og justerte peler opp mot skann. Da hadde vi centimeter-nøyaktige høyder på fjellet, og da kan man dimensjonere dybden på peler veldig presist. Det er kanskje den beste erfaringen jeg har hatt, jeg følte at det var den beste gjennomgangen jeg har hatt. Og jeg tror sånne ting er fremtiden.*

### **Intervjuobjekt 2 - innovasjonsleder i en stor byggtreprenør**

Videre poengterer intervjuobjekt 2 at denne måten å arbeide på er så effektiv at respondenten har vanskeligheter med å forstå hvorfor 3D-laserskanning ikke er et mer utbredt verktøy på byggeplass:

*Det at du bare kan skanne og sende over, og så bare bruke det som dokumentasjonsunderlag på byggeplassen. Det er så bra ift. effektiv arbeidsflyt at jeg har vanskeligheter med å skjønne hvorfor folk ikke har lyst til det.*

### **Intervjuobjekt 2 - innovasjonsleder i en stor byggtreprenør**

Fra et byggherreperspektiv opplyser intervjuobjekt 4 at 3D-skanning øker samhandlingen mellom byggherre og utførende når en er kjent med teknologiens muligheter og begrensninger. For da kan byggherre begynne å stille krav til hvordan 3D-skanneren skal brukes; hva den skal levere og når den skal levere. Dette gir kompetanseheving hos samtlige involverte parter, som gir et bedre sluttresultat.

#### **7.2.6 Kompetanse og opplæring**

Intervjuobjektene som selv har gjennomført 3D-skanninger på byggeplass (intervjuobjekt 1, 2 og 3) beskriver at det krever tilnærmet null kompetanse å bruke selve 3D-skanningsutstyret. Intervjuobjekt 2 og 3, henholdsvis innovasjonsleder og innovasjonssjef i en stor byggtreprenør, påpeker at de fleste hadde klart å gjøre enkle skanninger på en tilfredsstillende måte etter en kort opplæringsseanse:

*...men hvis man skal forenkle og kun gjøre veldig enkle skanninger; gå ut og trykke på knappen og sette opp litt. Det tror jeg de fleste hadde klart hvis man får én time med opplæring, kanskje mindre enn det, og kanskje et par leveranser for å prøve og feile litt.*

### **Intervjuobjekt 2 - innovasjonsleder i en stor byggtreprenør**

I denne sammenheng påpeker intervjuobjekt 2 én viktig faktor som reduserer opplæringsbehovet, nemlig at det er en grunnleggende interesse i bunn hos den/de som skal lære det. Dersom interessen er tilstede mener intervjuobjekt 2 at det nesten ikke er behov for opplæring:

*...hvis du er interessert i dette, så lærer du deg det på egenhånd.*

### **Intervjuobjekt 2 - innovasjonsleder i en stor byggtreprenør**

Hva gjelder kompetansebehov i forbindelse med bearbeiding og analysering av punktskydata, opplyser intervjuobjektene at det er en mer rigid prosess som krever litt mer erfaring, herunder prøving og feiling. Utover grunnleggende modelleringskompetanse, opplyser intervjuobjekt 2 at det er fordelaktig å kunne grunnleggende geomatikk slik at en evner å registrere punktskydata på en tilfredsstillende måte. Men i denne sammenheng beskriver intervjuobjekt 1, 2 og 3 at det ikke er et must at samtlige som bruker 3D-skanningsutstyret også evner å bearbeide innsamlet punktskydata. Grunnen til dette er at innsamlingen av punktskydata og bearbeidingen av punktskydata er to separate prosesser, og følgelig kan sistnevnte prosess delegeres til kompetent personell som har erfaring med å jobbe med punktskydata. I tillegg opplever de at leverandører av maskin- og programvare ofte er veldig behjelpelig i hele gjennomføringsprosessen, da de også ønsker et tilfredsstillende resultat for sine kunder.

### 7.2.7 Frontet fremdriftsplan

Intervjuobjekt 4 diskuterer de fremtidige mulighetene til å lage frontede fremdriftsplaner ved hjelp av 3D-skanning og KI. Ved å kombinere detaljrike og nøyaktige som-er BIM-modeller med KIs eminente dataprosesseringskraft, tror intervjuobjektet det vil være mulig å generere nye fremdriftsplaner på et blunk som hensyntar den faktiske progresjonen på det spesifikke stadiet i byggeprosjektet:

*Når økonomi kommer på plass i modeller, så kan du da plutselig begynne å semiautomatisere avdragsnota. Men enda mer, når du har gjort dette på 3, 4 eller 5 byggeplasser, så har du faktisk detaljert digital kunnskap om fremdriften i prosjektet, og du kan koble det mot modellen selvfølgelig. Kan man da begynne å bruke AI til å generere fremdriftsplaner? Hvis noe går galt, så kan du trykke "run" en gang til og så får du en ny fremdriftsplan som tar hensyn til "as-is". Det å hente inn informasjon utenifra og dytte det inn i datamaskinen slik at du kan se det i dag, men det at den også da kan generere informasjon som ligner erfaring; at vi har digitalisert erfaring om hva vi har gjort som kan prosesseres av datamaskiner i morgen.*

#### Intervjuobjekt 4

For å få til dette, insisterer intervjuobjektet på at byggebransjen er avhengig av videreutvikling av åpne formater. For å dra nytte av informasjonen fra innsamlet punktskydata, må den transformeres til et format som er tolkbart slik at den kan sammenlignes med modeller og fremdriftsplaner. Intervjuobjektet understreker at per dags dato så mister vi litt informasjon i transformasjonsprosessen til IFC og slektingene rundt IFC.

### 7.2.8 Begrensninger

På spørsmål om de mest markante begrensningene ved bruken av 3D-skanning i produksjonen av bygg, nevnes flere interessante momenter. Det er valgt å presentere begrensningene på samme måte som i delkapittel 7.1.2, slik at det skal være enkelt å sammenligne resultatene fra de ulike datainnsamlingsmetodene. Tabell 7.5 viser en oversikt over de identifiserte begrensningene, samt hvilke intervjuobjekt som oppga disse.

Tabell 7.5: Oversikt over identifiserte begrensninger ved bruken av 3D-skanning i produksjonen av bygg - semistrukturerte intervjuer

Begrensning	Beskrivelse	Intervjuobjekt(er)
Forstyrrelser på området som skal skannes	"Forstyrrelser" refererer til lagret materialer og verktøy, samt mannskapsrelaterte aktivitetsforstyrrelser. Intervjuobjektene opplyser at det i produksjonssammenheng alltid er mye støy (materialer, verktøy, mannskap, publikum, m.m.) på området som bør fjernes før skanninger gjennomføres, slik at behovet for å vaske punktskyen i etterkant reduseres.	1, 3 og 4

Fortsetter på neste side

Tabell 7.5 – fortsettelse fra forrige side

Begrensning	Beskrivelse	Intervjuobjekt(er)
Vær	Ved utendørs 3D-skanning kan været ha en negativ påvirkning på punktskykvaliteten. Det er særlig nedbør i form av regn som påpekes som særlig utfordrende, da laseren påvirkes av regndråpene som kan gi unøyaktige og manglende resultater. Intervjuobjekt 3 beskriver et konkret eksempel der de skulle 3D-skanne armeringen i en åpen grop i litt duskregn. For å beskytte 3D-skanneren monterte de en paraply på stativet til 3D-skanneren, men de opplevde at hver og en regndråpe i lufta ble skannet. I tillegg skapte den påmonterte paraplyen problemer da de skulle registrere punktskydataen; algoritmen som skulle sette sammen punktskyene så det samme objektet på hvert eneste skann (den påmonterte paraplyen), som skapte problemer.	3
Reflekterende og blanke overflater	Reflekterende og blanke overflater, eksempelvis glass, beskrives som krevende eller umulig å skanne.	3
PC-ytelse	To intervjuobjekter opplyser at det er helt essensielt med kraftige datamaskiner når en jobber med punktskydata, da størrelsen på filene kan bli relativt store. Intervjuobjekt 3 beskriver at hvis en skrur på høyeste kvalitet på skanneren, så kan hver skann ha en filstørrelse på 1 GB. Følgelig vil registrert punktskydata fra et bygg fort overskride 50 GB, selv om en reduserer kvaliteten på skanneren.	3 og 4
Dataprosessering	To intervjuobjekter opplyser at dataprosesseringen av punktskydata, herunder vasking, registrering og segmentering, er en nokså tidkrevende prosess med mye dødtid. I den forbindelse ser de et stort potensial for å gjøre prosessen mer tidseffektiv og tilgjengelig gjennom automatisering. I tillegg til tidsbesparelser, vil en også kunne redusere kompetansebehovet til å bare gjelde håndteringen av maskinvaren på byggeplass.	1 og 2
Et relativt nytt verktøy - høy terskel for å implementere det	Flere intervjuobjekter understreker at 3D-laserskanning ikke er en ny teknologi i direkte forstand, men å bruke det som et verktøy i produksjonen av bygg er et relativt nytt bruksområde. Følgelig opplever de at bruken drives fram av engasjementet og interessen til enkeltindivider, da det er relativt få som har kjennskap til verktøyets mange muligheter i forbindelse med produksjonen av bygg. Det er først i nyere tid de opplever at interessen og engasjementet på en generell basis har økt, hvilket er et resultat av fremvisning av konkrete effekter ved bruk av 3D-skanning.	1, 2 og 3



### 7.2.9 Positive/negative ringvirkninger ved bruken av 3D-laserskanning

I intervjuene beskriver respondentene noen positive og negative ringvirkninger ved bruken av 3D-laserskanning i produksjonen av bygg. Under gis en kort beskrivelse av disse.

#### Positive ringvirkninger:

**Økt fokus på kvalitetssikring:** På spørsmål om hvordan de har evaluert avkastningen på investeringen i 3D-skanningsteknologi, beskriver intervjuobjekt 3 at de opplever et økt fokus på kvalitetssikring; ikke bare internt, men også hos underentreprenør:

*Vi så fort at dette ga oss et økt fokus på kvalitetssikring. Ikke bare internt, men også mot våre underentreprenører. Når vi nevner at vi 3D-skanner byggene våre kontinuerlig, så gjør det noe med kvalitetsfokus hos de utførende også.*

#### **Intervjuobjekt 3 - innovasjonssjef i en stor byggenreprenør**

**Konkurransefortrinn:** Både intervjuobjekt 2 og 3 opplyser eksplisitt at det faktisk at de bruker 3D-skanning i prosjektene sine gir dem et konkurransefortrinn. De begrunner dette med at bruken av 3D-skanning signaliserer ovenfor potensielle kunder at de tar kvalitetsaspektet på alvor, og at den tidlige implementeringen (relativt sett) er med på skille dem ut fra resten av konkurrentene:

*En annen ting som er vanskelig å regne på, som er en gevinst, er jo det med innsalg. Det at man går inn i et prosjekt og kan vise fram at vi er såpass flinke at vi 3D-skanner. Det er jo med på å skille oss ut fra resten av konkurrentene. Det som er standard i bransjen er at det er veldig mange dinosaurer.*

#### **Intervjuobjekt 2 - innovasjonsleder i en stor byggenreprenør**

#### Negative ringvirkninger

**3D-skannerens tilstedeværelse:** Intervjuobjekt 1 beskriver en uheldig effekt av 3D-skannerens tilstedeværelse på byggeplass, der noen prosjektdeltakere oppfattet 3D-skanneren som et millimeter-presist verktøy til å kartlegge hvor nøyaktige folk er. I denne sammenheng påpeker intervjuobjekt 1 og 4 viktigheten av å formidle at bruken av 3D-skanning ikke er ment til å henge ut folk, men heller hjelpe prosjektdeltakere å gjøre ting riktig.

*Det er en annen detalj som i realiteten faktisk var en greie også, og det var effekten av å stå og skanne arbeidet til folk imens de som har gjort det står der. For det ble litt sånn 'nå kommer han med skanneren', og folk begynte å forklare ting når de skjønnte at området skulle 3D-skannes. Og det er jo bare unødvendig, for det er jo ikke et nytt verktøy for å ta folk.*

#### **Intervjuobjekt 1 - sommerstudent og deltidsansatt i en stor byggenreprenør**

**Underentreprenørens egenkontroll:** Intervjuobjekt 1 opplever innimellom redusert kvalitet på underentreprenørens egenkontroll grunnet at de vet at det kommer noen og 3D-skanner ved en senere anledning. I den sammenheng poengterer intervjuobjekt 1 viktigheten av at totalentreprenør ikke overtar rollen som underentreprenørens kontrollør, men at innsamlet punktskydata tilgjengeliggjøres slik at de sammen kan avdekke og løse eventuelle feil og mangler.

*Når man begynner å mistenke at underentreprenører, som selvfølgelig er tidspresset, begynner å kanskje ikke gjøre sin kvalitetskontroll like godt fordi de vet at det kommer noen og skanner dagen etterpå. Der hadde vi litt sånn 'hva gjør vi her?', fordi det er ikke meningen. Vi ('vi' refererer til totalentreprenør) betaler jo for at de skal kvalitetssikre arbeidet sitt, så vi må jo ikke bare ta over deres jobb.*

#### **Intervjuobjekt 1 - sommerstudent og deltidsansatt i en stor byggenreprenør**

### 7.2.10 Eksempler på konkrete prosjekter der 3D-laserskanning ble benyttet

På spørsmål om intervjuobjektet kan nevne noen konkrete prosjekter der 3D-skanning ble benyttet, fremhever intervjuobjekt 4 to prosjekter. Intervjuobjekt 4 var i New York da de reiste One World Trade Center, og i samtale med prosjektlederen fremgikk det hvorfor de 3D-skannet hvert fasadeelement da de skulle installere/montere fasadeelementer i 61 etasje:

*De hadde ikke råd til noe annet, for som han sa så er krankapasiteten dimensjonerende. For hvis de skulle heise opp hvert element, prøve det, heise det ned 60 etasjer, ”spikke” litt på det og så heise det opp igjen. Så når de heiset fasadeelementene opp skulle de være 100 % sikker på at det passet, og det var ene og alene fordi krankapasiteten var dimensjonerende.*

Intervjuobjekt 4 - daværende prosjektleder hos en av landets største byggherrer

I det andre prosjektet ble 3D-laserskanning brukt til å opprette et prosjekteringsunderlag for RIB-en:

*På Ås så opplevde vi samme greie (refererer til det foregående prosjektet) og jeg tror jo fremdeles at dette er såpass innovativt at vi kan forsette å gjøre det, fordi da laget vi en modell av X (nevner det spesifikke bygget) som den var, og så skannet vi etter hvert som vi rev. Så skannet vi ”kåken” igjen og videreutviklet modellen slik at vi etter hvert fikk en modell av bjelkelagene sånn som vi hadde blottlagt dem. Vi skannet jo hele takkonstruksjonen når taket var revet og råde var fjernet, og så fikk RIB-en skannet og bygget modellen helt ned til råbygg omtrent. Ut fra dette planla han hvordan de skulle sette inn stålbjelker og hvordan de skulle sette inn trebjelker, og hvor de skulle settes inn.*

**Intervjuobjekt 4 - daværende prosjektleder hos en av landets største byggherrer**

Intervjuobjektet kommer så inn på hvordan dette ble en stor suksess:

*Og poenget er at tømmerlaget påsto at de sparte i hvert fall 14 dager på hele laget fordi alt de fikk tilsendt av materialer var ”precut” og passet.*

**Intervjuobjekt 4 - daværende prosjektleder**

## 7.3 Hovedfunn fra eksperimentet

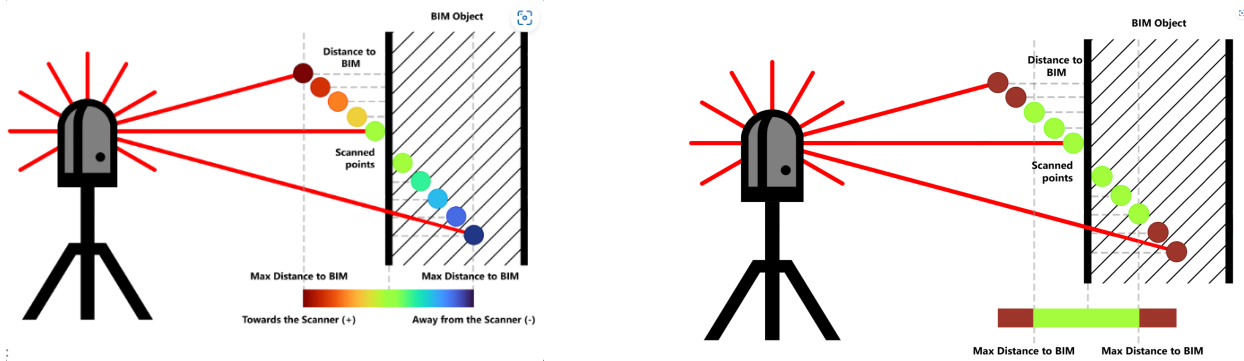
Tabell 7.6 viser en oversikt over de produserte filstørrelsene i det gjennomførte eksperimentet.

Tabell 7.6: Produserte filstørrelser i det gjennomførte eksperimentet

Filstørrelser fra eksperimentet	
Trimble SX12 rådata	2.46 GB
TBC (bearbeidet punktskydata)	9.74 GB
IFC-filer fra Umland	0.636 GB
Undet Indexer	2.43 GB
Undet Revit-fil	0.033 GB
<b>Samlet størrelse</b>	<b>15.299 GB</b>

### 7.3.1 Funns fra Imerso

Som nevnt i delkapittel 6.4.6 har Imerso tre ulike analyseverktøy for å evaluere punktsky mot som-planlagt BIM-modell (Scan-vs-BIM), og samtlige av disse er utprøvd i det gjennomførte eksperimentet. Figur 7.12 viser en beskrivelse av hva fargene i varmekartet viser til [111].



Figur 7.12: Skjermdump fra Imerso som viser en beskrivelse av hva fargene i varmekartet viser til [111]

Under presenteres resultater fra analyseverktøyene i Imerso: Skann-avvik, BIM-avvik og BIM-kollisjoner.

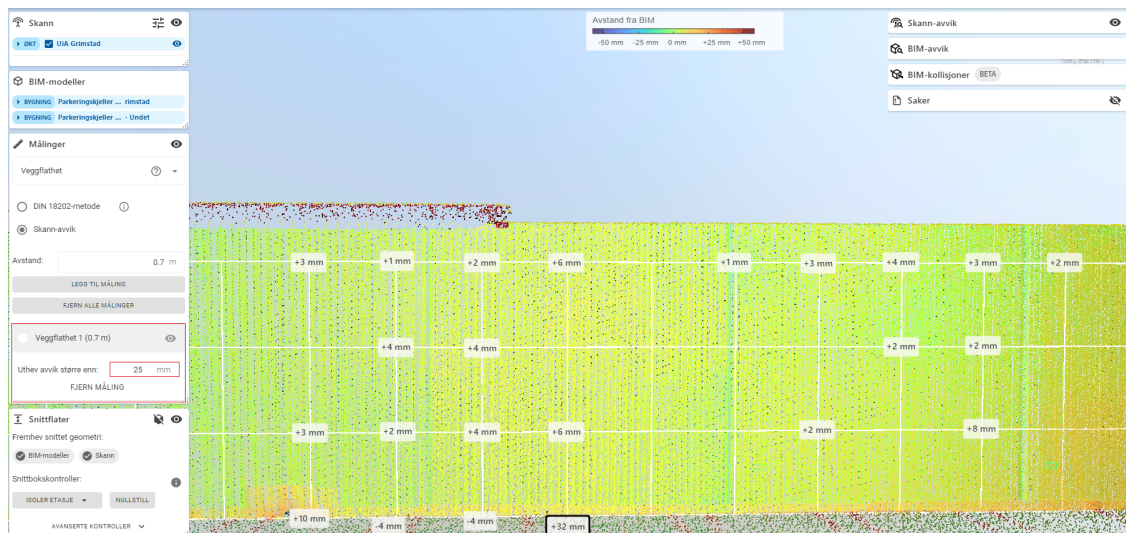
**Skann-avvik:**

Figur 7.13 viser resultatet fra en gulvflathet-måling utført med analyseverktøyet Skann-avvik. "Gulvflathet" er en målemetode i Imerso som gjør det mulig å kontrollere flathet av en horisontal overflate. Her er hver rute 8x8 meter, med en avstand fra som-planlagt BIM-modell på +50 mm. Som det fremkommer i figuren er ruten med størst positiv avstand fra som-planlagt BIM-modell på 22 mm, og ruten med størst negativ avstand fra som-planlagt BIM-modell på 17 mm.



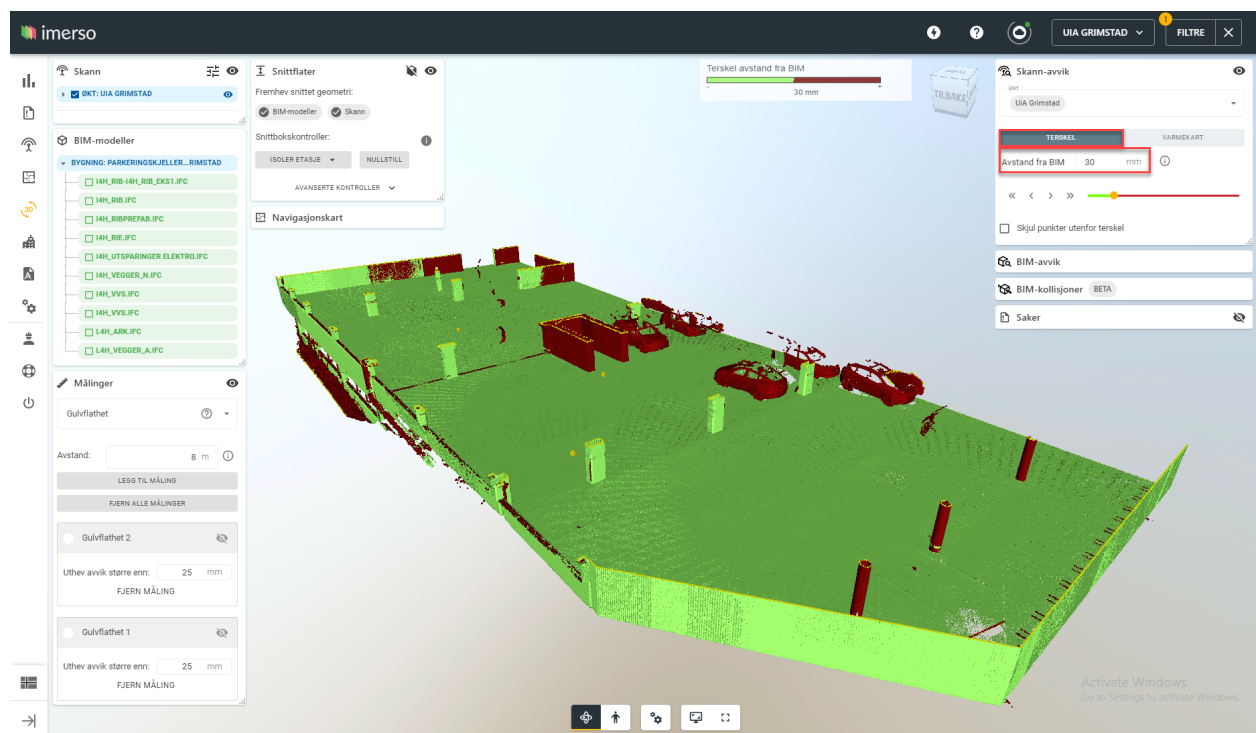
Figur 7.13: Skjermdump fra Imerso med varmekart samt gulvmål med maxverdier

Figur 7.14 viser resultatet fra en veggflathet-måling utført med analyseverktøyet Skann-avvik. "Veggflathet" er en målemetode i Imerso som gjør det mulig å kontrollere flathet av en vertikal overflate. Her er hver rute 0.7x0.7 meter, med en avstand fra som-planlagt BIM-modell på +50 mm, i tillegg blir verdier større enn 25 mm fremhevet med en svart boks. Som det fremkommer i figuren er ruten med størst positiv avstand fra som-planlagt BIM-modell på 32 mm (mest sannsynlig støy) og nest størst 10 mm, og ruten med størst negativ avstand fra som-planlagt BIM-modell på 4 mm.



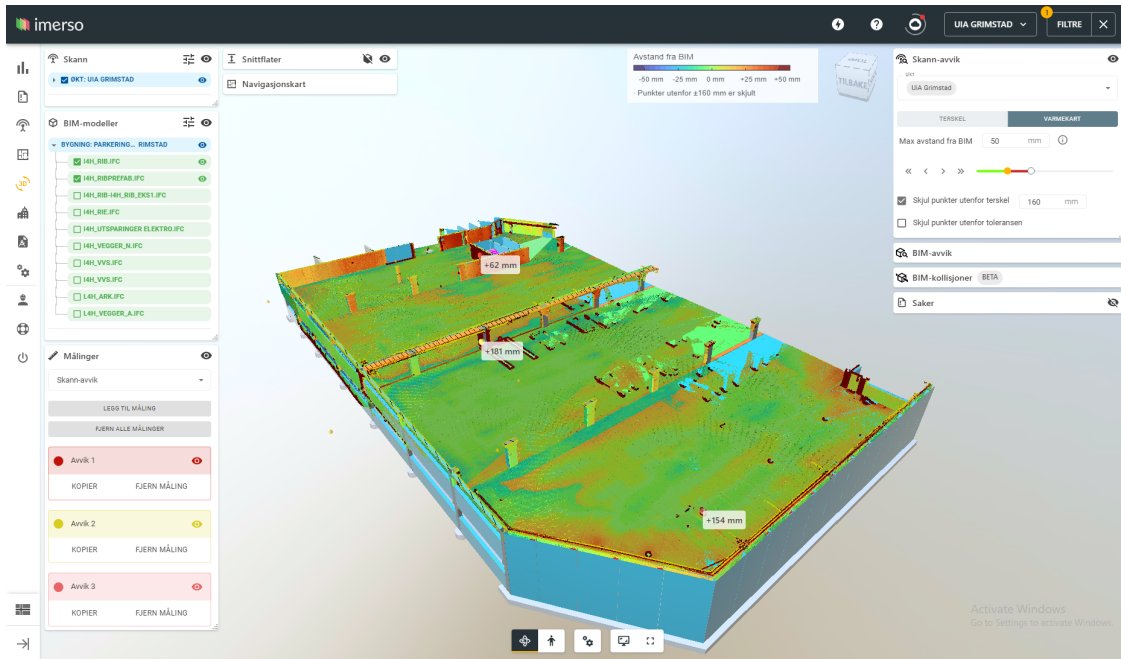
Figur 7.14: Skjermdump fra Imerso med varmekart samt veggsmål med maxverdier

Figur 7.15 viser resultatet fra Skann-avvik-analysen av hele fokusområdet. Her er det definert en terskel på 30 mm, ergo alt som har et avvik på  $\leq +30$  mm farges grønt og alt som har et avvik på  $> +30$  mm farges rødt. Toleransen på 30 mm er definert for å fremheve betydelige avvik.



Figur 7.15: Skjermdump fra Imerso som viser Skann-avvik-analysen av hele fokusområdet med en terskel på 30 mm

Figur 7.16 viser resultatet fra Skann-avvik-analysen med varmekart. Her er "Max avstand fra BIM" satt til  $\pm 50$  mm. I tillegg er det fremhevet noen ekstremverdier som overskrider den ovennevnte definerte toleransen.



Figur 7.16: Skjermdump fra Imerso som viser Skann-avvik-analysen av hele fokusområdet med varmekart

### BIM-avvik

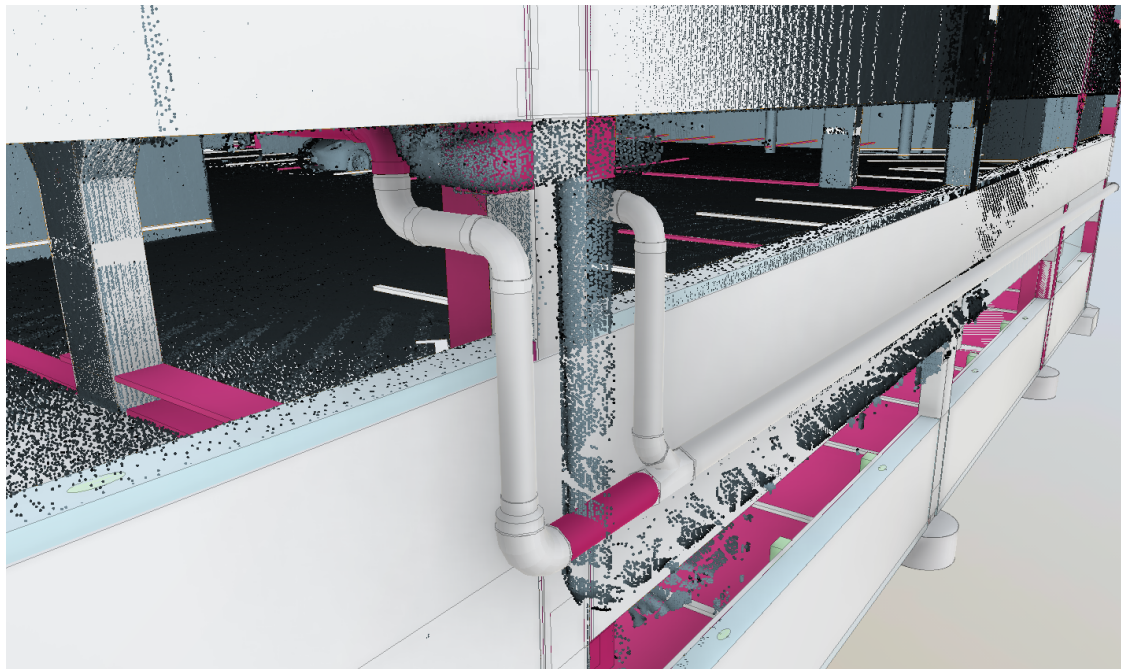
Figur 7.17 viser BIM-avvik-analysen av hele fokusområdet, der den røde boksen oppe til høyre i figuren viser informasjon om antall detekterte feil og mangler. Den røde boksen nede til venstre i fokusområdet viser et eksempel på et objekt som er registrert under "MANGLER", men som i realiteten ikke burde vært registrert som en mangel. I denne analysen viser rød farge til "MANGLER", oransje farge til "FEILPLASSERT" og grønn farge til "INNENFOR TOLERANSE". Toleransen er forhåndsdefinert, og i figuren er den satt til +25 mm.



Figur 7.17: Skjermdump fra Imerso som viser BIM-avvik-analysen av hele fokusområdet med et par fremhevede momenter (røde bokser)

## BIM-kollisjoner

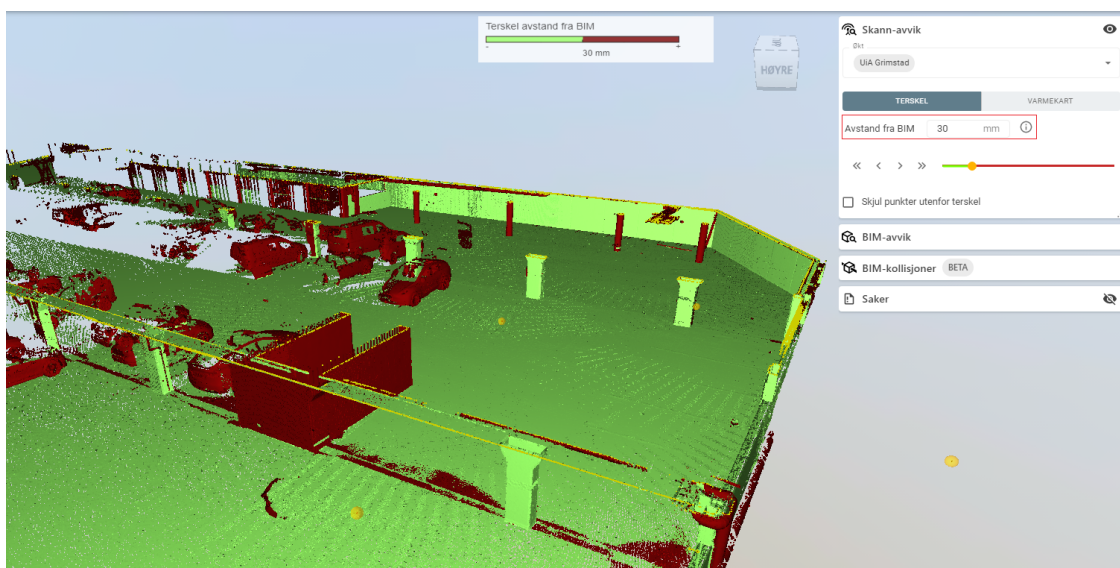
Figur 7.18 viser resultatet fra BIM-kollisjoner-analysen av deler av parkeringskjellerens yttervegg. Elementer markert i fargen rosa viser konflikter (kollisjoner) mellom punktskyen og som-planlagt BIM-modell.



Figur 7.18: Skjermdump fra Imerso som viser BIM-kollisjoner-analysen av deler av parkeringskjellerens yttervegg

## Automatisk vasking

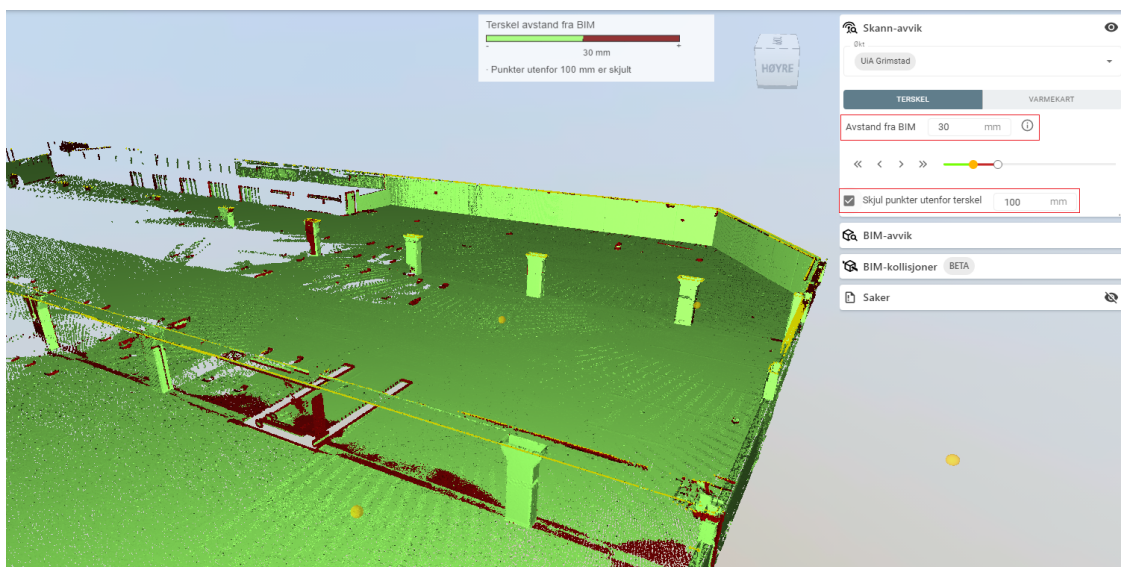
Figur 7.19 viser skjermdump fra Imerso før og etter funksjonen ”Skjul punkter utenfor toleranse” ble benyttet. Hensikten med denne funksjonen er å enkelt kunne skjule støy i punktskyen.



(a)

(Fortsetter på neste side)

(Fortsettelse fra forrige side)

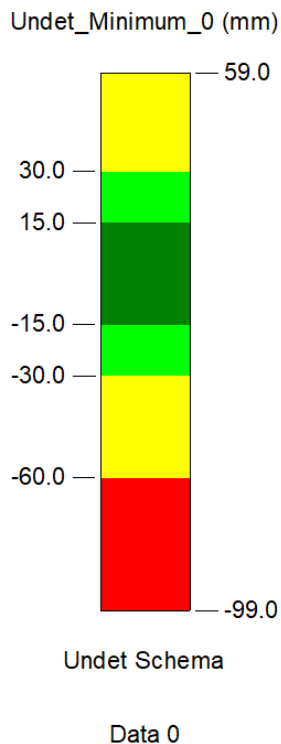


(b)

Figur 7.19: Skjermdump fra Imerso som viser hvordan funksjonen ”Skjul punkter utenfor tolleranse” fungerer, der (a) er med støy og (b) er uten støy

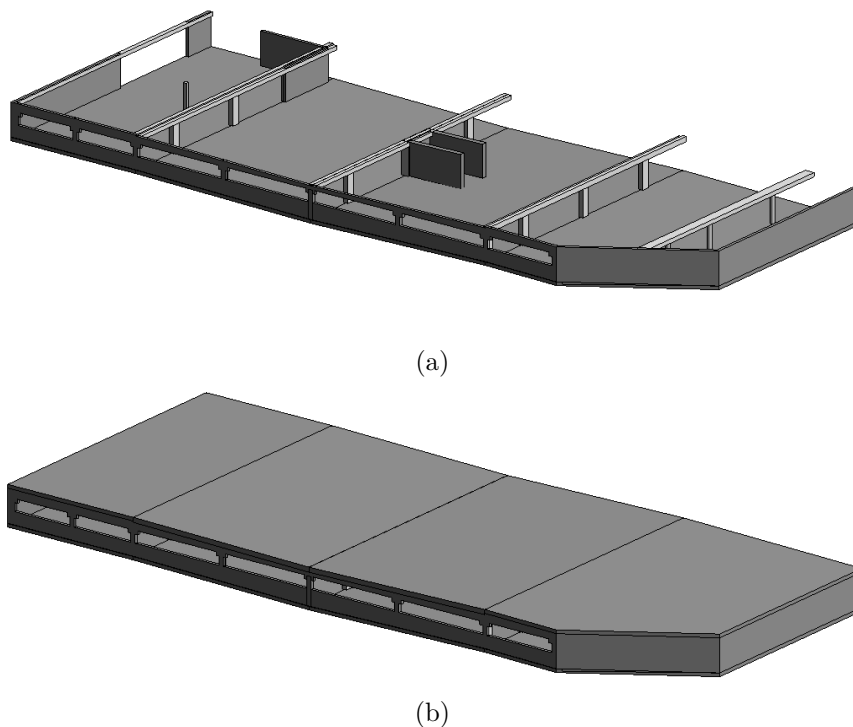
### 7.3.2 Funn fra Undet/Revit

I dette underkapittelet presenteres resultatene fra prosessen reversert modellering (Scan-to-BIM) av deler av parkeringskjelleren ved UiA Campus Grimstad. Det ble modellert en BIM-modell basert på som-bygget punktskydata i Undet Revit. Figur 7.20 viser en beskrivelse av hva fargene i Undet-varmekartet viser til.



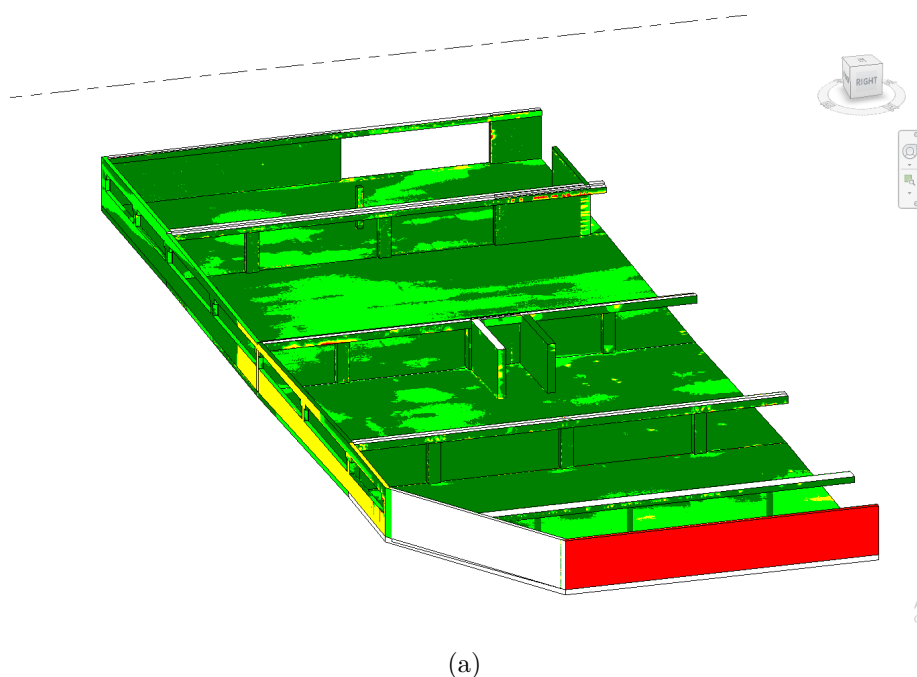
Figur 7.20: Skjermdump fra Revit som forklarer Undet varmekartet

Figur 7.21 viser den ferdigstilte BIM-modellen av deler av parkeringskjelleren ved UiA, der visning (a) er uten dekke over og visning (b) er komplett modell.



Figur 7.21: Skjermdump fra Revit som viser ferdigprodusert som-bygget BIM-modell av parkeringskjelleren ved UiA Campus Grimstad, der visning (a) er uten dekke over og visning (b) er komplett modell

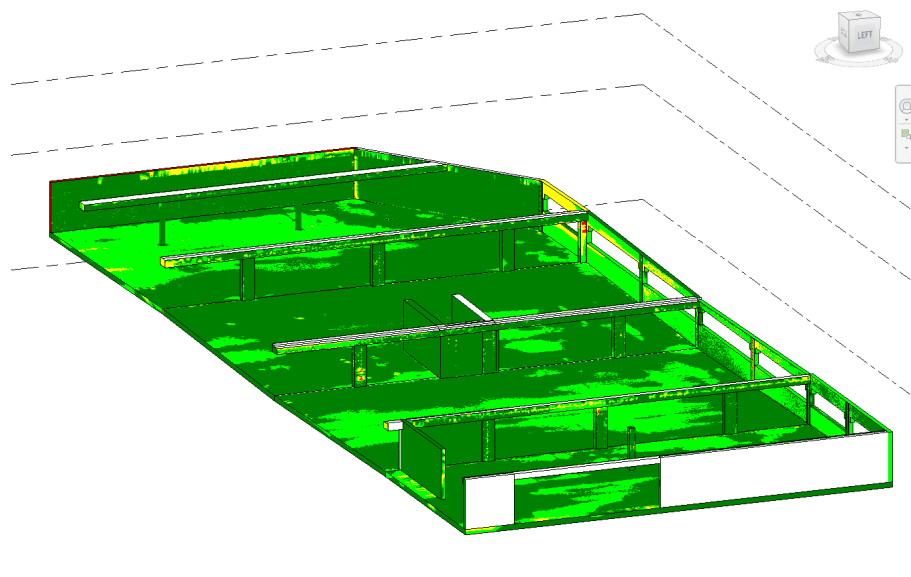
Figur 7.22 viser en analyse av nøyaktigheten til den ferdigproduserte som-bygget BIM-modellen. Analysen innebærer å sammenligne den produserte modellen med den innsamlede punktskyen i den hensikt å evaluere nøyaktigheten til den modellerte modellen.



(Fortsetter på neste side)



(Fortsettelse fra forrige side)



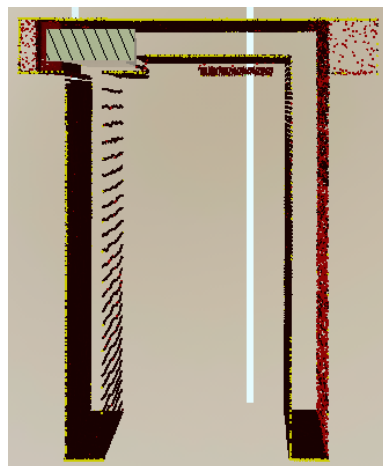
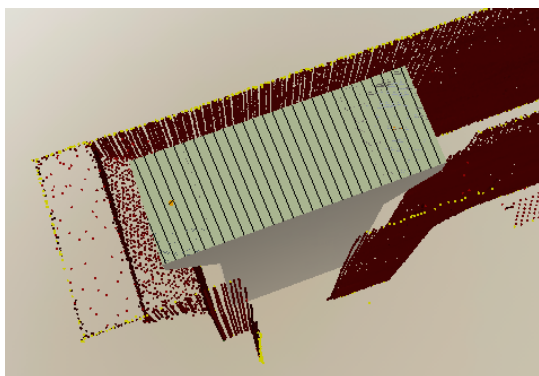
(b)

Figur 7.22: Skjermdump fra Undet Revit som viser nøyaktigheten til den etablerte som-bygget BIM-modellen, (a) og (b) viser to forskjellige visninger av samme modell

### 7.3.3 BIM-avvik

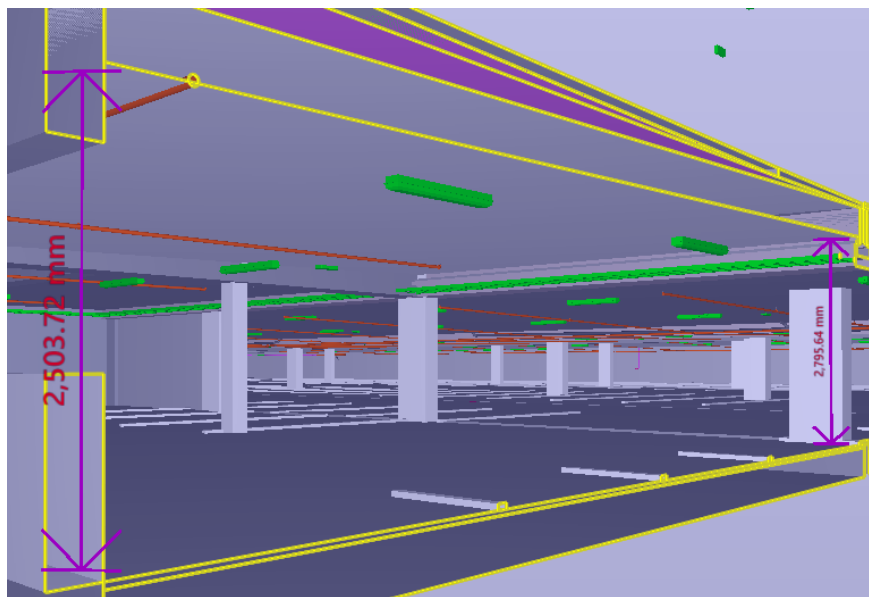
I dette underkapittelet presenteres markante avvik/mangler mellom som-bygget punktsky og som-planlagt BIM-modell som ble identifisert under eksperimentet. Disse avvikene/manglende ble først identifisert i Imerso, for deretter å bli kontrollert i Solibri. Dette er ikke nødvendigvis kritiske feil, men åpenbare avvik/mangler som ikke nødvendigvis skyldes slurvete/unøyaktig utførelse.

Figur 7.23 viser et avvik i som-planlagt BIM-modell, der det mørkegrønne/gråe objektet viser slik det ble prosjektert og de røde punktene viser innsamlet punktskydata. I tillegg til at søylen har feil dimensjon og dens plassering er noe upresis, mangler det tre vegger i som-planlagt BIM-modell som kan se ut til å former en heissjakt til varetransport. I og med at de tre veggene er manglende i som-planlagt BIM-modell registreres de som feil eller støy i Imerso på lik linje med parkerte biler.

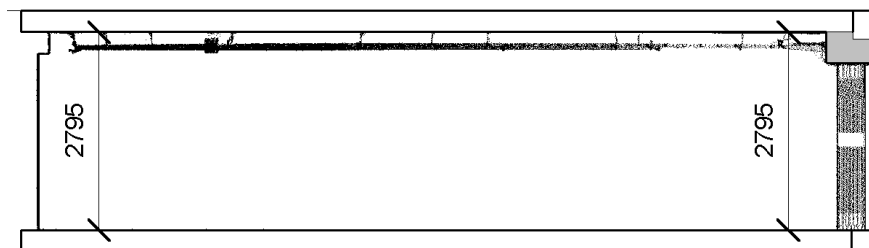


Figur 7.23: Skjermdump fra Imerso som viser avvik og mangler i som-planlagt BIM-modell

Figur 7.24 (a) viser hvordan taket i den ene enden av parkeringskjelleren er prosjektert med helning (tilnærmet 2795 mm til høyre og 2500 mm til venstre) og (b) viser hvordan det samme taket faktisk er bygget. Innsamlet punktskydata indikerer at taket ikke er bygget med den prosjekterte helningen.



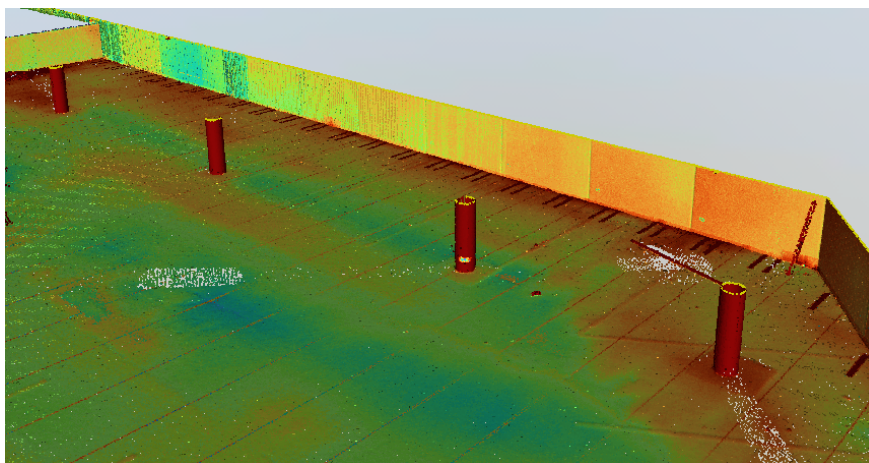
(a)



(b)

Figur 7.24: Snitt i punktskyen (b) og Solibri (a) som viser uoverensstemmelse mellom som-planlagt og som-bygget hva gjelder helning på taket

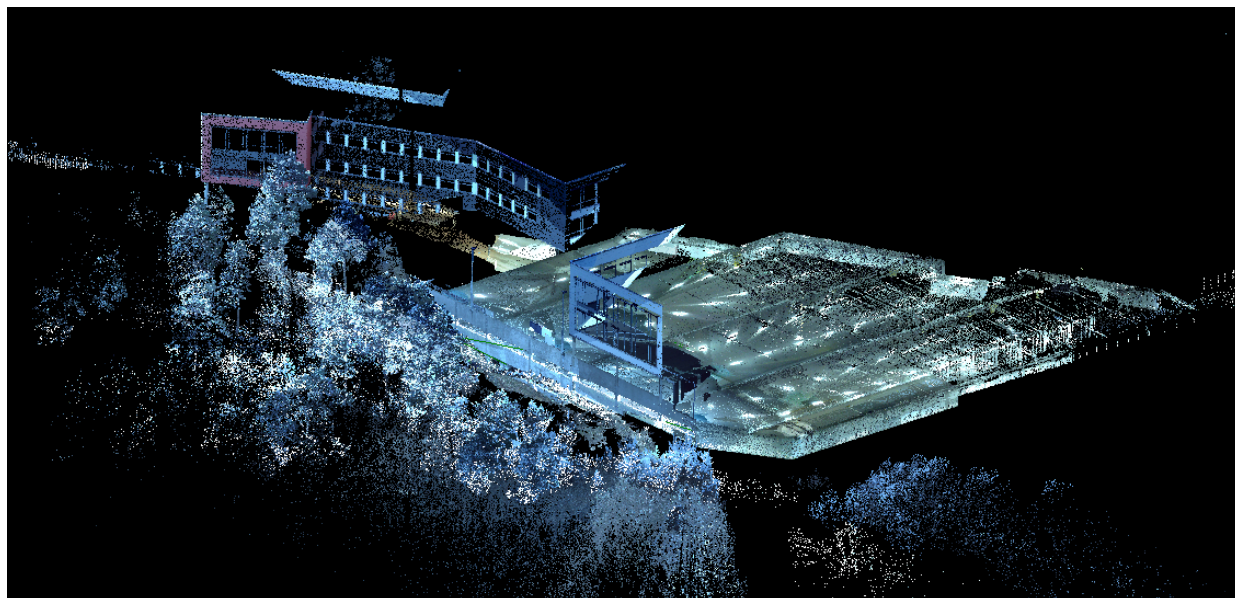
Figur 7.25 viser skannede søyler som ikke er å finne i som-planlagt BIM-modell.



Figur 7.25: Skjermdump fra Imerso som viser skannede søyler som ikke er å finne i som-planlagt BIM-modell

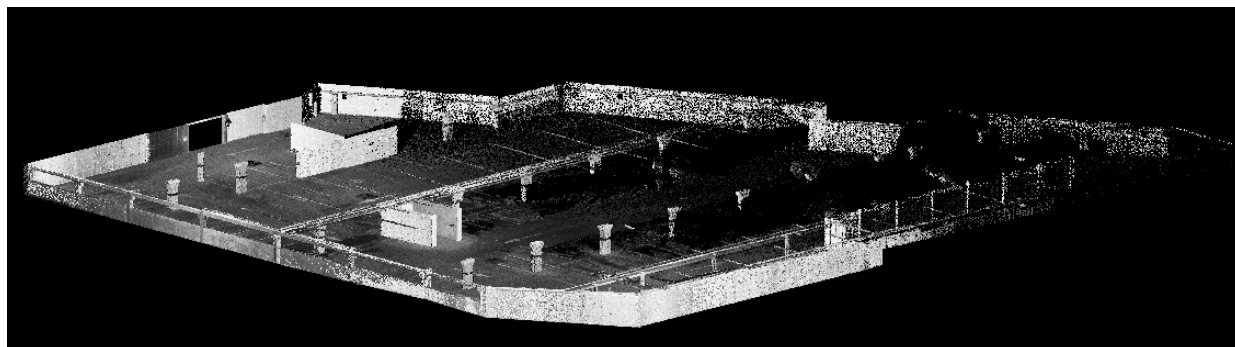
### 7.3.4 Resultater punktsky

Figur 7.26 viser skjermdump fra Trimble Business Center (TBC) som viser ferdig registrert punktsky. Her er det også importert panoramabilder som ble tatt av laserskanneren.



Figur 7.26: Skjermdump fra Trimble Business Center (TBC) som viser ferdig registrert punktsky

Figur 7.27 viser skjermdump fra Trimble Business Center (TBC) som viser ferdig registrert, klassifisert og vasket punktsky. Her er punktskyen begrenset til eksperimentets fokusområde. For å bedre visualisere hvordan punktskyen så ut etter at den var registrert, klassifisert og vasket, er taket midlertidig skjult.

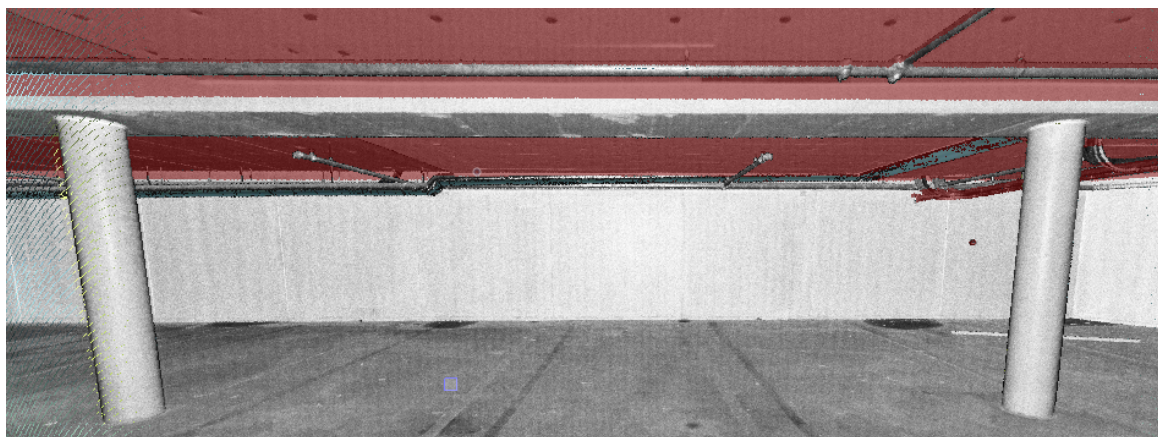


Figur 7.27: Skjermdump fra Trimble Business Center (TBC) som viser ferdig registrert, klassifisert og vasket punktsky

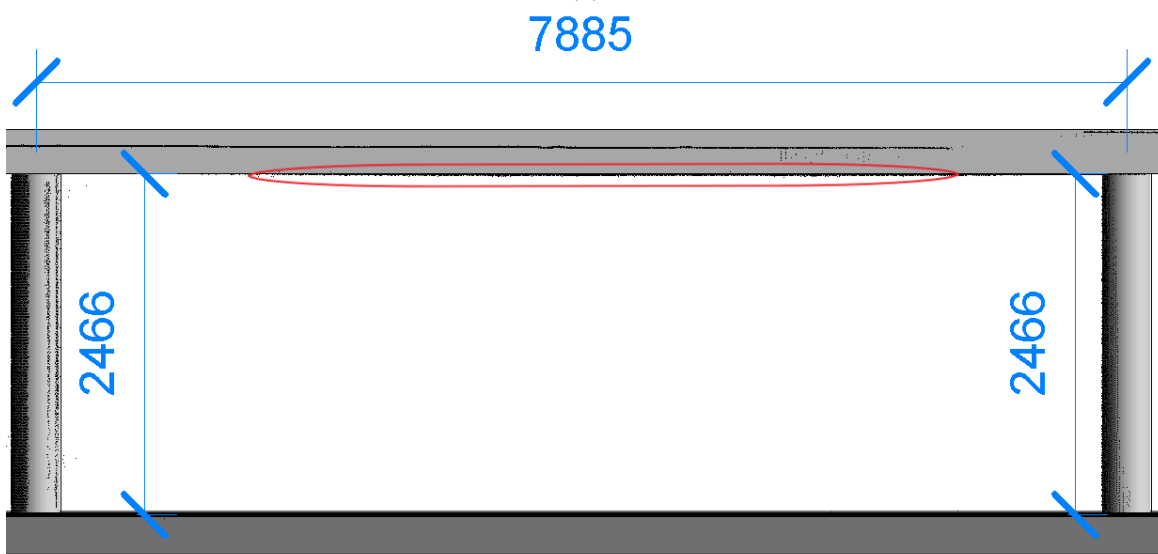
### 7.3.5 Visuell inspeksjon av bygg

I dette underkapittelet presenteres resultater fra en forenklet visuell inspeksjon av parkeringskjelleren ved UiA Campus Grimstad.

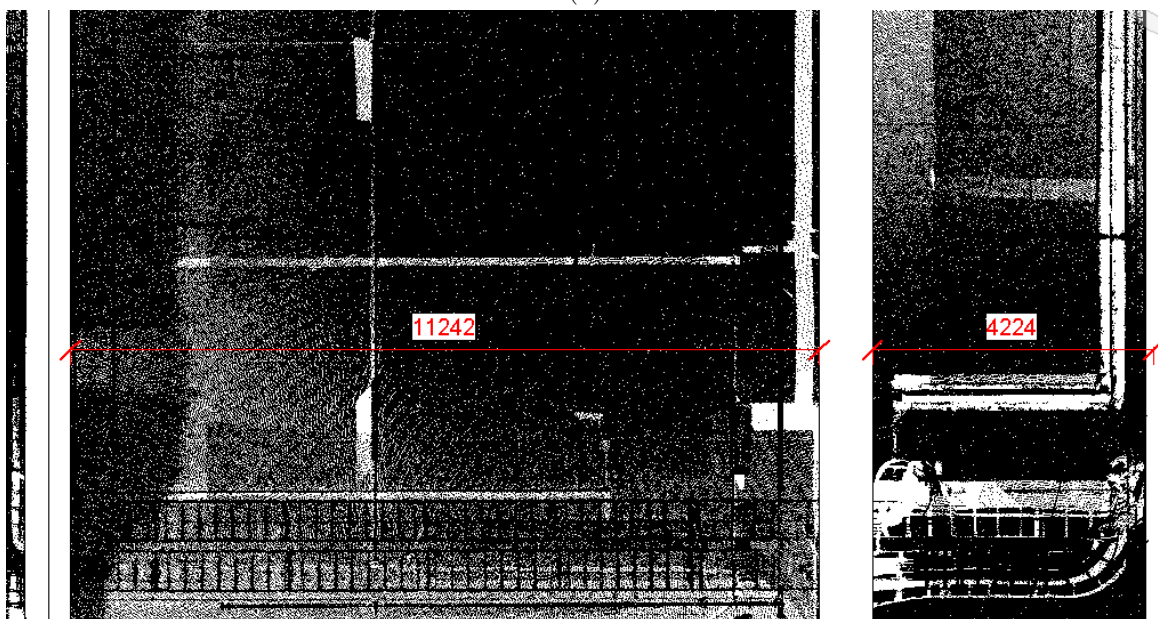
Figur 7.28 viser (a) skjermdump fra TBC der visningen kombinerer panoramabilder og punktskydata, (b) skjermdump fra Revit der visningen kombinerer som-bygget BIM-modell og punktskydata (samme situasjon som (a)) og (c) skjermdump fra Revit der visningen kombinerer som-bygget BIM-modell og punktskydata (samme situasjon som (a) og (b) sett ovenfra). Figur (b) og (c) viser også påførte som-bygget mål, og det uthevede røde feltet i (b) viser en potensiell nedbøyning.



(a)



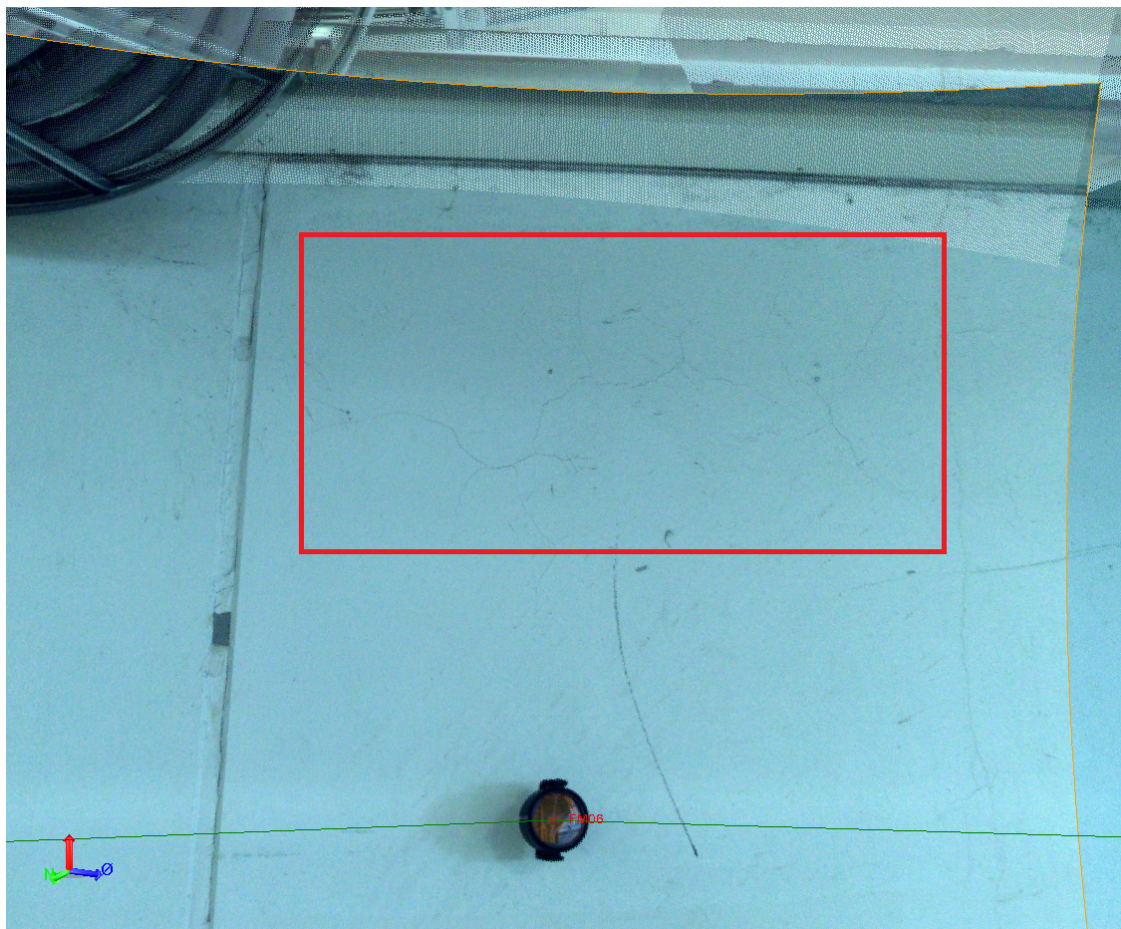
(b)



(c)

Figur 7.28: (a) skjermdump fra TBC der visningen kombinerer panoramabilder og punktskydata, (b) skjermdump fra Revit der visningen kombinerer som-bygget BIM-modell og punktskydata (samme situasjon som (a)) og (c) skjermdump fra Revit der visningen kombinerer som-bygget BIM-modell og punktskydata (samme situasjon som (a) og (b) sett ovenfra)

Figur 7.29 viser hvordan de innsamlede panoramabildene kan brukes til å detektere blant annet riss- og sprekkdannelser i betong. Gitt at parkeringskjelleren nylig ble oppført, var dette det vi fant av ”svakheter”.



Figur 7.29: Detekterte små rissdannelser i en betongvegg i parkeringskjelleren ved UiA Campus Grimstad

### 7.3.6 Begrensninger

I dette underkapittelet presenteres observerte begrensninger ved bruken av 3D-laserskanning i det gjennomførte eksperimentet. Disse begrensningene er basert på våre egne erfaringer med bruk av 3D-skanningsutstyret og tilhørende programvare. Tabell 7.7 viser en oversikt over de identifiserte begrensningene.

Tabell 7.7: Oversikt over identifiserte begrensninger ved gjennomføring av eksperimentet

Begrensning	Beskrivelse
Kompetanse - Programvare	Med kompetanse her menes brukeren sin evne til å arbeide i de ulike programvarene, måtte det være Imerso, Revit, Trimble Business Center, Solibri eller CloudCompare. Man er nødt til å ha en vesentlig kompetanse på forhånd for å evne å produsere et resultat, men har man kunnskap med modelleringsverktøy på forhånd er overgangen mellom de ulike verktøyene veldig overkommelig.

Fortsetter på neste side

Tabell 7.7 – fortsettelse fra forrige side

Begrensning	Beskrivelse
Forståelse	Forståelse går litt hånd i hånd med kompetanse, da brukeren er nødt til å vite hva det er man ser på i punktskyen og hvor man skal stille seg i modellen for å se de punktsky "strekene" som er av interesse. Dette kunne raskt bli et problem, spesielt hvis man velger å ikke vaske punktskyen på forhånd. Dette er en begrensning som i all hovedsak er knyttet til reversert modellering (Scan-to-BIM), da man i teorien ikke har en modell å støtte seg på.
PC-ytelse	Størrelsen på punktskyen satte en stor begrensning på datamaskinens evne til å bearbeide punktskyen og modellene. Problemer knyttet rundt dette oppsto på alle programvarene vi brukte, men spesielt på programvarene hvor vi jobbet med ren punktsky, programmer som: Trimble Business Center og CloudCompare slet veldig, hvor flaskehalsen til maskinen særlig var minne (RAM) og grafikkprosessering (GPU).
Tidsforbruk	Uavhengig av hvor kompetent man er med bruken av diverse program- og maskinvare knyttet til 3D-skanning, må man regne med at det tar tid. Tidsbruk knyttet til georefereringen og selve skanningen er tid man må regne med går "tapt" da dette har en del ventetid, men ikke nok til å kunne utnytte denne tiden da hver skanning varer i rundt 15 min (avhengig av densiteten på punktskyen). Filimport og -eksport av innsamlet punktskydata tok også forholdsvis mye tid.
Landmålingsegenskaper	Med gruppen sin minimale kunnskap knyttet til landmåling, innser vi i etterkant at det er noe som hadde tatt lang tid skulle vi gjort det på egenhånd. Her var det ikke bare det å faktisk vite hvordan man skulle bruke totalstasjonen som ville vært en utfordring, men også det å vite hvor mange prisme vi hadde trengt og hvor disse burde plasseres for å produsere en punktsky med høy nøyaktighet.
Skanning	En potensiell begrensning som ansatte vi SITECH lærte oss under gjennomføringen var hvor og hvordan man skal stille seg opp for å best mulig resultat. Det innebærer hvordan man skal planlegge oppstillingene rundt søyler, hjørner og det andre som måtte være av interesse å få med seg. Grunnen til at dette var viktig er at man ikke får se hva man har skannet får man laster det inn i programvaren. Man er derfor avhengig av en del erfaring, og igjen forståelse av hva man skal skanne, slik at alt av interesse blir skannet med en gang.
Batterikapasitet	Batterilevetiden til loggboken og totalstasjonen (Trimble SX12) var en begrensning, selv på et så lite skanneoppdrag som vi hadde. SITECH møtte opp med fulladet batterier, men måtte lade loggboken i bilen under oppdraget og vi hadde akkurat nok batterikapasitet på totalstasjonen til å gjennomføre eksperimentet som varte i 6 timer, med ekstrabatteriene som var medbrakt.

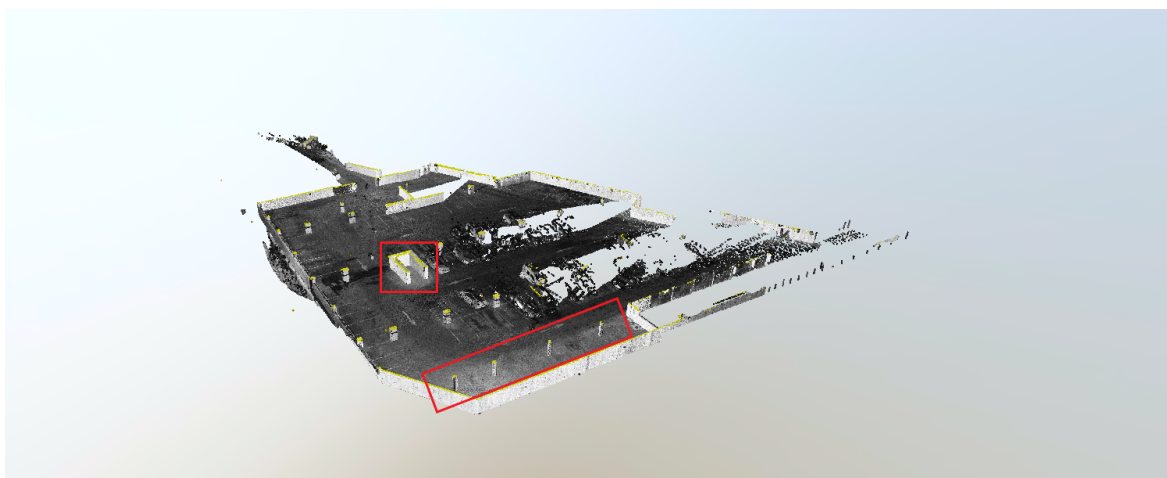
## 8 | Diskusjon

I dette kapitlet diskuteres resultatene presentert i det foregående kapitlet i lys av etablert kunnskapsbakgrunn og tidligere forskning. Gitt oppgavens metodevalg for datainnsamling, herunder litteraturstudie, semistrukturert intervju og eksperiment, er formålet med dette kapitlet å sammenligne og diskutere likheter og ulikheter i metodenes hovedfunn i den hensikt å belyse eventuelle (u)overensstemmelser. Det er valgt å ta utgangspunkt i forskerspørsmålets tre delspørsmål (definert i kapittel 4) i struktureringen av kapitlet, dette for å kategorisere hovedfunnene og følgelig gjøre det enklere for leseren å følge diskusjonen. Avslutningsvis diskuteres spesifikke momenter ved gjennomføringen av eksperimentet.

### 8.1 3D-laserskannings bruksområder i produksjonen av bygg

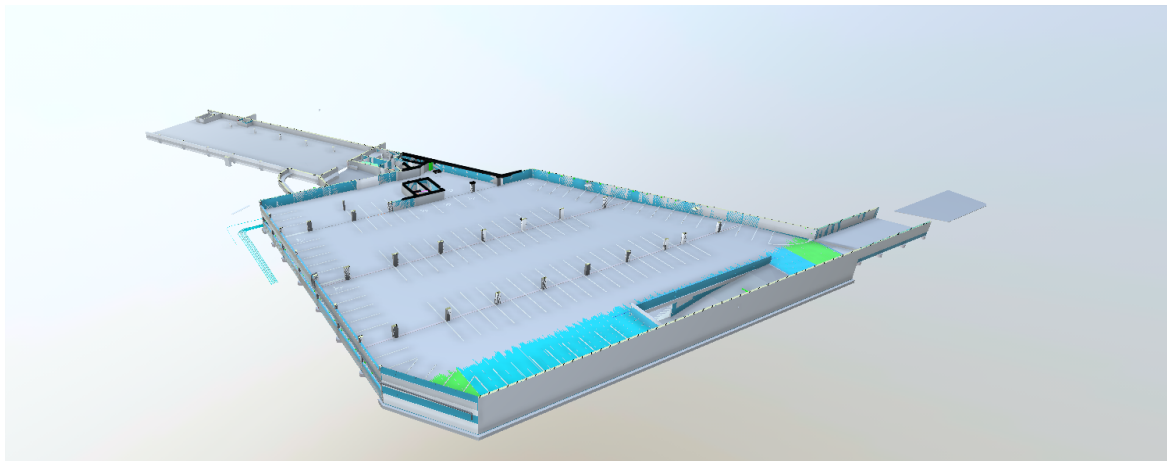
#### 8.1.1 Dokumentasjon

Både i litteraturen og intervjuene fremkommer det at 3D-skanning er et utmerket verktøy til å dokumentere hva og hvordan noe er bygget. Ved å gjennomføre kontinuerlig skanninger gjennom hele produksjonsfasen vil en relativt enkelt og nøyaktig kunne dokumentere alt fra rørplasseringer, hvor mye betong som er brukt, gulvhelning og avvik fra som-planlagt BIM-modell. Det nøyaktige dokumentasjonsunderlaget kan videre brukes til å generere oppdaterte og svært presise som-bygget BIM-modeller, og på den måten virkelig begynne å nærme seg den faktiske definisjonen på digitale tvillinger. For som intervjuobjekt 4 så fint beskriver, så minner dagens ”digitale tvillinger” mer som ”digitale søsken” (se delkapittel 7.2.4). Dette var også noe vi observerte i forbindelse med det gjennomførte eksperimentet, da det ble oppdaget flere uoverensstemmelser mellom BIM-modellen til Ugland og det som faktisk er bygget. Figur 8.1 viser de mest banale eksemplene på dette: BIM-modellen til Ugland (b) mangler flere sentrale elementer som bærende søyler og vegger.



(a)

(Fortsetter på neste side)



(b)

Figur 8.1: Skjermdump fra Iverso som viser (a) innsamlet punktskydata og (b) BIM-modellen til Ugland (de røde boksene i (a) viser manglende elementer i BIM-modellen til Ugland (b))

I 2015 oppstod det en juridisk tvist mellom Grande Entreprenør og Levanger kommune, der Grande Entreprenør ble saksøkt av Levanger kommune for nærmere 5 millioner NOK grunnet en vannlekkasje i forbindelse med montering av håndballmål i en nybygget idrettshall. Bakgrunnen for den juridiske tvisten var at Levanger kommune besluttet å ekskludere montering av utstyr i anbudet, noe som resulterte i at det ble boret hull i en vannledning under håndballdekke i forbindelse med at Levanger kommune selv skulle montere håndballmålene. Det hele endte, etter en lang rettssak, med at Grande Entreprenør ble frikjent [112]. Men i denne sammenheng kan en jo stille seg spørsmålet om hendelsen i seg selv kunne vært unngått dersom entreprenør og byggherre hadde brukt en oppdatert og presis som-bygget BIM-modell (basert på innsamlet punktskydata vha. 3D-laserskanning) som en digital møteplass, og på bakgrunn av dette kartlagt vannledningens nøyaktige plassering. En lignende prosess beskrives av intervjuobjekt 3 i delkapittel 7.2.4, der 3D-skannet dokumentasjon ble brukt til å identifisere hvor varmerør under en støp var plassert. Til tross for at den foreslåtte metodikken vil generere merkostnader på grunn av blant annet ekstra planlegging, flere arbeidstimer og innkjøp av 3D-skanningsutstyr med tilhørende programvare, så er det rimelig å anta at merkostnadene ikke overskrider summen på 5 millioner NOK. Følgelig kan nøyaktige som-bygget BIM-modeller basert på innsamlet punktskydata vha. 3D-laserskanning redusere sannsynligheten for at lignende hendelser inntreffer i fremtiden.

Dokumentering av hva som blir gjort på byggeplass er i følge intervjuobjektene til tider svært manglende. De beskriver at det vanligvis benyttes sjekklister og telefon til å loggføre og distribuere dokumentasjon, og at det ofte er vanskelig å forstå hva dokumentasjonen egentlig viser. Innsamlet punktskydata, på den andre siden, beskrives som fordelaktig grunnet blant annet effekten av visualisering: Potensielle avvik kan studeres fra ulike vinkler og det er relativt enkelt å foreta kontrollmålinger.

En markant ulempe med å dokumentere alt er den store datamengden som blir produsert. Ta det gjennomførte eksperimentet som et eksempel: I eksperimentet ble det gjennomført total 9 skanninger med laveste punktskytetthet, og den totale filstørrelsen til innsamlet rådata endte på hele 12,2 GB (se Tabell 7.6). Det gjennomførte eksperimentet er på langt nær i samme størrelsesorden som vanlige byggeprosjekter, og for å dokumentere alt ville det vært naturlig å skanne flere ganger gjennom hele produksjonsfasen. Til sammenligning forteller intervjuobjekt 4 at de på et prosjekt i Ås endte opp med en punktsky på hele 1 TB, og at datamaskinene deres virkelig slet med å prosessere den innsamlede punktskydataen. Selv om det nevnte prosjektet på Ås er noen år tilbake i tid (det nevnes ikke konkret når dette prosjektet fant sted i intervjuet), forespeiler det en potensiell utfordring. For dersom dokumentasjon i form av innsamlet punktskydata ved hjelp av



3D-laserskanning skal bli en bransjestandard, er dette noe en er nødt til å ta stilling til. Hverken i litteraturen eller i de resterende intervjuene nevnes dette som en begrensning, men årsaken til dette kan være at bruken av 3D-laserskanning fremdeles er i en innledende implementeringsfase og at bruken derfor komplimenteres med konvensjonelle metoder for dokumentering. Følgelig kan dette være en begrensning de ikke har vært nødt til å ta stilling til enda.

En mulig løsning på den forespeilede begrensingen er å etablere nye lagringsrutiner for innsamlet rådata. Dersom brukere velger å si seg fornøyd med kun å ta vare på en oppdatert som-bygget BIM-modell, og følgelig kvitte seg med innsamlet rådata når Scan-to-BIM-prosessen er gjennomført, vil en redusere datamengden betraktelig. Ta det gjennomførte eksperimentet som et eksempel igjen: Den totale filstørrelsen til innsamlet rådata var 12,2 GB og den totale filstørrelsen på den etablerte som-bygget BIM-modellen var på kun 0,033 GB, hvilket svarer til en prosentvis filreduksjon på hele 99,73 %. Det er verdt å merke seg at den etablerte som-bygget BIM-modellen på langt nær er komplett, men til sammenligning er den totale filstørrelsen på den komplette BIM-modellen til Ugland 0,636 GB. På så måte vil en ved å kontinuerlig oppdatere som-bygget BIM-modell kunne redusere lagringsbehovet betraktelig. Tabell 8.1 viser en oversikt over de totale filstørrelsene til innsamlet punktskydata (fra eksperimentet), BIM-modellen til Ugland og den etablerte som-bygget BIM-modellen av parkeringskjelleren.

Tabell 8.1: Oversikt over de totale filstørrelsene

<b>Filstørrelser</b>			
<b>Filer:</b>	Rådata punktsky	BIM-modell - Ugland	Som-bygget BIM-modell
<b>Størrelse:</b>	12.2 GB	0.636 GB	0.033 GB

### 8.1.2 Kvalitetskontroll

Kvalitetskontroll er et viktig moment for å påse at entreprenør leverer et produkt som tilfredsstillende krav og de spesifikasjoner som er lovet og avtalt med kunden på forhånd. Som det fremkommer i delkapittel 7.2.3 vil det forekomme feil i byggeprosjekter rett og slett på grunn av det uomtvistelige faktum at mennesker gjør feil, ergo avvik er unngåelig. Det er krevende å oppdrive estimater på hvor store kostnader som går til å rette opp i feil/avvik, men i rapporten til DiBk fra 2022 (se kapittel 1) så fremkommer det at det var minst én byggfeil i over halvparten av alle nye boliger som ble oppført i perioden 2010 til 2020. Rapporten estimerer at dette utgjør om lag 500 millioner NOK årlig. Byggfeil i denne rapporten klassifiseres som avvik fra Byggteknisk forskrift (TEK), så det er mye som kan kvalifiseres som feil som ikke inngår her. Det rapporten imidlertid ikke tar for seg er andre typer byggeprosjekter av mer kompleks karakter, eksempelvis store kontorbygg, kulturhus og skoler. Følgelig er det rimelig å anta at tallene hadde vært betraktelig høyere dersom også disse byggeprosjektene var medregnet. Med dette som utgangspunkt er det liten tvil om at bransjen er moden for nye metoder å kvalitetssikre utført arbeid på.

I den ovennevnte rapporten beskrives det ikke hvordan kvalitetskontrollen på de involverte prosjektene ble gjennomført, men med utgangspunkt i intervjuobjektene uttalelser er det rimelig å anta at kvalitetskontrollene ble gjennomført på tradisjonell måte, herunder med blant annet målebånd og tommestokk. Resultatene i underkapittel 7.1.1, der konvensjonelle metoder for kvalitetskontroll sammenlignes med kvalitetskontroll ved hjelp av 3D-laserskanning og BIM, indikerer at sistnevnte foreslåtte metode er mer effektiv på flere områder. Tabell 7.1 viser blant annet at behovet for antall arbeidere til å utføre kvalitetskontrollen reduseres og tidsforbruket reduseres, samtidig som at nøyaktigheten øker. Bruk av 3D-laserskanning og BIM gjør det mulig å kontinuerlig kontrollere utført arbeid opp mot som-planlagt BIM-modell helt ned på millimeteren. På spørsmål om 3D-laserskannings potensielle bruksområder i produksjonen av bygg, nevnes kvalitetskontroll av samtlige. På så måte indikerer funn i litteraturen og uttalelser i de gjennomførte intervjuene at implementeringen av 3D-laserskanning og BIM i kvalitetskontroll er tids- og mannskapseffektivt, samtidig som at kvaliteten på det utførte arbeidet forbedres.

For å virkelig dra nytte av de ovennevnte positive effektene, poengterer majoriteten av intervjuobjektene viktigheten av å ha en grunnleggende forståelse av i hvilke situasjoner det egner seg mest å bruke 3D-laserskannere. For som det ble diskutert i det foregående delkapittelet, så er det veldig lett å skanne mye, men dette vil generere mye data som må prosesseres. Følgelig nevner intervjuobjekt 1 og 3 at det kan være lurt å velge seg ut noen særskilt kritiske faser i byggeprosjektet der konsekvensene ved eventuelle feil/avvik er markante. Eksempler på dette kan være etter støp av høye betongkjellervegger eller i forbindelse med gjennomføringer i tak eller vegg (se underkapittel 7.2.2). I tillegg viser funn i litteraturen at 3D-laserskanning kan være særlig nyttig til å kontrollere prefabrikerte elementer og installasjonen/monteringen av disse på byggeplass [102, 103]. I denne sammenheng vises det også til underkapittel 7.2.10, der intervjuobjekt 4 beskriver hvorfor fasadeelementer som skulle installeres/monteres i 61 etasje på One World Trade Center i New York ble 3D-skannet før de ble heist opp. Ved dette tilfellet var krankapasiteten dimensjonerende, så fasadeelementene ble 3D-skannet for å påse at de passet før de ble heist opp. Ved å analysere hvor kritiske feil/avvik vanligvis forekommer, er det mulig å spisse kvalitetskontrollen mot disse fasene. Dette kan lede til en effektivisert og forbedret prosess for kvalitetskontroll uten overdrevet innsamling av punktskydata.

### 8.1.3 Avviksdeteksjon

Bruk av 3D-laserskanning til å detektere avvik er et gjennomgående bruksområde som nevnes i intervjuene, og denne prosessen var det også mulig å teste i det gjennomførte eksperimentet. Som det fremgår i delkapittel 7.2.2 er 3D-laserskanning særlig nyttig til å detektere store geometriske avvik som kan være krevende å se med det blotte øyet, som for eksempel den nevnte betongkjellerveggen med 4 cm forskyvning på toppen som kunne forårsaket kollisjoner hadde det ikke vært for at det ble oppdaget tidlig nok. For slike kritiske produksjonsavvik vil før eller siden bli oppdaget, ergo mye av suksessen ligger i å oppdage dem tidlig nok slik at de ikke blir problemer av stor økonomisk betydning eller et produksjonsproblem som kan true fremdriften i prosjektet.

En potensiell problemstilling i forbindelse med å bruke 3D-laserskanner til å detektere avvik, er at avvik i teorien er alt som viker fra som-planlagt BIM-modell. Med utgangspunkt i at 3D-laserskanner er et millimeterpresist verktøy, er det en overhengende fare for at "alt" lyser rødt når en sammenligner som-planlagt BIM-modell med innsamlet punktskydata (rødt indikerer avvik). Dette til tross for at de detekterte avvikene kan være innenfor anbefalte toleransekrav. Men i det gjennomførte eksperimentet, der blant annet en KI-løsning utviklet av Imerso til å oppdage avvik og byggefeil ble benyttet, fremgikk det at det er mulig å selv definere egne toleransekrav slik at minimale avvik neglisjeres (se Figur 7.15). Dette er en meget nyttig funksjon, men det krever også at det er et trent øye som foretar slike avviksanalyser. Intervjuobjekt 3 beskriver det på følgende måte:

*Men ja, de verktøyene (refererer her til Imerso) har jo også muligheten for å skalere intensiteten på fargeskalaen ut ifra hva toleransen på det aktuelle bygningsmaterialet er. Per nå så gjenkjenner den jo ikke objektet og kan få input på hvilken NS som skal følges. Det er jo noe som vi må hensynte selvfølgelig. Så som jeg pleier å si; det må jo fortsatt være et trent øye som går gjennom analysen. Og ja, det kan virke som alt er feil ved første øyekast da ikke alt er grønt, at det lyser opp litt feil her og der. Men man må fortsatt bruke hodet, man kan ikke bare spytte alle de avvikene som kommer fra analysen videre.*

### Intervjuobjekt 3 - innovasjonssjef i en stor byggentreprenør

Følgelig er det svært viktig at den som utfører avviksanalyser har en forståelse av det større bildet, og ikke bare sitt eget fagfelt. Det innebærer også at selv om at det er ulike fagfelt som har ansvar for hver fagmodell (ARK, RIB, RIV, osv.), at en sørger for at disse er korrekte i henhold til hverandre slik at en oppdager feil før det blir et problem.

### 8.1.4 Reversert modellering (Scan-to-BIM)

Et viktig og utbredt bruksområde for 3D-laserskanning er reversert modellering, eller Scan-to-BIM på engelsk. Denne prosessen omhandler å bruke punktskydata til å 3D-modellere geometrisk nøyaktige BIM-modeller i tilfeller der dette er manglende/fraværende. Som nevnt i delkapittel 3.2, er omkring 80 % av bygningsmassen i Europa bygget før BIM ble tatt i bruk. Dette i kombinasjon med et økt fokus på å rehabilitere fremfor å bygge nytt indikerer at det er et stort behov for å oppdatere tegningsunderlaget til eksisterende bygg. Funn i litteraturen, intervjuene og det gjennomførte eksperimentet viser at 3D-laserskanning kan være et nyttig og effektivt verktøy til å 3D-modellere geometriske nøyaktige BIM-modeller av bygg der dette er manglende/fraværende.

Resultatene fra Scan-to-BIM-delen av eksperimentet gir en pekepinn på hvor nøyaktig og effektiv denne prosessen er: Figur 7.22 viser hvor nøyaktig den 3D-modellerte som-bygget BIM-modellen er sammenlignet med innsamlet punktskydata. Avvikene er stort sett på  $\pm 15$  mm, som kan ansees som tilfredsstillende særlig med tanke på at underlaget er et asfaltdekke med helning som kan variere av ulike årsaker (eksempelvis slitasje eller ujevnheter da det ble lagt). Det som imidlertid er litt underlig er at deler av fasadeveggen har et avvik på mellom  $\pm 30$  mm og  $\pm 60$  mm (se (a) i Figur 7.22). Avviket på mellom  $\pm 30$  mm og  $\pm 60$  mm gjelder primært på fasadeveggens ytterside. Gruppen har en teori om at disse avvikene er et resultat av dårlig sikt og/eller skannevinkel, da det bare ble skannet fra én posisjon på utsiden av parkeringskjelleren. For som det fremkommer i [105, s. 16], kan støy/unøyaktigheter i punktskydata være et resultat av blant annet skannevinkel.

En åpenbar begrensing med reversert modellering ved hjelp av innsamlet punktskydata er at det er kun overflater som direkte eksponeres for laserstrålene som fremkommer i punktskyen, ergo for å kartlegge hvordan elementer er bygget opp må det være synlig. Et konkret eksempel på dette i det gjennomførte eksperimentet er det tidligere nevnte asfaltdekke; for å kunne 3D-modellere hulldekkene under asfaltdekke uten å "åpne" konstruksjonen var vi nødt til å finne de gitte egenskapene til hulldekkene i den som-planlagt BIM-modellen til Umland. Problemer knyttet til dette var en av de viktigste årsakene til at det ble valgt å 3D-laserskanne en parkeringskjeller, da det var ønskelig med en så synlig bærekonstruksjon som mulig (se underkapittel 6.4.1). Men i tilfeller der det er snakk om å 3D-modellere eksemplvis verneverdige bygg, der målet er å bevare konstruksjonen slik den er, vil bygningselementenes synlighet kunne påvirke nøyaktigheten på den endelige modellen.

I tilfeller der eldre bygg skal rehabiliteres vil en muligens kunne se bort ifra den ovennevnte begrensingen. I underkapittel 7.2.10 beskriver intervjuobjekt 4 hvordan de brukte 3D-laserskanner til å opprette et prosjekteringsunderlag for RIB-en. For å få til dette skannet de etter hvert som de rev deler av bygget, slik at tidligere skjulte bygningselementer ble blottlagt. Slik holdt de på helt til de fikk bygget modellen helt ned til råbygg.

### 8.1.5 Strukturell evaluering av eksisterende bygg

Som det fremgår i underkapittel 7.1.1, foreslår [105] å bruke 3D-laserskanning til å evaluere den strukturelle tilstanden til eksisterende bygg. Dette var et potensielt bruksområde som ikke ble nevnt under intervjuene, men den ovennevnte studien konkluderer blant annet med at inspeksjon av aldrende bygninger med manglende/fraværende dokumentasjon kan utføres raskere og mer nøyaktig enn konvensjonelle metoder ved å bruke av 3D-laserskanning. Her ble de innsamlede panoramabildene tatt av 3D-laserskanneren brukt til å inspisere sprekkdannelser, avskalling og vannlekkasjer, og punktskydata ble brukt til å foreta nøyaktige nedbøynings- og deformasjonsmålinger og lage som-er digitale modeller av strukturelle komponenter. Dette underlaget ble så brukt til å foreta FEM-analyser.

I det gjennomførte eksperimentet ble det ikke foretatt strukturelle evalueringer av parkeringskjelleren, men delkapittel 7.3.5 viser hvordan en raskt og enkelt kan hente ut nøyaktige mål og geometri fra som-bygget punktsky. Dette, i kombinasjon med det opprinnelige prosjekteringsgrunnlaget, vil gjøre det mulig å foreta lignende strukturelle analyser gjort i [105]. I tilfeller der som-planlagt dokumentasjon er fraværende (eksempelvis prosjekttert armering), vil det være mer krevende å foreta

svært nøyaktige strukturelle analyser. Men basert på blant annet nedbøyning og oppdukkende sprekkdannelser kan en gjøre gode faglige vurderinger av den strukturelle tilstanden, og her kan 3D-laserskanning være et nyttig verktøy.

### 8.1.6 Frontet fremdriftsplan og interoperabilitet

Som det fremgår i delkapittel 7.2.7, diskuterer intervjuobjekt 4 muligheten til å lage frontede fremdriftsplaner basert på innsamlet punktskydata ved hjelp av 3D-skanning og KI. Resultatene i delkapittel 7.1.1 demonstrerer potensialet til å sammenligne som-planlagt BIM-modell med som-bygget BIM-modell, og på bakgrunn av dette evaluere byggeprosjektets faktiske fremdrift. Det samme potensialet sees også i det utførte eksperimentet, der Imerso-plattformen har en innebygd funksjon som gjør det mulig å sammenligne og sammenstille som-planlagt BIM-modell med som-bygget punktskydata.

Videre viser funnene i [75] (se delkapittel 3.4) at behovet for et rikt datagrunnlag er en begrensning ved bruk av KI i fremdriftsplanlegging. Spørsmålet en da kan stille seg er om 3D-skanning kan være nøkkelen til innsamlingen av et rikt nok datagrunnlag, slik at en kan benytte KI til å generere fremdriftsplaner basert på data fra tidligere prosjekter og som-bygget punktskydata fra det respektive prosjektet. For å få til dette mener intervjuobjekt 4 at det er helt essensielt at dagens åpne format, IFC og dets "slektninger", videreutvikles slik at informasjon og data ikke går tapt i "oversettelsesprosessen" til IFC. Med dette i bakhodet, ser intervjuobjekt 4 for seg et fremtidig scenario der en ved et enkelt tastetrykk kan generere nye fremdriftsplaner dersom store avvik detekteres eller noe uforutsett inntreffer som vil påvirke fremdriften i prosjektet.

I det gjennomførte eksperimentet ble det observert at plasseringene til skanneposisjonene ble "flyttet" i punktskyen etter filkonvertering fra \*.vce (ferdigregistrert punktsky) til \*.e57 (se også underkapittel 8.4.3). Dette ble først oppdaget i Imerso da panorama-funksjonen ikke fungerte som den skulle, og videre feilsøking i CloudCompare viste samme feil. Dette kan knyttes til det intervjuobjekt 4 diskuterer; nemlig at informasjon kan gå tapt/endres i "oversettelsesprosesser". Dette kan tyde på at det fortsatt er en mangel på interoperabilitet som kan ha en begrensende effekt på bruken av 3D-laserskanning i kombinasjonen med BIM.

### 8.1.7 Begrensninger

Resultatene fra litteraturstudien, intervjuene og eksperimentet indikerer at det foreligger noen konkrete begrensninger tilknyttet bruken av 3D-laserskanning i produksjonen av bygg. Fellesnevneren fra samtlige datainnsamlingsmetoder omhandler dataprosessering av punktskydata: Majoriteten av intervjuobjektene som selv har utført prosesseringsarbeid i forbindelse med innsamlet punktskydata (to av tre intervjuobjekter) opplever at denne prosessen er tidkrevende med mye dødtid (se Tabell 7.5). I denne sammenheng beskriver blant annet intervjuobjekt 2 at individuelle rutiner er opparbeidet for å redusere dødtid:

*Vanligvis, i kalenderen min, så pleier jeg å legge inn skanninger på fredager. Det er fordi at da kan jeg gå ut å skanne på fredag, og så laste opp over helgen. Laste opp og prosessere litt og sånt, siden det er mye ventejobb. Du skal liksom trykke litt i 5 minutter og så vente en time. Så det er fint å bruke litt av helgen på å laste opp, slik at du har ting klart på mandag.*

#### Intervjuobjekt 2 - innovasjonsleder i en stor byggentreprenør

Dette var også et oppdukkende moment da innsamlet punktskydata skulle prosesseres/bearbeides i eksperimentet. Til tross for at det ble brukt en datamaskin med akseptabel ytelse (se Tabell 5.3 for datamaskinens spesifikasjoner) opplevdes mye ventetid, særlig i forbindelse med filimport og -eksport. På spørsmål om den totale arbeidstiden fra gjennomføring til resultathåndtering (se Figur 7.10, "De fem ing-ene"), så svarte intervjuobjekt 1 at ved en omfattende skanning så bruker en fort en arbeidsdag, hvis alt går bra. Av den totale arbeidstiden utgjør filimport og bearbeiding en vesentlig andel (3-5 timer), hvilket stemmer godt overens med egne observasjoner i eksperimentet. I denne

sammenheng påpeker intervjuobjekt 1 at potensialet for enklere og mer effektiv datahåndtering er stort, og at et ønskelig scenario er at dataprosesseringen av innsamlet punktskydata automatiseres.

[107] presenterer en systematisk oversikt over blant annet "state-of-the-art" metoder involvert i prosessering av punktskydata. Her presenteres en rekke nye metoder for registrering og segmentering av punktskydata basert på dyplæring. Til tross for et bredt spekter av metoder for prosessering av punktskydata basert på dyplæring, konkluderer studien med at disse må ytterligere videreutvikles. På så måte fremstår prosessering av punktskydata som en flaskehals i 3D-skanningsprosessen.

Videre opplyser intervjuobjektene at forstyrrelser nærmest er uunngåelig på byggeplass, da det er store ressurser i sving som skaper et miljø i stadig endring. Forstyrrelser kan generere unødvendig mye støy i punktskydataen, som igjen kan gjøre dataprosesseringen i etterkant mindre tidseffektiv og mer krevende. Men i denne sammenheng viser resultatene også noen konkrete suksessfaktorer som kan bidra med å helt eller delvis eliminere den ovennevnte onde effektivitetsspiralen:

1. Intervjuobjekt 4 beskriver at de har etablert en rutine der 3D-skanning blir definert som en aksjon/aktivitet i fremdriftsplanen, dermed defineres 3D-skanning som en prosjektrelatert aktivitet som prosjektdeltakerne må forholde seg til.
2. Gjennomføre 3D-skanninger på tidspunkter der det er lite/ingen aktivitet på det aktuelle området, eksempelvis i lunsjpauser eller etter endt arbeidsdag.
3. Koordinere med aktuelle faggrupper og andre relevante prosjektdeltagere som potensielt kan skape forstyrrelser, eksempelvis kranoperatører, hvor og når det skal 3D-skannes. Intervjuobjekt 1 beskriver at dette ofte blir gjort i forbindelse med ukesmøter.
4. Med grunnlag i erfaringer fra det gjennomførte eksperimentet, er det viktig at brukeren av 3D-skanningsutstyret er godt forberedt slik at skanningen gjennomføres på en effektiv måte. Gode forberedelser innebærer blant annet å kartlegge formålet med 3D-skanningen (og med utgangspunkt i dette identifisere og prioritere kritisk geometri), påse at en har tilstrekkelig batterikapasitet slik at 3D-skanningen ikke blir brutt og planlegge en skanningrute basert på en befaring og/eller som-planlagt BIM-modell.

Avslutningsvis fremkommer det i intervjuene at været kan være en begrensning ved utendørs 3D-laserskanning, særlig nedbør i form av regn da laseren påvirkes av regndråpene som kan gi unøyaktige og manglende resultater (se Tabell 7.5). Det antas også at snø har lignende påvirkning på skannekvaliteten. Ifølge [113] er årlige antall dager med nedbør omtrent 100 dager i innlandet, 150 dager i en sone innenfor kysten og over 200 dager enkelte steder langs vestkysten. Med dette i bakhodet, kan en stille seg spørsmålet om utendørs 3D-laserskanning rett og slett er uegnet i enkelte deler av landet, særlig de stedene langs vestkysten der antall nedbørsdager overskrider 200. Intervjuobjekt 3 beskriver i intervjuet at de forsøkte å løse denne utfordringen med å montere en paraply på stativet til 3D-laserskanneren, men dette fungerte dårlig av flere grunner (se Tabell 7.5).

## 8.2 3D-laserskannings påvirkning på arbeidsflyten i produksjonen av bygg

### 8.2.1 P4S

P4S, forkortelse for "Planning for Scanning", er en kritisk planleggingsprosess for å sikre at innsamlet punktskydata imøtekommer prosjektrelaterte krav til nøyaktighet og kvalitet. Som det fremkommer i [105, s. 16], kan støy/unøyaktigheter i punktskydata være et resultat av blant annet skannevinkel. Derfor er det nødvendig å skanne fra flere vinkler, og slå punktskyene sammen, for å få et nøyaktig resultat som mulig. Følgelig kan skanneplanen ha stor effekt på punktskydataens kvalitet.

Planleggingsfasen i forkant av det gjennomførte eksperimentet bestod primært av tre steg:

1. Dagen før gjennomføringen av eksperimentet ble det foretatt en befaring for å kartlegge hvordan parkeringskjelleren så ut og mengden trafikk på det tiltenkte tidspunktet 3D-skanningen skulle

- gjennomføres dagen derpå. I den forbindelse ble det tatt bilder og videoer av parkeringskjelleren, som senere på dagen ble sendt til kontaktpersonen i SITECH som skulle hjelpe oss med 3D-skanningen.
2. Det ble avholdt et digitalt møte med kontaktpersonen i SITECH for å snakke litt om formålet med 3D-skanningen, samt for å kartlegge om det fantes noen eksisterende fastmerker i umiddelbar nærhet til parkeringskjelleren. På møtet ble vi enige om at vi skulle dele BIM-modellen slik at kontaktpersonen i SITECH kunne orientere seg i denne før gjennomføringen av 3D-skanningen.
  3. På gjennomføringsdagen gikk vi samlet gjennom hvilket område vi ønsket å 3D-skanne, og kritiske objekter og geometri ble identifisert.

På bakgrunn av det ovennevnte, ble det laget en skanneplan, herunder kritiske skanneposisjoner og utplassering av referansepunkt til georeferering av punktskydata, som skulle ivareta formålet med 3D-skanningen og inkludere identifiserte kritiske objekter og geometri. Den beskrevne planleggingsfasen stemmer godt overens med de etablerte planleggingsrutinene intervjuobjektene opplyser i intervjuene: Som det fremkommer i Figur 7.10, og påfølgende beskrivelse, vektlegger intervjuobjektene særlig å kartlegge hva målsetningen/formålet med 3D-skanningen er før selve gjennomføringen i den hensikt å redusere innsamling av unødvendig mye data, samt planlegge å gjennomføre 3D-skanningen på et tidspunkt der sannsynligheten for forstyrrelser er minimal. Hva gjelder skanningrute (nødvendige skanneposisjoner) beskriver intervjuobjektene dette som en pragmatisk prosess, der nødvendig antall skanneposisjoner og plasseringen av disse ofte bestemmes på stedet og er et resultat av brukerens erfaring.

Litteraturen, på den andre siden, foreslår en optimalisert planleggingsprosess som skal tilfredsstillende krav til datakvalitet og redusere tiden det tar å gjennomføre 3D-skanningen. Eksperimentet i [108] viste at den foreslåtte skanneplan-metoden reduserte den totale arbeidstiden med opptil 20 % sammenlignet med manuelle skanneplaner utarbeidet av fagkyndige landmålere, blant annet grunnet en reduksjon i antall skanneposisjoner. Og [106] introduserer og tester en tilnærming for automatisk skanneplanlegging som evnet å beregne minimum antall skanneposisjoner basert på en som-planlagt BIM-modell, 3D-skannerens karakteristikk og predefinerte skannespesifikasjoner. Det antas at en optimalisering av skanningruten i forbindelse med det gjennomførte eksperimentet ville redusert tidsbruken betraktelig, da hver skanning tok minimum 15 minutter å gjennomføre til tross for at den laveste punktskytettheten ble brukt (se Tabell 7.7). Med høyere punktskytetthet og et større fokusområde ville tidsbesparelsen ved en optimalisert skanningrute blitt enda mer markant, da tidsbruken per skanning og behovet for antall skanneposisjoner ville økt.

I tillegg til en reduksjon i total arbeidstid og mer nøyaktig punktskydata, sees også en annen positiv ringvirkning med optimaliserte og (semi)automatiserte skanneplaner. Intervjuobjekt 2, som har brukt 3D-skanner på byggeprosjekter i litt over to år, beskriver at de fleste hadde klart å håndtere 3D-skanningsutstyr på en tilfredsstillende måte etter en kort opplæringsseanse (se første sitat i delkapittel 7.2.6). Følgelig vil de foreslåtte skanneplan-metodene i [108, 106] kunne redusere kompetansebehovet til bare å gjelde håndteringen av 3D-skanningsutstyret, slik at verktøyet blir mer tilgjengelig. På så måte er det rimelig å anta at flere kan bruke 3D-skanningsutstyret på byggeplass, men som det fremkommer i delkapittel 8.3 krever fortsatt bearbeidingsprosessen at brukeren har tilstrekkelig med kompetanse knyttet til blant annet modellering.

### 8.2.2 Samhandling og informasjonsflyt

Samtlige intervjuobjekter beskriver at bruken av 3D-laserskanning forbedrer samhandlingen og informasjonsflyten i byggeprosjekter. Et konkret og godt eksempel på dette, beskrevet av intervjuobjekt 2, er hvordan innsamlet punktskydata ble brukt til å nøyaktig dimensjonere og plassere peler i fjell over et digitalt møte med RIB og anleggsleder (se underkapittel 7.2.5). Lignende eksempler beskrives ved flere anledninger i intervjuene, der distribusjon av avvik og tverrfaglig problemløsning i team er et gjennomgående tema.

Funn i litteraturstudien og det gjennomførte eksperimentet viser den diversifiserte porteføljen av potensielle bruksområder med innsamlet punktskydata, med strukturell evaluering av bygningsdeler på den ene siden og fremdriftsovervåking på den andre siden. På mange måter indikerer dette at det bare er fantasien som setter grenser for hva innsamlet punktskydata kan brukes til, og hvordan verktøyet bør implementeres i den daglige driften av byggeplassen. For at bruken av 3D-laserskanning skal ha en virkningsfull effekt, herunder bedre flyten i prosjekter og effektivisere prosesser, er det av forfatterens oppfatning svært viktig at 3D-laserskanning erstatter konvensjonelle metoder slik at det ikke bare blir et ekstra moment som prosjektdeltakerne må forholde seg til. For per dags dato, med utgangspunkt i intervjuobjektens uttalelser, kan det virke som at bruken av 3D-laserskanning i byggeprosjekter foreløpig komplementerer konvensjonelle metoder.

### 8.2.3 Positive/negative ringvirkninger ved bruken av 3D-laserskanning

Flere intervjuobjekter diskuterer implisitt positive og negative ringvirkninger ved bruken av 3D-laserskanning i produksjonen av bygg. Som det fremgår i resultatene i delkapittel 7.2.9 beskriver intervjuobjekt 3 at de opplever et økt fokus på kvalitetssikring (både internt og eksternt) ved å ta i bruk 3D-skanningsteknologi, mens intervjuobjekt 1 opplever innimellom en redusert kvalitet på underentreprenørenes egenkontroll fordi de er klar over at totalentreprenør kommer og 3D-skanner ved en senere anledning. Ved første øyekast kan beskrivelsene til intervjuobjekt 3 og 1 virke motsigende; for hvordan kan det ha seg at et økt fokus på kvalitetssikring leder til dårligere egenkontroll? Det rimer rett og slett ikke.

Svaret på det ovennevnte spørsmålet kan ligge i det faktum at bruken av 3D-skanningsteknologi i produksjonen av bygg er relativt nytt, ergo det er rimelig å anta at majoriteten av prosjektdeltakerne ikke er inneforstått med det overordnede formålet med bruken av teknologien. Dette kan underbygges med intervjuobjekt 1 sine observasjoner av effekten av å 3D-skanne det utførte arbeidet til prosjektdeltakerne imens de står der. På så måte kan de motsigende beskrivelsene til intervjuobjekt 3 og 1 indikere at byggebransjen, i konteksten av bruken av 3D-laserskanning i produksjonen av bygg, befinner seg i en digital omstillingsprosess som innebærer endringer av rutiner, systemer og tankebaner. I denne sammenheng forklarer intervjuobjekt 3 at fra de først tok i bruk 3D-skanningsteknologi på byggeplass og frem til nå har opplevd en modningsprosess der kollegaer har fått en mer positiv innstilling til bruken av 3D-laserskanning:

*Jeg får mer og mer henvendelser fra kollegaene mine om hvordan bruke 3D-skanning på forskjellige måter, og det er jo basert på den suksessen vi har hatt. Som vi til det kjedsommelige har presentert ved bruk av 3D-skanning både internt i bedriften og resten av konsernet.*

**Intervjuobjekt 3 - innovasjonssjef i en stor byggentreprenør**

## 8.3 Kompetansebehov ved bruk av 3D-laserskanningsutstyr og tilhørende programvare

Ser man på kompetansebehovet for å bruke 3D-laserskanningsutstyr og tilhørende programvare er dette noe som omtales relativt lite i litteraturen og i de gjennomførte intervjuene. Årsaken til dette er trolig det faktum at de utvalgte intervjuobjektene og forskermiljøet er ledende på bruken av 3D-laserskanning i produksjonen av bygg, og som intervjuobjekt 2 så fint sier: "...hvis du er interessert i dette, så lærer du deg det på egenhånd.". Det er valgt å skille mellom kompetansebehov tilknyttet selve bruken av verktøyet og prosesseringen av innsamlet data grunnet at det er to separate prosesser.

### 8.3.1 Kompetansebehov - bruk av 3D-laserskanningsutstyr

I intervjuene fremkommer det at nødvendig kompetanse for å ta i bruk selve 3D-laserskanningsutstyret er minimal, og dette var også noe vi selv erfarte under gjennomføringen av eksperimentet. Men i denne sammenheng påpeker også intervjuobjekt 2 at det er fordelaktig å kunne grunnleggende geometikk, særlig når en skal gjennomføre mer omfattende analyser, slik at

en evner å registrere punktskyen på en tilfredsstillende måte (se underkapittel 7.2.6):

*Ehmm, det er veldig fint hvis man kan litt geomatikk. Man trenger ikke det, med det er veldig fint ift. hvis man skal gjøre noe som er litt komplisert. Hvis du skal georeferer ting osv., da er det fint med litt geomatikk-kompetanse... Men det er veldig fint å ikke bomme på plassering, og vite f.eks. hva et koordinatsystem er; hva slags koordinatsystem er det vi bruker, hva er nullpunktet, hvordan referer man opp mot BIM. Det er fint, hvis man skal gjøre litt avanserte ting.*

## **Intervjuobjekt 2 - innovasjonsleder i en stor byggentreprenør**

Den mest krevende delen med selve gjennomføringen av skanningene under eksperimentet, var i aller høyeste grad å etablere et nettverk av koordinatsatte referansepunkt. Til tross for at vi fikk særdeles god hjelp av en fagkyndig fra SITECH som har mange års erfaring med dette, var det en nokså tidkrevende og grundig prosess blant annet fordi det ikke lyktes å lokalisere noen lokale fastmerker i umiddelbar nærhet til parkeringskjelleren på forhånd. Men i et reelt byggeprosjekt vil ikke dette nødvendigvis være relevant, da det er stikningsingeniører tilgjengelig som kan bistå med å koordinatsatte nødvendige referansepunkt. Men for å sikre best mulig flyt i prosessen er det fordelaktig om brukeren selv innehar den nødvendige kompetansen til å gjøre dette på egenhånd.

Videre viser litteratur, beskrivelser i intervjuene og eksperimentet viktigheten av å "lese" området som skal skannes for å sikre en effektiv innsamling av punktskydata uten at det går på bekostning av kvaliteten. Intervjuobjektene beskriver at utvelgelsen av skanneposisjoner ofte blir gjort på stedet (se "Planlegging" i underkapittel 7.2.1), hvilket også var tilfelle under eksperimentet. Men funnene i [108, 106] indikerer at denne utvelgelsesmåten kan forbedres med automatiske og optimaliserte skanneplaner. For å virkelig nyttiggjøre seg av automatiserte og optimaliserte skanneplaner, er det av forfatterens oppfatning nødvendig å evaluere omfanget av skanningen som skal gjøres. Er det kun deler av et bygg eller enkelte bygningselementer som skal skannes, anses nytteverdien av automatiserte og optimaliserte skanneplaner for liten. Men er det større områder som skal 3D-skannes, eksempelvis hele bygg, der det kreves mange skanneposisjoner for å fange geometrien, kan den potensielle tidsbesparelsen bli markant (se underkapittel 8.2.1).

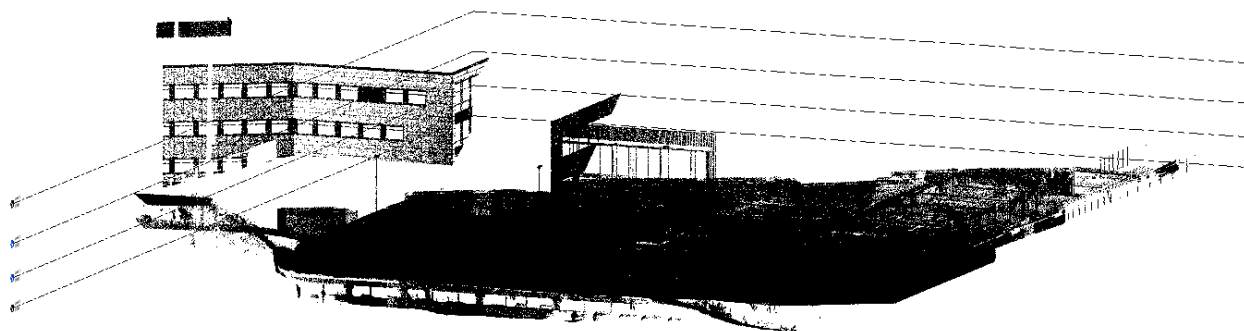
### **8.3.2 Kompetansebehov - prosessering av innsamlet punktskydata**

På bakgrunn av det gjennomførte eksperimentet ansees dataferdigheter og byggteknisk forståelse som viktig kompetanse i denne sammenheng. Dataferdigheter er kritisk for å klare å registrere innsamlet punktskydata riktig og for å 3D-modellere etter innsamlet punktskydata. Ved eventuelle unøyaktigheter i registreringen av punktskydata, vil det forekomme tydelige feil i det produserte resultatet. Følgelig er det primært dataferdighetene som potensielt kan være en akilleshæl i registreringsprosessen.

Reversert modellering, eller 3D-modellering etter punktskydata (Scan-to-BIM), er en mer utfordrende prosess som krever mer av brukeren. I første omgang erfarte vi under eksperimentet at det er viktig at brukeren har god kjennskap til det aktuelle modelleringsverktøyet som blir brukt, for å sikre at prosessen blir så tidseffektiv som mulig. I andre omgang erfarte vi også at det er veldig viktig med en god byggteknisk forståelse, helst i kombinasjon med praktisk innsikt i byggeprosessen. Grunnen til dette er at det er så mange punkter og streker å forholde seg til, som kan føre til at det for et "utrent" øye kan være krevende å skille det ene fra det andre. Den store mengden med punkter og streker medfører at en er nødt til å jobbe i 2D-visning fremfor i 3D-visning. Figur 8.2 viser den registrerte punktskyen i Revit før den reverserte modelleringen var påbegynt. Den svarte "klumpen" er punktskydata, og uten tilstrekkelig byggteknisk forståelse vil det være krevende å transformere dette til en som-bygget BIM-modell.

Noe lignende problemstillingen kommer også både intervjuobjekt- 1 og 3 inn på, hvor at det å forholde seg til 2D-tegninger muligens "dør ut" med den eldre generasjonen av ingeniører, da den nye generasjonen av ingeniører (og delvis fagarbeidere) arbeider mer og mer i 3D.





Figur 8.2: Skjermdump fra Revit som viser den registrerte punkttskyen

## 8.4 Avviksanalyser i Imerso - eksperiment

I dette delkapittelet diskuteres viktige momenter og oppdukkende problemstillinger i forbindelse med bruk av den web-baserte plattformen Imerso.

### 8.4.1 BIM-avvik

Med analyseverktøyet "BIM-avvik" i Imerso skal det være mulig å identifisere hva som viker fra som-planlagt BIM-modell, samt hvordan det viker. Ved hjelp av dette verktøyet skal det være mulig å generere en ny som-bygget BIM-modell ved å flytte på bygningselementer der posisjonen i som-planlagt BIM-modell viker fra det som faktisk er bygget. Denne funksjonen ble vi introdusert for under et innføringsmøte med Imerso, der de blant annet demonstrerte hvordan de med et enkelt tastetrykk flyttet en søyle i som-planlagt BIM-modell til dens faktiske posisjon etter at den var bygget. Denne funksjonen ansees som særlig nyttig da det er en enkel og effektiv måte å produsere en nøyaktig som-bygget BIM-modell på.

Men da gruppen skulle prøve denne funksjonen i det gjennomførte eksperimentet, opplevde vi at den ikke fungerte like bra som under innføringsmøtet med Imerso. Som det fremgår i Figur 7.17 registrerer Imerso 99+ "MANGLER" i som-planlagt BIM-modell, til tross for at majoriteten av objektene som er markert som mangler både fremkommer i som-planlagt BIM-modell og punkttskyen. Årsaken til dette kan være så mangt, men forfatterne har en teori på hvorfor Imerso registrerer så mange mangler. Denne går ut på at det i det gjennomførte eksperimentet kun ble skannet én etasje, så når vi bruker analyseverktøyet "BIM-avvik" på hele parkeringskjelleren som går over flere etasjer så er det en betydelig andel av BIM-objekter som fremstår som manglende som ikke er skannet. Et eksempel på dette er søylene i parkeringskjelleren som i BIM-modellen strekker seg over flere etasjer; i som-planlagt BIM-modell er disse søylene modellert slik at de er gjennomgående over to etasjer, ergo det er bare i underkant av 50 % av søylene som er skannet. På bakgrunn av dette antar vi at Imerso registrerer disse søylene som mangler, da en stor andel av søylene ikke fremkommer i punkttskyen. Det er mulig å overskrive mangler registrert av Imerso ved å markere dem som korrekt, men dette fører til at man mister muligheten til å bruke funksjonen "VIS FORESLÅTT POSISJON" som er et alternativ ved registrerte feilplasserte objekt. Derfor var det ikke mulig å opprette en som-bygget BIM-modell i Imerso i dette eksperimentet.

Dersom forfatternes ovennevnte teori stemmer, understreker det viktigheten av å utarbeide komplette og detaljrike som-planlagt BIM-modeller for virkelig å dra nytte av programvarer som Imerso. Det er flere åpenbare mangler i BIM-modellen til Ugland som gjør at det forespeilede analyseverktøyet på langt nær fungerer optimalt.

### 8.4.2 BIM-kollisjon

Som nevnt i foregående underkapittel, var det flere åpenbare mangler i BIM-modellen til Ugland som tidvis gjorde det utfordrende å utnytte potensialet til Imerso. I forbindelse med utprøving av analyseverktøyet "BIM-kollisjoner" i Imerso, oppdaget vi blant annet at ulike BIM-modeller inneholdt det samme BIM-objektet. Dette gjorde det umulig for Imerso å gjennomføre analysen av alle BIM-filene samtidig, hvilket førte til at vi gjennomførte kollisjonsanalysen av noen få utvalgte BIM-modeller. Figur 7.18 viser et eksempel på kollisjon mellom et BIM-objekt og punkttsky. Etter dialog med Imerso ble det identifisert en "bug" i deres systemer som hindret analysen å bli gjennomført dersom flere BIM-modeller inneholdt samme BIM-objekt, og etterhvert kunne de opplyse om at denne "bugen" var rettet opp i. Dette ble gjort like før prosjektslutt, ergo vi hadde begrenset med tid til å teste dette analyseverktøyet.

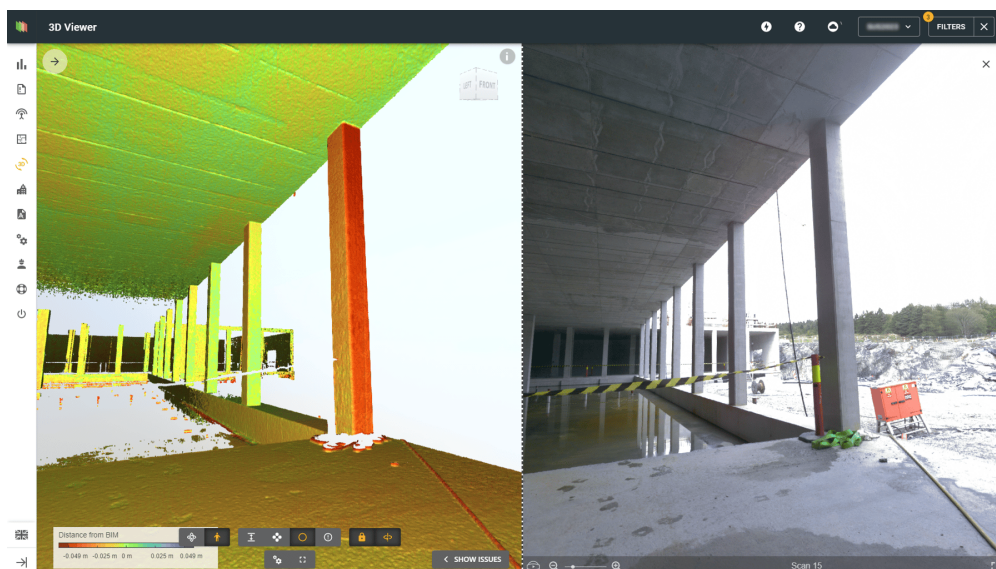
Avslutningsvis er det verdt å nevne at analyseverktøyet "BIM-kollisjoner" først og fremst er et nyttig verktøy i oppføringen av nybygg, da det er i utførelsesfasen kollisjoner oppstår. I det gjennomførte eksperimentet var det et allerede oppført bygg som ble 3D-laserskannet, ergo i realiteten eksisterer det ingen kollisjoner.

### 8.4.3 Feilplasserte skanneposisjoner

Et problem som vi aldri fant noen løsning på, selv etter at vi kontaktet Imerso for hjelp, var at skanneposisjonene til laserskanneren var feilplassert i punkttskyen. I den forbindelse oppstod det et problem da vi skulle prøve panorama-funksjonen i Imerso. Dette er en funksjon som splitter visningen i to, der den ene visningen viser som-planlagt BIM-modell og punkttsky med valgt analyseverktøy og den andre visningen viser panoramabilder tatt av 3D-laserskanneren av eksisterende situasjon. Disse visningene er synkronisert slik at de til enhver tid viser samme digitale og fysiske situasjon, og på den måten kan en evaluere/kontrollere eventuelle avvik ved å studere disse visningene samtidig. I tillegg er det mulig å foreta digitale "vandringer" på byggeplass, slik at en kan foreta kontroller fra ulike vinkler og posisjoner. Sistnevnte funksjon minner veldig om tjenesten Google Street View eller dataspill. I og med at skanneposisjonene var feilplassert i punkttskyen, fungerte ikke denne funksjonen optimalt.

Dette hadde vært et flott hjelpemiddel til å studere mangler og store avvik i som-planlagt BIM-modell i mer detalj. Figur 7.25 viser skjermdump fra Imerso som viser fire skannede søyler som ikke eksisterer i som-planlagt BIM-modell. I dette tilfellet er det åpenbart hva som er årsaken til de markerte avvikene, men hadde det vært mindre åpenbare avvik kunne det vært interessant å benytte panorama-funksjonen for å studere de i mer detalj. Figur 8.3 viser skjermdump fra Imerso sine nettsider som viser et eksempel på hvordan denne funksjonen fungerer [114]. Her kan en se at den oppførte søylen viker fra som-planlagt BIM-modell med omlag 50 mm, der den røde fargen indikerer at søylens faktiske posisjon er 50 mm nærmere vår posisjon enn det som er planlagt.

Det ble forsøkt å feilsøke problemet med panorama-funksjonen, og mye kan tyde på at problemet oppstår ved eksportering fra Trimble Business Center. Skanneposisjonene er riktig plassert i punkttskyen i Trimble Business Center, men problemet oppstår etter eksportering. Dette var det mulig å verifisere ved å kontrollere den eksporterte punkttskyen i CloudCompare.

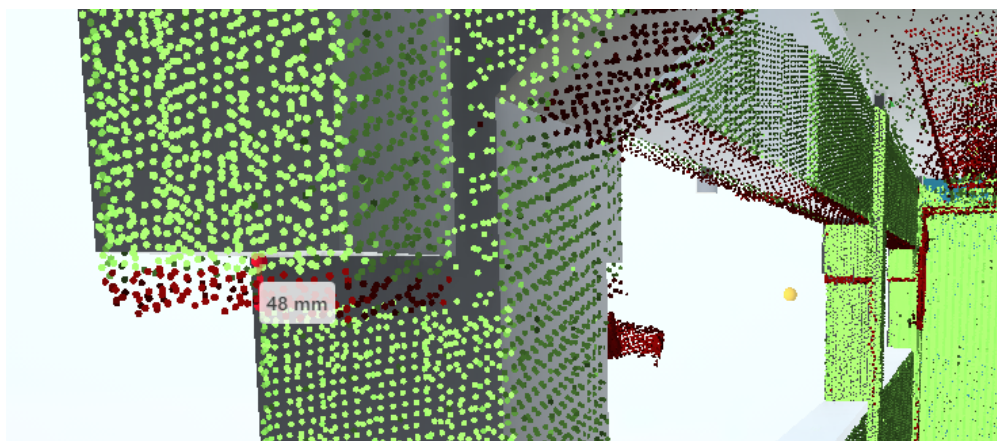


Figur 8.3: Skjermdump fra Imero - panoramafunksjonen som vi ikke fikk til å fungere optimalt [114]

#### 8.4.4 Sammenstilling av punktsky og BIM

Et steg som viste seg å ta mer tid enn først antatt var plasseringen av punktskyen på BIM-modellen. Dette ble et problem spesielt i Z-retning, hvor Imero hadde klare utfordringer med å plassere de riktig i forhold til hverandre. Årsaken til denne utfordringen kan skyldes flere ting, men som vi har vært inne på tidligere i underkapittel 6.4.6, var BIM-modellen og punktskyen i ulike koordinatsystem. Dette kan være én årsak til at Imero hadde problemer med å automatisk plassere punktskyen på BIM-modellen.

Da BIM-modellen og punktskyen ikke ble automatisk plassert riktig, måtte vi manuelt plassere punktskyen. I denne sammenheng har Imero funksjoner som bistår i arbeidet med manuelt plassere punktskyen, der plattformen, basert på en grovplassering av punktskyen, prøver å matche punktskyen med BIM-modellen. Da vi sammenstilte punktskyen med BIM-modellen til ARK og RIBprefab, slet Imero med å forstå om den skal sammenstille punktskyedekke med asfaltdekke eller hulldekke. Følgelig fikk vi en høydeforskjell på 40-50 mm, som er gjeldende i hele analyseområdet. Figur 8.4 viser hvordan denne høydeforskjellen gir utslag i skann-avvik analysen. Ved å undersøke egenskapene til dekke i BIM-modellen (i Solibri), fant vi at dekke er bygd opp av 400 mm hulldekke og 40 mm asfalt. Følgelig tyder mye på at punktskyedekke er sammenstilt med hulldekke som genererer høydeforskjellen på 40-50 mm. Figur 8.5 viser egenskapene til dekke i Solibri.

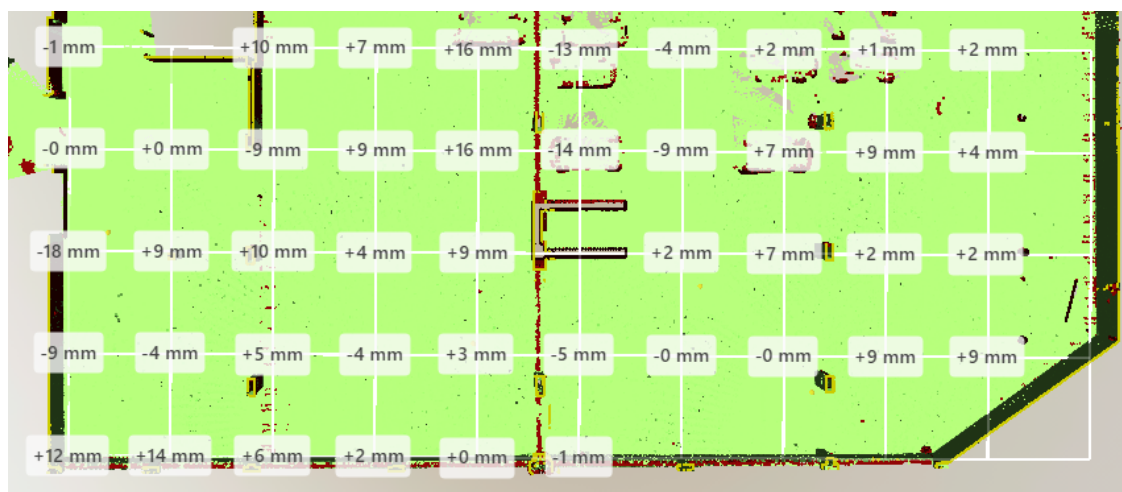


Figur 8.4: Skjermdump fra Imero som viser høydeforskjellen på 40-50 mm

Property	Value
Model	I4H_ARK
Discipline	Architectural
Name	Tak-
Phase	Detaljprosjekt
Type	Hulldekke 400 mm, 40 mm asfalt 440
Type Name	Hulldekke 400 mm, 40 mm asfalt 440
Predefined Type	NOTDEFINED
Object Type	
Element Type	
Description	
Material	

Figur 8.5: Skjermdump fra Solibri som viser egenskapene til dekke

I teorien hadde ikke dette vært et problem dersom det hadde blitt foretatt kontinuerlige skanninger av parkeringskjelleren i forbindelse med oppføringen av bygget, da det hadde vært naturlig å 3D-laserskanne etter montasje av dekke og støp/montasje av søyler og vegger. På den måten ville en ha hatt ervervet punktskydata av eksempelvis dekkets oppbygning, som trolig hadde gjort sammenstillingsprosessen enklere og mer presis ettersom at asfaltdekke ikke hadde vært i veien. Figur 8.6 viser en analyse av gulvflathet gjennomført etter sammenstilling av punktsky og ARK og RIBprefab BIM-modeller. Her er ARK BIM-modellen deaktivert, hvilket tydeliggjør at punktskydekke er sammenstilt med hulldekke.



Figur 8.6: Analyse av gulvflathet etter sammenstilling av punktsky og ARK og RIBprefab BIM-modeller

## 8.5 Reversert modellering (Scan-to-BIM) - eksperiment

I dette delkapittelet diskuteres viktige momenter og oppdøkkende problemstillinger i forbindelse med den reverserte modelleringen av parkeringskjelleren ved UiA Campus Grimstad.

### 8.5.1 Undet Revit

Prosessen med reversert modellering (Scan-to-BIM) i Revit var på ingen måte en automatisk prosess med de programvarene og programvareutvidelsene gruppen hadde tilgjengelig. Det "eneste" Undet Revit kunne hjelpe med var å forsterke intensiteten til punktene i punktskyen, med det så menes det at den fremhev linjer der det var høy intensitet av punkter. På den måten fikk vi tydelige linjer der hvor vegger eller søyler skulle stå. Så med litt tegningsforståelse, og i vårt tilfelle Revit-kompetanse, så var læringsprosessen for punktsky til BIM med hjelp av Undet Revit veldig overkommelig.

En begrensning med Undet Revit var at den slet med å forstå hva som var hva, så da vi prøvde å fremheve linjene fikk vi inntrykk av at programvaren trodde bygget sluttet der hvor det var bjelker i taket. Dermed var det deler av bygget som ikke fikk opprettet rastervisninger. Det ble forsøkt å oppdrive litteratur og andre læringsressurser for å løse dette problemet, men det lyktes ikke å finne relevante referanser på dette området. Følgelig måtte vi rett og slett prøve og feile. Dersom vi ikke hadde klart å løse dette problemet, hadde bruken av Undet Revit vært bortkastet å bruke, da opprettelse av rastervisninger er helt essensielt i prosessen med reversert modellering i Undet Revit. Etter mye om og men ble løsningen å eksportere omtrent 90 % av punktskyen i TBC til Undet Indexer, uten å vaske punktskyen i TBC. Da Undet Revit fikk flere punkter i ulike etasjer, klarte den uten problemer å opprette rastervisninger av hele fokusområdet. Det er uvisst om dette er et gjennomgående problem med Undet Revit, men det råder liten tvil om at dette var avgjørende for å benytte Undet Revit i dette eksperimentet.

### 8.5.2 Nøyaktighet på modellert som-bygget BIM-modell

For å evaluere nøyaktigheten til den modellerte som-bygget BIM-modellen, ble den endelige modellen sammenlignet med punktskyen. Resultatet av denne analysen fremkommer i Figur 7.22. Her er store deler av BIM-modellen farget mørkegrønt, hvilket indikerer at forskjellen mellom modellen og punktskyen er minimale (se Figur 7.20 for forklaring av varmekartet). På bakgrunn av at det ble modellert rette streker etter en punktsky, skulle i teorien hele modellen hatt samme farge da bygget er oppført med utgangspunkt i som-planlagt BIM-modell som følger rette akser. Derfor kan felt med fargeforskjeller i Figur 7.22 tyde på at det eksisterer skjevheter og høydeforskjeller i blant annet asfaltdekke og deler av betongveggene. Hadde vi, på den andre siden, hatt kontinuerlige områder med lysegrønn eller gul farge, kunne dette tyde på at avvikene skyldes dårlig modellering. Videre viser 7.22 at den ene veggen er farget rød, denne fargekoden viser et avvik på mellom 60 og 99 mm. Dette avviket skyldes at denne delen av veggen ikke ble skannet, men på grunn av at vi ga veggen en tykkelse så sammenlignes den med punktene på veggens innside. Avslutningsvis er det også noen gule områder på modellen, særlig på fasadeveggen ytterside. Årsaken til dette kan være at veggen er skjev eller at det er unøyaktigheter i innsamlet punktskydata på grunn av dårlig sikt og/eller skannevinkel (mer om dette i underkapittel 8.1.4).

Med utgangspunkt i den utførte analysen kunne vi evaluere gruppens evne til å modellere etter en innsamlet punktsky, og som det fremgår av Figur 7.22 er den utarbeidede som-bygget BIM-modellen svært nøyaktig (med unntak av enkelte områder der avvikene ligger på mellom +30-60 mm). På så måte bekrefter den reverserte modelleringen utført i dette eksperimentet funnene i [100, 101], der reversert modellering ble brukt til å lage som-er digitale modeller av verneverdige bygninger. Likevel er det viktig å understreke at parkeringskjelleren relativt sett er nokså liten og enkelt utformet, og følgelig hadde det vært interessant og testet prosessen på et større og mer komplekst bygg.

## 8.6 Web-baserte plattformer kontra desktop-programvarer

Selv om vi midt under eksperimentet endte opp med å oppgradere PC-en på grunn av for dårlig ytelse, viste det seg at ytelsen på den nye PC-en også kunne vært noe bedre. PC-en krasjet stadig vekk på grunn av for lite minne (RAM) og at benyttede programvarer krevde mye av skjermkortet (GPU) (se Tabell 5.3 for spesifikasjonene til den stasjonære datamaskinen benyttet i dette eksperimentet). Utfordringer knyttet til PC-ytelse er ikke-eksisterende for web-baserte plattformer som Imerso, ergo denne problematikken gjelder kun for desktop-programvarene som ble brukt i eksperimentet (Autodesk Revit/Undet Revit, Undet Indexer, CloudCompare og Solibri). Det var særlig i forbindelse med kontrollering av ferdig registrert og vasket punktsky i CloudCompare at PC-en slet, da programvaren ved flere anledninger forårsaket at PC-en krasjet.

Den ovennevnte problemstillingen understreker en av de viktigste fordelene med web-baserte plattformer som Imerso. I tillegg blir oppdateringer og vedlikehold automatisk distribuert til brukeren, ergo det er ikke behov for å laste ned og installere oppdateringer manuelt. Dette opplevde vi ved flere anledninger underveis i prosjektet, da innrapporterte "bugs" ble rettet opp i raskt og nye funksjoner

ble gjort tilgjengelig i Imerso. Et eksempel på sistnevnte er den utførte veggflathet-målingen med analyseverktøyet Skann-avvik (se Figur 7.14); denne funksjonen ble først tilgjengelig mot slutten av prosjektperioden.

En annen markant fordel med Imerso var at det i teorien ikke var behov for å vaske punkttskyen før import til plattformen. I litteraturen og i intervjuene fikk vi inntrykk av at vasking av punkttsky var et essensielt steg i bearbeidingsprosessen, men under innføringsmøtet med Imerso ble det poengtert at dette strengt tatt ikke var nødvendig grunnet blant annet den nyttige funksjonen ”Skjul punkter utenfor tolleranse” illustrert i Figur 7.19. Denne funksjonen, i kombinasjon med opprettelse av snitt og bruk av grensebokser, eliminerte på sett og vis behovet for å vaske innsamlet punktskydata. Dette hadde en effektiviserende effekt ved at tidsbruken i bearbeidingsprosessen ble redusert.

## 8.7 Begrensninger ved det gjennomførte eksperimentet

Det er flere identifiserte begrensninger med det gjennomførte eksperimentet. Under beskrives disse i korte trekk:

- Tilgang på 3D-laserskanner: Selv om vi fikk låne en 3D-laserskanner av SITECH Norway, fikk vi bare låne den i én dag. Dette førte til at vi bare fikk skannet omtrent 25 % av parkeringskjelleren. Dersom vi hadde hatt tilgang på en 3D-laserskanner over en lengre periode, ville det vært interessant og høyaktuelt å skanne hele parkeringskjelleren. Dette for å øke kompleksiteten av skannejobben (større fokusområde og/eller høyere punktskykvalitet) og dataprosesseringen i etterkant.
- Programvare: I det gjennomførte eksperimentet ble et nokså snevert utvalg av tilgjengelig programvare benyttet. Hadde vi hatt mer tid tilgjengelig, ville det vært interessant å undersøke og bruke et større utvalg av programvarer til å utføre prosessene reversert modellering (Scan-to-BIM) og punkttsky mot BIM (Scan-vs-BIM).
- 3D-laserskanning under produksjon: I det gjennomførte eksperimentet var det kun et allerede oppført bygg som ble 3D-laserskannet. Dersom vi i tillegg hadde kontinuerlig skannet et bygg under produksjon, ville det vært mulig å undersøke prosessen punkttsky mot BIM (Scan-vs-BIM) i større grad.

## 9 | Konklusjon

På oppdrag fra Universitetet i Agder er det utarbeidet en oppgave med formål om å øke forståelsen av bruksområder, muligheter og begrensninger ved bruken av 3D-laserskanning i byggebransjen. I dette kapittelet svares det på forskerspørsmålet og dets delspørsmål formulert i kapittel 4.

### 9.1 Delspørsmål

#### 9.1.1 Hva kan 3D-laserskanning brukes til i produksjonen av bygg?

Basert på funn i denne hovedfagsoppgaven kan en konkludere med at 3D-laserskanning har et bredt spekter av bruksområder i produksjonen av bygg, disse er:

- **Kvalitetskontroll:** 3D-laserskanning er et svært presist og effektivt verktøy til å kontrollere produksjon og montasje av prefabrikerte bygningselementer og utført arbeid på byggeplass.
- **Avviksdeteksjon:** Ved å bruke 3D-laserskanning vil avvik detekteres tidligere og mer effektivt sammenlignet med konvensjonelle metoder.
- **Reversert modellering (Scan-to-BIM):** Med innsamlet punktskydata vha. 3D-laserskanning har man et utmerket grunnlag for 3D-modellering av som-bygget BIM-modell der dette er fraværende/manglende.
- **Dokumentasjon:** Innsamlet punktskydata vha. 3D-laserskanning bidrar til bedre og mer omfattende som-bygget dokumentasjon av alle byggets faser.
- **Strukturell evaluering av eksisterende bygg:** Innsamlet punktskydata vha. 3D-laserskanning muliggjør nøyaktige strukturelle evalueringer av bygningskomponenter.
- **Fremdriftsovervåking:** Sammenligning av som-planlagt BIM-modell og som-bygget BIM-modell (basert på innsamlet punktskydata vha. 3D-laserskanning) muliggjør sporing av fremdriften i byggeprosjekter.

#### 9.1.2 Hvordan vil bruken av 3D-laserskanning påvirke arbeidsflyten i produksjonen av bygg?

Basert på funn i denne hovedfagsoppgaven vil bruken av 3D-laserskanning i produksjonen av bygg forbedre samhandlingen og informasjonsflyten mellom sentrale aktører i produksjonsfasen, samt bidra til et forbedret prosjekteringsgrunnlag. Detekterte avvik kan med dagens BIM-praksis distribueres raskt til relevante fagfelt, og tilgjengelige analyser i programvarer som Imerso har en visualiserende effekt som gir en god oversikt over potensielle problemer og/eller utfordringer. Videre stimulerer innsamlet punktskydata vha. 3D-laserskanning tverrfaglig samarbeid og problemløsning ved at en besitter et presist og objektivt prosjekteringsgrunnlag, som potensielt vil gi et bedre prosjekteringsunderlag.

Videre viser funn at det er essensielt å definere formålet med implementeringen av teknologien, slik at 3D-laserskanning ikke bare blir et nytt tilleggsmoment som prosjektdeltakere må forholde seg til og lære seg uten at det har en positiv virkningsfull effekt på arbeidsflyten i prosjekter.

#### 9.1.3 Hvilke kompetansebehov kreves for å ta i bruk 3D-laserskanningsutstyr og tilhørende programvare?

Basert på funn fra de gjennomførte intervjuene og det gjennomførte eksperimentet konkluderes det med at kompetansebehovet for å anvende en 3D-laserskanner er minimalt utover grunnleggende tekniske ferdigheter, der det eventuelle opplæringsbehovet kan dekkes med en kort opplæringsseanse av kompetent personell innad i virksomheten. Den viktigste suksessfaktoren for å sikre en tidseffektiv

innsamling av data som ivaretar tilstrekkelig punktskykvalitet er brukerens erfaring. I forbindelse med georefering av punktskydata, er det fordelaktig å ha kjennskap til grunnleggende geomatikk.

Hva gjelder prosessering av punktskydata, konkluderes det med at brukeren må evne å anvende utvalgte CAD- og/eller BIM-verktøy. Videre er det essensielt med en god byggteknisk forståelse, både i forbindelse med reversert modellering (Scan-to-BIM) og analysering av punktsky mot BIM (Scan-vs-BIM). En god byggteknisk forståelse ansees som opplagt for ingeniører som jobber med produksjonen av bygg.

## 9.2 Begrensninger

Basert på funn i denne hovedfagsoppgaven er det identifisert noen begrensninger tilknyttet bruken av 3D-laserskanning i produksjonen av bygg. Disse er gjengitt under:

- Mye dødtid ifm. filimport og -eksport og registrering.
- Forstyrrelser på byggeplass som genererer støy i innsamlet punktskydata.
- Effektiv visualisering og prosessering av innsamlet punktskydata krever god PC-ytelse.
- Ved utendørs 3D-laserskanning gir nedbør unøyaktige og manglende resultater.
- Reflekterende og blanke overflater er krevende eller umulig å laserskanne.
- Manglende interoperabilitet.

## 9.3 Hvordan kan 3D-laserskanning brukes til å effektivisere produksjonen av bygg?

Basert på de ovennevnte svarene på hovedfagsoppgavens delspørsmål, gis det i dette delkapittelet svar på det overordnede forskerspørsmålet. Det er valgt å skille mellom allerede oppførte bygg og bygg under konstruksjon/nybygg.

### 9.3.1 Allerede oppførte bygg som har rehabiliteringsbehov eller som mangler dokumentasjonsunderlag

3D-laserskanning kan brukes til å effektivisere og forbedre dokumentering av allerede oppførte bygg der dokumentasjon er manglende eller fraværende ved å bruke innsamlet punktskydata som et presist grunnlag for modellering av som-er BIM-modell. Denne dokumentasjonen kan også brukes som et presist og objektivt prosjekteringsgrunnlag dersom det foreligger rehabiliteringsbehov, eller til å foreta nøyaktige strukturelle evalueringer. Avslutningsvis konkluderes det med at innsamlet punktskydata vha. 3D-laserskanning stimulerer tverrfaglig samarbeid og problemløsning, som gir et prosjekteringsunderlag av høyere kvalitet.

### 9.3.2 Bygg under konstruksjon og nybygg

3D-laserskanning er et utmerket verktøy til å kontrollere produksjon og montasje av prefabrikerte bygningselementer og utført arbeid på byggeplass, og avvik detekteres tidligere og mer effektivt sammenlignet med konvensjonelle metoder. På så måte er det en mannskapseffektiv ressurs som reduserer sannsynligheten for at avvik som er krevende å se med det blotte øyet blir oversett, som gir mindre kostnadsoverskridelser og mer flyt i produksjonen. Kontinuerlig innsamling av punktskydata muliggjør oppdaterte som-bygget BIM-modeller som kan brukes til å spore fremdriften og utarbeide nøyaktige og komplette som-bygget BIM-modeller til bruk i FDV-fasen.

For at det skal være hensiktsmessig å sammenligne punktskydata mot BIM, er det helt essensielt med komplette som-planlagte BIM-modeller. Basert på funn i det gjennomførte eksperimentet konkluderes det med at nye brukere som kan anvende utvalgte CAD- og/eller BIM-verktøy, har en god byggteknisk forståelse og har grunnleggende tekniske ferdigheter er godt skodd for å ta i bruk 3D-laserskanningsutstyr og tilhørende programvare.



## 10 | Anbefalinger

I arbeidet med hovedfagsoppgaven er det identifisert flere interessante områder som bør studeres videre. I dette kapitlet presenteres disse.

Når 3D-laserskanningsutstyr og tilhørende programvare blir tilgjengelig på UiA, bør det gjennomføres prosjekter for å studere prosessen med reversert modellering (Scan-to-BIM) av mer omfattende karakter enn deler av parkeringskjelleren ved UiA Campus Grimstad. Det er tydelige mangler i som-bygget dokumentasjonen som ble tilgjengeliggjort i dette prosjektet, og følgelig hadde det vært interessant å undersøke hvordan en kan oppdatere BIM-modellen vha. innsamlet punktskydata. I denne sammenheng vil det også være interessant å undersøke effekten av optimaliserte og/eller automatiserte skanneplaner. I tillegg kartla det gjennomførte eksperimentet at det finnes et rikt utvalg av programvarer som kan benyttes til å prosessere og analysere innsamlet punktskydata. Følgelig hadde det vært nyttig å studere utvalget av programvare i den hensikt å identifisere muligheter og begrensinger med programvarene på markedet.

Funn i intervjuene tyder på at det primært er entreprenør og byggherre som har begynt å ta i bruk laserskanningsteknologi i produksjonen av bygg. Følgelig bør det forskes på om rådgiverbransjen også kan dra nytte av verktøyet i prosjekteringsfasen. Rådgiverbransjen ble forsøkt kontaktet i dette prosjektet, men det lyktes ikke å rekruttere intervjuobjekter fra denne aktøren.

Denne oppgaven har i all hovedsak fokusert på bruken av stasjonær 3D-laserskanner i produksjonen av bygg. Funn i det innledende litteratursøket indikerer at det er et stort potensial til å kombinere laserskanning eller fotogrammetri med annen "state-of-the-art" teknologi for å automatisere og/eller effektivisere innsamlingen av data. Eksempler på dette kan være roboter eller droner.

Funn i intervjuene viser at det er et stort potensial til å lage frontede fremdriftsplaner vha. 3D-skanning og kunstig intelligens. Dette hadde vært et særs interessant område å studere, da det kan ha en markant påvirkning på hvordan vi planlegger og gjennomfører byggeprosjekter i fremtiden. I denne sammenheng vil det også være relevant å studere hvordan en kan bruke kunstig intelligens til å prosessere innsamlet punktskydata, herunder automatisk objektgjenkjenning av bygningselementer.

Avslutningsvis ønsker vi å understreke ovenfor oppdragsgiver, UiA, at vi er overbevist om at læringsutbytte ved å ta i bruk 3D-laserskanner i undervisningsopplegget vil være enormt på flere områder.

## 11 | Referanser

- [1] H. Nassereddine, “Construction 4.0: A roadmap to shaping the future of construction,” pp. 1314–1321, 2020/10/14 2020. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/344779412\\_Construction\\_40\\_A\\_Roadmap\\_to\\_Shaping\\_the\\_Future\\_of\\_Construction](https://www.researchgate.net/publication/344779412_Construction_40_A_Roadmap_to_Shaping_the_Future_of_Construction)
- [2] N. Astrup, “Digitalisation for development digital strategy for norwegian development policy,” Norwegian Ministry of Foreign Affairs, Report, u.d. u.å. [Online]. Available: [https://www.regjeringen.no/globalassets/departementene/ud/dokumenter/utvpolitikk/digital\\_strategynew.pdf](https://www.regjeringen.no/globalassets/departementene/ud/dokumenter/utvpolitikk/digital_strategynew.pdf)
- [3] M. Blikstad-Balas, A. Roe, C. P. Dalland, and K. Klette, *Homeschooling in Norway During the Pandemic-Digital Learning with Unequal Access to Qualified Help at Home and Unequal Learning Opportunities Provided by the School*. Cham: Springer International Publishing, 2022, pp. 177–201. [Online]. Available: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-81500-4\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-030-81500-4_7)
- [4] B. Økland, “Kronikk: Bygg en bedre klimafremtid,” 2020. [Online]. Available: <https://constructioncity.no/nb/artikkel/building-a-more-sustainable-future>
- [5] Statsbygg, “Bim,” u.å. [Online]. Available: <https://www.statsbygg.no/bim>
- [6] M. Ehm and C. Hesse, “3d-laserscanning zur erfassung von gebäuden – building information modeling (bim),” *Bautechnik*, vol. 91, no. 4, pp. 243–250, 2014. [Online]. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/bate.201400021>
- [7] A. O. Ask and E. Hurum, “Dette vet vi om katastrofebrannen i notre-dame,” 2019. [Online]. Available: <https://www.aftenposten.no/verden/i/BRM0a7/dette-vet-vi-om-katastrofebrannen-i-notre-dame>
- [8] T. Nace, “We have beautiful 3-d laser maps of every detail of notre dame,” 2019. [Online]. Available: <https://www.forbes.com/sites/trevornace/2019/04/16/we-have-beautiful-3d-laser-maps-of-every-detail-of-notre-dame/>
- [9] H. Brombach, “Notre-dame var 3d-skannet på millimeternivå,” 2019. [Online]. Available: <https://www.digi.no/artikler/notre-dame-var-3d-skannet-pa-millimeterniva/463213>
- [10] R. M. Vidal, *Geometry and construction of the severies of the vaults in the Cathedral of Notre Dame de Paris*. CRC Press, 2021, pp. 341–348. [Online]. Available: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/oa-edit/10.1201/9781003173434-156/geometry-construction-severies-vaults-cathedral-notre-dame-de-paris-maira-vidal>
- [11] S. Pedersen, O. Grønvik, M. Rødal, S. Bjørberg, J. Mattsson, Kristoffer, Midttømme, and R. Sæterøy, “Omfang av byggfeil i norge,” Direktoratet for byggkvalitet, Report, 2022. [Online]. Available: <https://dibk.no/om-oss/Nyhetsarkiv/kartlegging-viser-mange-byggfeil-pa-boliger>
- [12] B. Ozorhon, C. Abbott, G. Aouad, and J. Powell, “Innovation in construction: A project life cycle approach,” *Salford Centre for Research and Innovation in the Built Environment (SCRI) Research Report*, vol. 4, pp. 903–1012, 2010.
- [13] R. Agarwal, S. Chandrasekaran, and M. Sridhar, “Imagining construction’s digital future,” *McKinsey & Company*, vol. 24, 2016. [Online]. Available: <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/imagining-constructions-digital-future>
- [14] S. sentralbyrå, “Produktivitetsfall i bygg og anlegg,” 2018. [Online]. Available: <https://www.ssb.no/bygg-bolig-og-eiendom/artikler-og-publikasjoner/produktivitsfall-i-bygg-og-anlegg>
- [15] ZERO, “Bygg og anlegg,” u.å. [Online]. Available: <https://zero.no/fagomrade/bygg-og-anlegg/>

- [16] Telenor, “Eiendomsteknologi - knytter it og bygg sammen,” u.å. [Online]. Available: <https://www.telenor.no/bedrift/digitalisering/smarte-bygg/>
- [17] S. S. Strand, “Vegvesenet signerte millionavtale med proptech-selskap,” 2023. [Online]. Available: [https://www.bygg.no/vegvesenet-signerte-millionavtale-med-proptech-selskap/1517979!/?](https://www.bygg.no/vegvesenet-signerte-millionavtale-med-proptech-selskap/1517979!/)
- [18] A. S. Midling, “Derfor må vi gjenbruke gamle bygg fremfor å rive,” 2022. [Online]. Available: <https://forskning.no/bygningsmaterialer-ntnu-partner/derfor-ma-vi-gjenbruke-gamle-bygg-fremfor-a-rive/1980135>
- [19] S. Goubran, “On the role of construction in achieving the sdgs,” *Journal of Sustainability Research*, vol. 1, no. 2, p. e190020, 2019. [Online]. Available: [https://sustainability.hapres.com/htmls/JSR\\_1126\\_Detail.html](https://sustainability.hapres.com/htmls/JSR_1126_Detail.html)
- [20] W. Fei, A. Opoku, K. Agyekum, J. A. Oppon, V. Ahmed, C. Chen, and K. L. Lok, “The critical role of the construction industry in achieving the sustainable development goals (sdgs): Delivering projects for the common good,” *Sustainability*, vol. 13, no. 16, p. 9112, 2021. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/16/9112>
- [21] FN-sambandet, “Fns bærekraftsmål,” 2023. [Online]. Available: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal>
- [22] —, “Industri, innovasjon og infrastruktur,” 2023. [Online]. Available: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/industri-innovasjon-og-infrastruktur>
- [23] A. Karmakar and V. S. K. Delhi, “Construction 4.0: what we know and where we are headed?” *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 26, pp. 526–545, 2021. [Online]. Available: <https://dx.doi.org/10.36680/j.itcon.2021.028>
- [24] FN-sambandet, “Bærekraftige byer og lokalsamfunn,” 2023. [Online]. Available: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/baerekraftige-byer-og-lokalsamfunn>
- [25] V. Schwach, H. Karlstrøm, and S. M. Svartefoss, “Økende vitenskapsproduksjon på engelsk i forvaltningen,” *Stat & Styring*, vol. 32, no. 4, pp. 52–55, 2022, doi: 10.18261/stat.32.4.14. [Online]. Available: <https://doi.org/10.18261/stat.32.4.14>
- [26] U. og høyskoleloven – uhl, “Lov om universiteter og høyskoler (universitets- og høyskoleloven),” 2005. [Online]. Available: [https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2005-04-01-15#KAPITTEL\\_1](https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2005-04-01-15#KAPITTEL_1)
- [27] M. W. Anker-Nilssen, A. Haugen, T. Holme, A. Landøy, B. Mundal, O. S. Olaniyan, T. Røst, and S. H. Pedersen, “Tilstandsrapport for høyere utdanning 2022,” Direktoratet for høyere utdanning og kompetanse, Report, 30.04.2023, 2022. [Online]. Available: <https://hkdir.no/rapportar/tilstandsrapport-for-hoeyere-utdanning-2022>
- [28] E. Forcael, I. Ferrari, A. Opazo-Vega, and J. A. Pulido-Arcas, “Construction 4.0: A literature review,” *Sustainability*, vol. 12, no. 22, p. 9755, 2020. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/22/9755>
- [29] H. Øverby, “Tingenes internett,” 2021. [Online]. Available: [https://snl.no/tingenes\\_internett](https://snl.no/tingenes_internett)
- [30] K. Martinsen, “den fjerde industrielle revolusjon,” 2022. [Online]. Available: [https://snl.no/den\\_fjerde\\_industrielle\\_revolusjon](https://snl.no/den_fjerde_industrielle_revolusjon)
- [31] R. Klinc and Z. Turk, “Construction 4.0 – digital transformation of one of the oldest industries,” *Economic and Business Review*, vol. 21, 2019.
- [32] R. Prieto, “Construction-4.0,” *NAC Executive Insight*, 2021. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/348690890\\_Construction-40](https://www.researchgate.net/publication/348690890_Construction-40)

- [33] J. Kennedy, “Construction 4.0—what it is and how to get ready,” u. å. [Online]. Available: <https://www.procurementexpress.com/project-management/construction-4-0-get-ready/>
- [34] K. Osmundsen, J. Iden, and B. Bygstad, “Hva er digitalisering, digital innovasjon og digital transformasjon?” 2018. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/329443799\\_Hva\\_er\\_digitalisering\\_digital\\_innovasjon\\_og\\_digital\\_transformasjon](https://www.researchgate.net/publication/329443799_Hva_er_digitalisering_digital_innovasjon_og_digital_transformasjon)
- [35] Regjeringen, “Digitalisering i offentlig sektor,” 2014. [Online]. Available: <https://www.regjeringen.no/no/tema/statlig-forvaltning/ikt-politikk/digitaliseringen-i-offentlig-sektor/id2340245/>
- [36] M. Economidou, B. Atanasiu, C. Despret, J. Maio, I. Nolte, O. Rapf, J. Laustsen, P. Ruyssevelt, D. Staniaszek, and D. Strong, *Europe’s buildings under the microscope. A country-by-country review of the energy performance of buildings*. Buildings Performance Institute Europe, 2011. [Online]. Available: [https://bpie.eu/wp-content/uploads/2015/10/HR\\_EU\\_B\\_under\\_microscope\\_study.pdf](https://bpie.eu/wp-content/uploads/2015/10/HR_EU_B_under_microscope_study.pdf)
- [37] V. Badenko, A. Fedotov, D. Zotov, S. Lytkin, D. Volgin, R. Garg, and M. Liu, “Scan-to-bim methodology adapted for different application,” *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. 42, pp. 1–7, 2019. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/335954135\\_SCAN-TO-BIM\\_METHODODOLOGY\\_ADAPTED\\_FOR\\_DIFFERENT\\_APPLICATION](https://www.researchgate.net/publication/335954135_SCAN-TO-BIM_METHODODOLOGY_ADAPTED_FOR_DIFFERENT_APPLICATION)
- [38] G. Rocha, L. Mateus, J. Fernández, and V. Ferreira, “A scan-to-bim methodology applied to heritage buildings,” *Heritage*, vol. 3, no. 1, pp. 47–67, 2020.
- [39] M. Ebrahim, “3d laser scanners: History, applications, and future,” *Lap Lambert Academic Publishing*, 2014. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/267037683\\_3D\\_LASER\\_SCANNERS\\_HISTORY\\_APPLICATIONS\\_AND\\_FUTURE](https://www.researchgate.net/publication/267037683_3D_LASER_SCANNERS_HISTORY_APPLICATIONS_AND_FUTURE)
- [40] FARO, “Understanding laser scanner,” 27.02.2023 u. å. [Online]. Available: <https://www.faro.com/en/Resource-Library/Article/understanding-laser-scanners>
- [41] S. Golubeva, “What is laser 3d scanning?” 2022. [Online]. Available: <https://www.artec3d.com/learning-center/laser-3d-scanning>
- [42] L. Cheng, S. Chen, X. Liu, H. Xu, Y. Wu, M. Li, and Y. Chen, “Registration of laser scanning point clouds: A review,” *Sensors (Basel)*, vol. 18, no. 5, 2018, 1424–8220 Cheng, Liang Chen, Song Liu, Xiaoqiang Orcid: 0000-0002-9319-7011 Xu, Hao Wu, Yang Li, Manchun Chen, Yanming Orcid: 0000-0002-6075-3683 Journal Article Review Switzerland 2018/06/09 Sensors (Basel). 2018 May 21;18(5):1641. doi: 10.3390/s18051641. [Online]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5981425/>
- [43] C. Dore and M. Murphy, “Current state of the art historic building information modelling,” *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, vol. XLII-2/W5, pp. 185–192, 2017, iSPRS-Archives. [Online]. Available: <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLII-2-W5/185/2017/>
- [44] B. O’Neill, “Point clouds explained: scanning, processing, 3d models,” 02.03.2023 2022. [Online]. Available: <https://www.wevolver.com/article/point-clouds-explained-scanning-processing-3d-models>
- [45] C. Kwiatek, M. Sharif, S. Li, C. Haas, and S. Walbridge, “Impact of augmented reality and spatial cognition on assembly in construction,” *Automation in Construction*, vol. 108, p. 102935, 2019. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580518312482>

- [46] Q. Wang, J. Guo, and M.-K. Kim, “An application oriented scan-to-bim framework,” *Remote Sensing*, vol. 11, no. 3, p. 365, 2019. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2072-4292/11/3/365>
- [47] N. Somani, “Applications of 3d laser scanning in bim,” 2021. [Online]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/applications-3d-laser-scanning-bim-neha-somani/>
- [48] C. Wu, Y. Yuan, Y. Tang, and B. Tian, “Application of terrestrial laser scanning (tls) in the architecture, engineering and construction (aec) industry,” *Sensors*, vol. 22, no. 1, p. 265, 2022. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/1/265>
- [49] Bygg.no, “Statsbygg fornyer sitt bim-løfte,” 2011. [Online]. Available: <https://www.bygg.no/statsbygg-fornyere-sitt-bim-lofte/80647/>
- [50] Statsbygg, “Om oss,” 2023. [Online]. Available: <https://www.statsbygg.no/om-oss>
- [51] A. Ahmad Latiffi, J. Brahim, and M. S. Fathi, “The development of building information modeling (bim) definition,” *Applied Mechanics and Materials*, vol. Volume 567, pp. 625–630, 2014.
- [52] E. Hjelseth, “Bim understanding and activities,” *WIT Transactions on the Built Environment*, vol. 169, pp. 3–14, 2017.
- [53] R. Sacks, C. Eastman, G. Lee, and P. Teicholz, *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers*. John Wiley & Sons, Inc, 2018.
- [54] E. ENGINEERING, “Bim vs cad: Which is better for construction projects?” 2023. [Online]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/bim-vs-cad-which-better-construction/>
- [55] T. Construction, “What’s the difference between 3d cad, bim and vdc?” 2022. [Online]. Available: <https://constructible.trimble.com/construction-industry/whats-the-difference-between-3d-cad-bim-and-vdc>
- [56] bimspot, “How does ifc work?” 2023. [Online]. Available: <https://www.bimspot.io/blogs/how-does-ifc-file-work/>
- [57] J. Ingram, *Understanding BIM: The past, present and future*. Routledge, 2020.
- [58] “Bsi kitemark for bim objects,” 2023. [Online]. Available: <https://www.bsigroup.com/nl-NL/Building-Information-Modelling-BIM/bim-objects/>
- [59] D. Pica and F. H. Abanda, “Emerging bim-3d-laser scanning integration in construction practice,” in *Collaboration and Integration in Construction, Engineering, Management and Technology: Proceedings of the 11th International Conference on Construction in the 21st Century, London 2019*. Springer, 2022, Conference Proceedings, pp. 345–350.
- [60] R. Charef, H. Alaka, and S. Emmitt, “Beyond the third dimension of bim: A systematic review of literature and assessment of professional views,” *Journal of Building Engineering*, vol. 19, pp. 242–257, 2018. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710217306320>
- [61] BibLus, “The dimensions of bim – 3d, 4d, 5d, 6d, 7d, 8d, 9d, 10d bim explained,” 2018. [Online]. Available: <https://biblus.accasoftware.com/en/bim-dimensions/>
- [62] BuildingSMART, “What we do,” 2023. [Online]. Available: <https://www.buildingsmart.org/about/what-we-do/>
- [63] B. Norway, “Om oss,” 2023. [Online]. Available: <https://buildingsmart.no/>

- [64] BuildingSMART, “What is openbim?” 2023. [Online]. Available: <https://www.buildingsmart.org/about/openbim/openbim-definition/>
- [65] —, “Who we are,” 2023. [Online]. Available: <https://www.buildingsmart.org/about/who-we-are/>
- [66] K. Köhler, “Open versus closed bim—different planning approaches and their importance for the planning process of municipalities,” *PEFnet*, vol. 23, pp. 69–71, 2019.
- [67] K. Martinsen, “Digital tvilling,” 2022. [Online]. Available: [https://snl.no/digital\\_tvilling](https://snl.no/digital_tvilling)
- [68] M. Enders and N. Hoßbach, “Dimensions of digital twin applications - a literature review,” 2019. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/359715537\\_Dimensions\\_of\\_Digital\\_Twin\\_Applications\\_-\\_A\\_Literature\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/359715537_Dimensions_of_Digital_Twin_Applications_-_A_Literature_Review)
- [69] 2022. [Online]. Available: <https://news.sap.com/norway/2022/01/stavabrua-varslet-om-kritisk-skade-ved-hjelp-av-iot-sensorer/>
- [70] Cyberbuild, “Scan-vs-bim,” 2023. [Online]. Available: <https://cyberbuild.eng.ed.ac.uk/projects/scan-vs-bim#:~:text=Scan-vs-BIM>
- [71] F. Bosché, M. Ahmed, Y. Turkan, C. T. Haas, and R. Haas, “The value of integrating scan-to-bim and scan-vs-bim techniques for construction monitoring using laser scanning and bim: The case of cylindrical mep components,” *Automation in Construction*, vol. 49, pp. 201–213, 2015. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580514001319>
- [72] D. for forvaltning og økonomistyring, “Byggeprosessen,” 15.05.2023 2022. [Online]. Available: <https://anskaffelser.no/anskaffelsesprosessen/byggeprosessen/overlevering-og-ibruktagelse-av-bygget-eller-anlegget>
- [73] P. Kim, J. Chen, and Y. K. Cho, “Slam-driven robotic mapping and registration of 3d point clouds,” *Automation in Construction*, vol. 89, pp. 38–48, 2018. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580517303990>
- [74] Veidekke, “Spot gjør skanning av tunnel sikrere og mer effektivt for veidekke,” u.å. [Online]. Available: <https://www.veidekke.no/aktuelt/nyheter-og-reportasjer/spot-gjor-skanning-av-tunnel-sikrere-og-mer-effektivt-for-veidekke/>
- [75] K. Skeide, N. Neuman, and H. Mæhle, “Bruk av kunstig intelligens i fremdriftsplanlegging,” 2022, uiA.
- [76] P. Aase and M. M. Egeland, “Optimalisering av 3d laserskanning for kvalitetssikring,” Thesis, 2022. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/11250/3014537>
- [77] Chaos, “Understanding mep in construction,” u.å. [Online]. Available: <https://enscape3d.com/understanding-mep-in-construction/#innovation>
- [78] T. Inc, “Trimble sx12 scanning total station,” 2021. [Online]. Available: [https://geospatial.trimble.com/sites/geospatial.trimble.com/files/2021-02/Datasheet%20-%20Trimble%20SX12%20-%20English%20US%20-%20Screen%20\(1\).pdf](https://geospatial.trimble.com/sites/geospatial.trimble.com/files/2021-02/Datasheet%20-%20Trimble%20SX12%20-%20English%20US%20-%20Screen%20(1).pdf)
- [79] F. Svartdal, “reliabilitet,” 2020. [Online]. Available: <https://snl.no/reliabilitet>
- [80] S. Dahlum, “validitet,” 2021. [Online]. Available: <https://snl.no/validitet>
- [81] R. L. A. Fellows, *Research Methods for Construction*. Wiley-Blackwell, 2009.
- [82] D. I. Jacobsen, *Hvordan gjennomføre undersøkelser?*, 4th ed. Oslo: Cappelen Damm akademisk, 2022.

- [83] B. I. Hovland, K. Bakken, O. Dale, W. Johnsen, T. Lunde, P. A. Melsom, J.-A. Skolbekken, V. S. Moeller, A. Staff, C. P. Ulrichsen, L. Vatten, and A. Wifstad, “Veiledning for forskningsetisk og vitenskapelig vurdering av kvalitative forskningsprosjekt innen medisin og helsefag,” *Kvalitative forskningsprosjekt innen medisin og helsefag (NEM)*, 2009. [Online]. Available: <https://www.forskningsetikk.no/retningslinjer/med-helse/vurdering-av-kvalitative-forskningsprosjekt-innen-medisin-og-helsefag/>
- [84] G. Paré and S. Kitsiou, *Methods for literature reviews*. University of Victoria, 2017. [Online]. Available: [https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK481590/pdf/Bookshelf\\_NBK481590.pdf](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK481590/pdf/Bookshelf_NBK481590.pdf)
- [85] Z. Munn, M. D. J. Peters, C. Stern, C. Tufanaru, A. McArthur, and E. Aromataris, “Systematic review or scoping review? guidance for authors when choosing between a systematic or scoping review approach,” *BMC Medical Research Methodology*, vol. 18, no. 1, p. 143, 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1186/s12874-018-0611-x>
- [86] A. C. Tricco, E. Lillie, W. Zarin, K. K. O’Brien, H. Colquhoun, D. Levac, D. Moher, M. D. Peters, T. Horsley, and L. Weeks, “Prisma extension for scoping reviews (prisma-scr): checklist and explanation,” *Annals of internal medicine*, vol. 169, no. 7, pp. 467–473, 2018.
- [87] D. Levac, H. Colquhoun, and K. K. O’Brien, “Scoping studies: advancing the methodology,” *Implementation Science*, vol. 5, no. 1, p. 69, 2010. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1186/1748-5908-5-69>
- [88] L. Rienecker, P. S. Jørgensen, and S. Skov, *The Good Paper: A Handbook for Writing Papers in Higher Education*. Samfundslitteratur, 2013. [Online]. Available: [https://books.google.no/books?hl=no&lr=&id=ECO1BOA9iUsC&oi=fnd&pg=PA15&dq=The+Good+Paper+-+A+Handbook+for+Writing+Papers+in+Higher+Education+&ots=vh0AD6dAyK&sig=NI3FBdl0XCXGM8e4Y5FTZjPkJfU&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.no/books?hl=no&lr=&id=ECO1BOA9iUsC&oi=fnd&pg=PA15&dq=The+Good+Paper+-+A+Handbook+for+Writing+Papers+in+Higher+Education+&ots=vh0AD6dAyK&sig=NI3FBdl0XCXGM8e4Y5FTZjPkJfU&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- [89] U. Biblioteket, “Søketeknikker - koble søkeord sammen og utføre søket,” 2023. [Online]. Available: <https://libguides.uia.no/helse/soketeknikker>
- [90] H. Library, “Citation chaining,” 2023. [Online]. Available: <https://guides.erau.edu/citation-chaining>
- [91] R. Prancutè, “Web of science (wos) and scopus: The titans of bibliographic information in today’s academic world,” *Publications*, vol. 9, no. 1, p. 12, 2021. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2304-6775/9/1/12>
- [92] J. Bosman, I. v. Mourik, M. Rasch, E. Sieverts, and H. Verhoeff, “Scopus reviewed and compared: The coverage and functionality of the citation database scopus, including comparisons with web of science and google scholar,” *Scopus reviewed and compared*, 2006. [Online]. Available: <https://dspace.library.uu.nl/handle/1874/18247>
- [93] M. Ouzzani, H. Hammady, Z. Fedorowicz, and A. Elmagarmid, “Rayyan—a web and mobile app for systematic reviews,” *Systematic Reviews*, vol. 5, no. 1, p. 210, 2016. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1186/s13643-016-0384-4>
- [94] G. Sivertsen, “Språk og vitenskapelig publisering,” 2021. [Online]. Available: <https://www.forskningsradet.no/indikatorrapporten/fokusartikler-og-dypdykk/sprak-og-vitenskapelig-publisering2/>
- [95] G. Andersen, “Kvalitative intervjuundersøkelser,” 2020. [Online]. Available: <https://ndla.no/nb/subject:1:54b1727c-2d91-4512-901c-8434e13339b4/topic:2:432baee9-5671-47ce-870e-48b8fc3b7a42/topic:2:1db7bf3c-3a7b-44af-b632-e3c5ff2a999e/resource:201ce19e-7011-49a6-b415-91fd42d5dfe9>

- [96] Sikt, “Avtaler om personverntjenester for forskning,” u.å. [Online]. Available: <https://sikt.no/avtaler-om-personverntjenester-forskning>
- [97] M. Teams, “Vis transkripsjon i sanntid i et teams-møte,” u.å. [Online]. Available: <https://support.microsoft.com/nb-no/office/vis-transkripsjon-i-sanntid-i-et-teams-m%C3%B8te-dc1a8f23-2e20-4684-885e-2152e06a4a8b>
- [98] S. Grønmo, “utvalg,” 2021. [Online]. Available: <https://snl.no/utvalg>
- [99] A. Queirós, D. Faria, and F. Almeida, “Strengths and limitations of qualitative and quantitative research methods,” *2017*, 2017. [Online]. Available: <https://oapub.org/edu/index.php/ejes/article/view/1017/2934>
- [100] G. Rocha, L. Mateus, J. Fernández, and V. Ferreira, “A scan-to-bim methodology applied to heritage buildings,” *Heritage*, vol. 3, no. 1, pp. 47–67, 2020. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2571-9408/3/1/4>
- [101] P. Martín-Lerones, D. Olmedo, A. López-Vidal, J. Gómez-García-Bermejo, and E. Zalama, “Bim supported surveying and imaging combination for heritage conservation,” *Remote Sensing*, vol. 13, no. 8, p. 1584, 2021. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2072-4292/13/8/1584>
- [102] H. Li, C. Zhang, S. Song, S. Demirkesen, and R. Chang, “Improving tolerance control on modular construction project with 3d laser scanning and bim: A case study of removable floodwall project,” *Applied Sciences*, vol. 10, no. 23, p. 8680, 2020. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/23/8680>
- [103] J. Wang, T. Yi, X. Liang, and T. Ueda, “Application of 3d laser scanning technology using laser radar system to error analysis in the curtain wall construction,” *Remote Sensing*, vol. 15, no. 1, p. 64, 2023. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2072-4292/15/1/64>
- [104] S. Kim, S. Kim, and D.-E. Lee, “Sustainable application of hybrid point cloud and bim method for tracking construction progress,” *Sustainability*, vol. 12, no. 10, p. 4106, 2020. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/10/4106>
- [105] A. Jang, Y. K. Ju, and M. J. Park, “Structural stability evaluation of existing buildings by reverse engineering with 3d laser scanner,” *Remote Sensing*, vol. 14, no. 10, p. 2325, 2022. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2072-4292/14/10/2325>
- [106] H. K. Biswas, “Automatic planning for scanning: Optimizing 3d laser scanning operations using bim and tls,” *IAENG International Journal of Computer Science*, vol. 46, no. 3, pp. 1–9, 2019, export Date: 01 March 2023; Cited By: 5. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85077172361&partnerID=40&md5=33ea2b6bd66e7582198b0e1492bf7c85>
- [107] R. Rashdi, J. Martínez-Sánchez, P. Arias, and Z. Qiu, “Scanning technologies to building information modelling: A review,” *Infrastructures*, vol. 7, no. 4, p. 49, 2022. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2412-3811/7/4/49>
- [108] Q. Qiu, M. Wang, X. Tang, and Q. Wang, “Scan planning for existing buildings without bim based on user-defined data quality requirements and genetic algorithm,” *Automation in Construction*, vol. 130, p. 103841, 2021. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580521002922>
- [109] M. Mitchell, *An introduction to genetic algorithms*. MIT press, 1998. [Online]. Available: [https://books.google.no/books?hl=no&lr=&id=0eznlz0TF-IC&oi=fnd&pg=IA2&dq=An+Introduction+to+Genetic+Algorithms&ots=siqF903cLk&sig=NA7NDVdOxrZkm46n\\_ZfCVBiH770&redir\\_esc=y#v=onepage&q=An%20Introduction%20to%20Genetic%20Algorithms&f=false](https://books.google.no/books?hl=no&lr=&id=0eznlz0TF-IC&oi=fnd&pg=IA2&dq=An+Introduction+to+Genetic+Algorithms&ots=siqF903cLk&sig=NA7NDVdOxrZkm46n_ZfCVBiH770&redir_esc=y#v=onepage&q=An%20Introduction%20to%20Genetic%20Algorithms&f=false)



- [110] V. Sanchez and A. Zakhor, “Planar 3d modeling of building interiors from point cloud data,” in *2012 19th IEEE International Conference on Image Processing*, 2012, Conference Proceedings, pp. 1777–1780. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6467225>
- [111] Imerso, “How to use the scan deviations tool,” 2023, tilgjengelig på plattformens hjelpesider. [Online]. Available: <https://www.imerso.com/>
- [112] T. J. Friberg, “Lang skrue ødela vannrør,” 2015. [Online]. Available: <https://www.innherred.no/nyheter/i/aWGVg7/lang-skrue-odela-vannror>
- [113] P. Dannevig and K. Harstveit, “klima i norge,” 2022. [Online]. Available: [https://snl.no/klima\\_i\\_Norge](https://snl.no/klima_i_Norge)
- [114] Imerso, “This is digital construction,” u.å. [Online]. Available: <https://www.imerso.com/product>

## 12 | Vedlegg

### 12.1 Vedlegg A - Prosjektbeskrivelse

#### 67. 3D-SCANNING

Oppdragsgiver: UiA



Bruken av digital teknologi øker stadig i BA-bransjen. En av disse teknologiene er å bruke 3D-scanning til å dokumentere hvordan verden «ser ut» - gjerne brukt sammen med BIM-modell, f eks for ifb med utarbeidelse av «as-built-dokumentasjon», for å få en korrekt modell av eksisterende bygningsmasse/anleggsplass før arbeider detaljplanlegges eller igangsettes osv.

Byggavdelingen ved UiA har søkt finansiering for å kjøpe inn 3D-skanner og tilhørende programvare i 2023. Vi har stor tro på at vi får dette. For å forberede bruken av denne ønsker jeg nå et studentprosjekt for å øke vår forståelse av bruksområder, muligheter og begrensninger. Dersom vi får midlene og utstyret leveres raskt nok, vil selvfølgelig utstyret bli tilgjengelig for bruk i studentprosjektet.

## 12.2 Vedlegg B - Informasjonsskriv samtykke

### Vil du delta i forskningsprosjektet

#### *3D-skanning – et nyttig verktøy til å effektivisere produksjonen av bygg? (Midlertidig tittel)*

Dette er et spørsmål til deg om å delta i et forskningsprosjekt hvor formålet er å øke forståelsen av bruksområder, muligheter og begrensninger ved bruken av 3D-skanning i byggebransjen. I dette skrivet gir vi deg informasjon om målene for prosjektet og hva deltakelse vil innebære for deg.

#### **Formål**

Denne masteroppgaven er en del av den avsluttende eksamen på masterstudiet i bygg ved Universitetet i Agder (UiA). Studien utføres av Andreas Kolås Helberg og Herman Alexander Mæhle, med UiA som oppdragsgiver. Oppgaven har et omfang på 30 studiepoeng, og den omhandler bruken av 3D-skanning til å effektivisere produksjonen av bygg. Prosjektets varighet strekker seg fra februar 2023 til juni 2023. Med utgangspunkt i det ovennevnte er følgende forskerspørsmål utarbeidet:

- Hvordan kan 3D-skanning brukes til å effektivisere produksjonen av bygg?

For å svare på det ovennevnte forskerspørsmålet er følgende underspørsmål utarbeidet:

- Hva kan 3D-skanning brukes til?
- Hvordan vil bruken av 3D-skanning påvirke arbeidsflyten i produksjonen?
- Hvilke kompetansebehov kreves for å ta i bruk 3D-skanningsutstyr og tilhørende programvare?

Opplysningene som fremkommer under intervjuet vil, i kombinasjon med et utvidet litteratursøk, bli brukt som et viktig grunnlag til å besvare det ovennevnte forskerspørsmålet og dets delspørsmål.

#### **Hvem er ansvarlig for forskningsprosjektet?**

Universitetet i Agder (UiA) er ansvarlig for prosjektet.

#### **Hvorfor får du spørsmål om å delta?**

Du får spørsmål om å delta i dette forskningsprosjektet grunnet at du jobber/har jobbet med 3D-skanning på byggeplass/anlegg eller i en annen næring der bruken av 3D-skanning har vært implementert i en lengre periode med gunstige utfall. Det er ønskelig med intervjuobjekter som har jobbet i BA-bransjen både før og etter teknologien først ble introdusert, slik at potensielle muligheter og begrensninger kan kartlegges. Sistnevnte er ikke et krav.

#### **Hva innebærer det for deg å delta?**

Dersom du velger å delta i forskningsprosjektet, innebærer det at du deltar i et semistrukturert intervju over Teams (digitalt) eller ansikt til ansikt. Et semistrukturert intervju er en kvalitativ intervjuundersøkelse, og kan best beskrives som en samtale mellom forskeren(e) og respondenten med utgangspunkt i noen forhåndsdefinerte spørsmål. Intervjuets varighet er estimert til ca. 1 time, og spørsmålene vi ønsker å stille er å finne i dokumentet «Semistrukturert intervjuguide». Det vil bli tatt lydopptak av intervjuet i den hensikt å unngå forstyrrelser som følge av notering underveis. Opplysninger om hvordan vi oppbevarer og bruker dine opplysninger er å finne under «Ditt personvern – hvordan vi oppbevarer og bruker dine opplysninger» under.

#### **Det er frivillig å delta**

Det er frivillig å delta i prosjektet. Hvis du velger å delta, kan du når som helst trekke samtykket tilbake uten å oppgi noen grunn. Alle dine personopplysninger vil da bli slettet. Det vil ikke ha noen negative konsekvenser for deg hvis du ikke vil delta eller senere velger å trekke deg.

### Ditt personvern – hvordan vi oppbevarer og bruker dine opplysninger

Vi vil bare bruke opplysningene om deg til formålene vi har fortalt om i dette skrivet. Vi behandler opplysningene konfidensielt og i samsvar med personvernregelverket. Som tidligere nevnt vil det bli tatt lydopptak av intervjuet. Under følger noen punkter som beskriver hvem som har tilgang til lydopptaket/opplysningene og hvordan vi vil sikre at ingen uvedkommende får tilgang til disse.

- Det er kun prosjektgruppen, herunder Andreas Kolås Helberg og Herman Alexander Mæhle, som vil ha tilgang til lydopptaket/opplysningene etter gjennomført intervju.
- For å sikre at ingen uvedkommende får tilgang til lydopptaket vil det bli lagret på en ekstern minnepenn, ergo så fort lydopptaket er lagret på minnepennen så vil det bli slettet fra den originale kilden. For å unngå at minnepennen havner på avveie, skal den til enhver tid befinne seg i en av prosjektgruppens hjem. Dette medfører at transkripsjon kun vil skje hjemmefra.
- Etter gjennomført intervju vil lydopptaket bli brukt til å transkribere intervjuet. Når dette er gjort vil deltaker bli tilsendt det transkriberte intervjuet slik at innholdet kan leses over og godkjennes.
- Deltaker vil ikke kunne gjenkjennes i publikasjonen. Det er kun opplysninger som er relevant for oppgavens forskerspørsmål som vil publiseres.

### Hva skjer med personopplysningene dine når forskningsprosjektet avsluttes?

Prosjektet vil etter planen avsluttes ved oppgavens innleveringsfrist (20.05.2023). Etter prosjektslutt vil datamaterialet slettes permanent.

### Hva gir oss rett til å behandle personopplysninger om deg?

Vi behandler opplysninger om deg basert på ditt samtykke.

På oppdrag fra Universitetet i Agder (UiA) har Sikt – Kunnskapssektorens tjenesteleverandør vurdert at behandlingen av personopplysninger i dette prosjektet er i samsvar med personvernregelverket.

### Dine rettigheter

Så lenge du kan identifiseres i datamaterialet, har du rett til:

- innsyn i hvilke opplysninger vi behandler om deg, og å få utlevert en kopi av opplysningene
- å få rettet opplysninger om deg som er feil eller misvisende
- å få slettet personopplysninger om deg
- å sende klage til Datatilsynet om behandlingen av dine personopplysninger

Hvis du har spørsmål til studien, eller ønsker å vite mer om eller benytte deg av dine rettigheter, ta kontakt med:

- Universitetet i Agder (UiA) ved Herman Alexander Mæhle (student):
  - E-postadresse: [hermanam@student.uia.no](mailto:hermanam@student.uia.no)
  - Tlf.: +47 941 46 202
- Universitetet i Agder (UiA) ved Andreas Kolås Helberg (student):
  - E-postadresse: [andreaskhe@student.uia.no](mailto:andreaskhe@student.uia.no)
  - Tlf.: +47 920 55 618
- Universitetet i Agder (UiA) ved Rein Terje Thorstensen (veileder):
  - E-postadresse: [rein.t.thorstensen@uia.no](mailto:rein.t.thorstensen@uia.no)
  - Tlf.: +47 909 32 669
- Vårt personvernombud: Trond Hauso:
  - E-postadresse: [trond.hauso@uia.no](mailto:trond.hauso@uia.no)
  - Tlf.: +47 936 01 625

Hvis du har spørsmål knyttet til vurderingen som er gjort av personverntjenestene fra Sikt, kan du ta kontakt via:

- Epost: [personverntjenester@sikt.no](mailto:personverntjenester@sikt.no) eller telefon: 73 98 40 40.

Med vennlig hilsen

Rein Terje Thorstensen  
(Veileder)

Herman A. Mæhle & Andreas K. Helberg  
(Studenter)

---

## Samtykkeerklæring

Jeg har mottatt og forstått informasjon om prosjektet [sett inn tittel], og har fått anledning til å stille spørsmål. Jeg samtykker til:

- å delta i semistrukturert intervju

Jeg samtykker til at mine opplysninger behandles frem til prosjektet er avsluttet

---

(Signert av prosjektdeltaker, dato)

## 12.3 Vedlegg C - Semistrukturert intervjuguide respondent

UiA Grimstad, våren 2023

Andreas K. Helberg, [andreaske@student.uia.no](mailto:andreaske@student.uia.no), tlf.: 920 55 618

Herman A. Mæhle, [hermanam@student.uia.no](mailto:hermanam@student.uia.no), tlf.: 941 46 202



### Semistrukturert intervjuguide

Forskerspørsmål: Hvordan kan bruken av 3D-skanning brukes til å effektivisere produksjonen av bygg?

Forberedelser: Samtykkeerklæring (informasjonsskriv samtykke) og semistrukturert intervjuguide (dette dokumentet).

Intervjuer(e): Andreas Kolås Helberg og Herman Alexander Mæhle (masterstudenter).

### Informasjon

Hei, dette intervjuet er en del av den avsluttende eksamen på masterstudiet i bygg ved Universitetet i Agder (UiA). Studien utføres av Andreas Kolås Helberg og Herman Alexander Mæhle, med UiA som oppdragsgiver. Oppgaven har et omfang på 30 studiepoeng, og den omhandler bruken av 3D-laserskanning til å effektivisere produksjonen av bygg. Formålet med forskningen er å øke forståelsen av bruksområder, muligheter og begrensninger ved bruken av 3D-skanning i BA-bransjen.

Med utgangspunkt i det ovennevnte er følgende forskers spørsmål med tilhørende delspørsmål utviklet:

- Hvordan kan 3D-skanning brukes til å effektivisere produksjonen av bygg?
  - Hva kan 3D-skanning brukes til?
  - Hvordan vil bruken av 3D-skanning påvirke arbeidsflyten i produksjonen?
  - Hvilke kompetansebehov kreves for å ta i bruk 3D-skanningsutstyr og tilhørende programvare?

Under følger praktisk informasjon om gjennomføringen av intervjuet:

- Intervjudeltakelse er frivillig.
- Deltaker er i sin fulle rett til å avbryte intervjuet når som helst.
- I forkant av intervjugjennomføring vil deltaker motta en samtykkeerklæring for deltakelse i forskningsprosjekt. Denne må være mottatt, forstått og signert før gjennomføringen av intervjuet. Dersom intervjudeltaker ikke har signert samtykkeerklæringen før intervjustart, kan samtykke gis muntlig.
- Det vil bli tatt lydopptak av intervjuet i den hensikt å unngå forstyrrelser som følge av notering. Lydopptaket vil bli lagret på en ekstern minnepenn frem til prosjektets sluttdato (20.05.2023).
- I etterkant av intervjuet vil deltaker bli tilsendt et kort referat av intervjuet slik at innholdet kan leses over og godkjennes.
- Dersom det mangler opplysninger i intervjuguiden og/eller samtykkeerklæringen som ansees relevant, oppfordres deltaker til å gi tilbakemelding om dette.
- Intervjuets varighet er estimert til ca. 1 time.

På den neste siden følger spørsmål intervjuet vil ta utgangspunkt i. Intervjuet gjennomføres som et semistrukturert intervju, og denne intervjutypen kan best beskrives som en samtale mellom forfatterne og respondenten(e). Følgelig er det ikke ønskelig å utarbeide en lang liste med spørsmål da disse kan forstyrre gangen i samtalen. Likevel oppfordres deltaker til å lese gjennom spørsmålene før gjennomføringen av intervjuet, slik at det er mulig å gjøre seg opp noen tanker rundt temaet før intervjuet igangsettes.

UiA Grimstad, våren 2023

Andreas K. Helberg, [andreaskhe@student.uia.no](mailto:andreaskhe@student.uia.no), tlf.: 920 55 618

Herman A. Mæhle, [hermanam@student.uia.no](mailto:hermanam@student.uia.no), tlf.: 941 46 202



## Spørsmål

1. **Introduksjon**
  - a. Om respondent.
    - i. Arbeidserfaring og fartstid i BA-bransjen?
  - b. Om respondentens erfaring med 3D-skanning.
    - i. Når ble 3D-skanning først introdusert og implementert i ditt firma?
    - ii. Kan du nevne et konkret prosjekt der 3D-skanning ble benyttet?
  
2. **Slik du ser det, på hvilken måte kan 3D-skanning effektivisere produksjonen<sup>1</sup> av bygg?**
  
3. **Slik du ser det, hva er de mest markante begrensingene ved bruken av 3D-skanning i produksjonen av bygg?**
  
4. **Slik du ser det, påvirker bruken av 3D-skanning den «tradisjonelle» arbeidsflyten i byggeprosjekter?**
  
5. **Har dere indentifisert noen konkrete suksessfaktorer ved bruken av 3D-skanning på byggeplass?**
  
6. **Hva slags kompetanse kreves for å ta i bruk 3D-skanningsutstyr og tilhørende programvare?**
  
7. **Hvilke erfaringer har dere med arbeidsprosessen «fra punktsky til BIM»?**
  
8. **Avslutning**
  - a. Har du tips til andre informasjonskilder vi bør undersøke nærmere?

**Avslutningsvis ønsker vi å takke for ditt bidrag!**

Dersom du har spørsmål eller tips, ta gjerne kontakt! Kontaktinformasjon finner du øverst på hver side.

Vennlig hilsen

Andreas K. Helberg og Herman A. Mæhle

---

<sup>1</sup> Her inngår også som bygget-dokumentasjon og andre potensielle bruksområder ifm. allerede oppførte bygg.

## 12.4 Vedlegg D - Vurdering av behandling av personopplysninger

5/29/23, 1:56 PM

Meldeskjema for behandling av personopplysninger

[Meldeskjema](#) / [Masteroppgave: Bruken av 3D-skanning i BA-bransjen](#) / Vurdering

### Vurdering av behandling av personopplysninger

**Referansenummer**

487532

**Vurderingstype**Automatisk **Dato**

15.02.2023

**Prosjektittel**

Masteroppgave: Bruken av 3D-skanning i BA-bransjen

**Behandlingsansvarlig institusjon**

Universitetet i Agder / Fakultet for teknologi og realfag / Institutt for ingeniørvitenskap

**Prosjektansvarlig**

Rein Terje Thorstensen

**Student**

Andreas Kolås Helberg

**Prosjektperiode**

06.02.2023 - 30.06.2023

**Kategorier personopplysninger**

Alminnelige

**Lovlig grunnlag**

Samtykke (Personvernforordningen art. 6 nr. 1 bokstav a)

Behandlingen av personopplysningene er lovlig så fremt den gjennomføres som oppgitt i meldeskjemaet. Det lovlige grunnlaget gjelder til 30.06.2023.

[Meldeskjema](#) **Grunnlag for automatisk vurdering**

Meldeskjemaet har fått en automatisk vurdering. Det vil si at vurderingen er foretatt maskinelt, basert på informasjonen som er fylt inn i meldeskjemaet. Kun behandling av personopplysninger med lav personvernulempe og risiko får automatisk vurdering. Sentrale kriterier er:

- De registrerte er over 15 år
- Behandlingen omfatter ikke særlige kategorier personopplysninger;
  - Rasemessig eller etnisk opprinnelse
  - Politisk, religiøs eller filosofisk overbevisning
  - Fagforeningsmedlemskap
  - Genetiske data
  - Biometriske data for å entydig identifisere et individ
  - Helseopplysninger
  - Seksuelle forhold eller seksuell orientering
- Behandlingen omfatter ikke opplysninger om straffedommer og lovovertridelser
- Personopplysningene skal ikke behandles utenfor EU/EØS-området, og ingen som befinner seg utenfor EU/EØS skal ha tilgang til personopplysningene
- De registrerte mottar informasjon på forhånd om behandlingen av personopplysningene.

**Informasjon til de registrerte (utvalgene) om behandlingen må inneholde**

- Den behandlingsansvarliges identitet og kontaktopplysninger
- Kontaktopplysninger til personvernombudet (hvis relevant)
- Formålet med behandlingen av personopplysningene
- Det vitenskapelige formålet (formålet med studien)
- Det lovlige grunnlaget for behandlingen av personopplysningene
- Hvilke personopplysninger som vil bli behandlet, og hvordan de samles inn, eller hvor de hentes fra
- Hvem som vil få tilgang til personopplysningene (kategorier mottakere)
- Hvor lenge personopplysningene vil bli behandlet

<https://meldeskjema.sikt.no/63e0b992-44e3-48fb-b4e5-64f7aba398b9/vurdering>

1/2



5/29/23, 1:56 PM

Meldeskjema for behandling av personopplysninger

- Retten til å trekke samtykket tilbake og øvrige rettigheter

Vi anbefaler å bruke vår [mal til informasjonsskriv](#).

**Informasjonssikkerhet**

Du må behandle personopplysningene i tråd med retningslinjene for informasjonssikkerhet og lagringsguider ved behandlingsansvarlig institusjon. Institusjonen er ansvarlig for at vilkårene for personvernforordningen artikkel 5.1. d) riktighet, 5. 1. f) integritet og konfidensialitet, og 32 sikkerhet er oppfylt.