

Masteroppgave

NTNU  
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for vareproduksjon og byggteknikk

Halvard Leine Pedersen

## Bruk av Augmented Reality og laserskanning i kvalitetskontroll

Nye teknologier i norsk byggebransje

Masteroppgave i Digitale Byggeprosesser

Veileder: Christoph Merschbrock

Juli 2022



Halvard Leine Pedersen

# **Bruk av Augmented Reality og laserskanning i kvalitetskontroll**

Nye teknologier i norsk byggebransje

Masteroppgave i Digitale Byggeprosesser  
Veileder: Christoph Merschbrock  
Juli 2022

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for vareproduksjon og byggteknikk



Kunnskap for en bedre verden



# Forord

Masteroppgaven viser til fullføring av en 2-årig master ved Institutt for vareproduksjon og byggteknikk, NTNU, studieretning: Digitale byggeprosesser. Studiet gjennomført ved NTNU, Gjøvik. Oppgaven er fullført vårsemesteret 2022, og tilsvarer 30 studiepoeng.

Inspirasjon til oppgaven har vært mitt engasjement for nye teknologier som muliggjør bedre, raskere og også en mer morsom måte å jobbe på. Grensesnittet mellom kvalitetskontroll og bruk av nye teknologier har vært et spennende og lærerikt område å utforske.

Takk til Betonmast Innlandet som har vært interessert i å prøve ut ny teknologi, vise egen laserskannteknologi, samt å stille opp til intervju. Det har vært spennende å utforske nye teknologier sammen. Gjennom deres kompetanse og praktiske erfaringer er oppgaven formet med innsiktsfulle refleksjoner

Videre vil jeg takke Buildingpoint Scandinavia som har vært svært behjelpelig i lån av teknologisk utstyr og lisens, veiledning av teknologibruk, og deltagelse på intervju. Det er tydelig at aktørene brenner for å dele smarte teknologier og løsninger med den norske byggebransje. Oppgaven kunne neppe blitt realisert uten dem.

Jeg ønsker å rette en stor takk til min veileder Christoph Merschbrock som har vært svært tilgjengelig, engasjert og bidratt med gode faglige innspill til oppgaven. Det har vært til stor hjelp! Takk til Erling Onstein og Ole Jonny Klakegg for å tilrettelegge og ha skapt engasjement for en spennende og aktuell studieretning. Takk til studievenner som har bidratt til en god studietid på Gjøvik. Jeg vil også takke min familie som alltid gir god moralsk støtte og har vært til hjelp i korrekturlesing.

Gjøvik, juli 2022



---

Halvard Leine Pedersen

# Sammendrag

Feil og mangler i bygg ansees som et problem i den norske byggebransjen, hvor hverken kulturendringer eller strengere regelverk har ført til merkbare forbedringer. Samtidig har nye teknologier som Augmented Reality og laserskanning vist potensial i å oppdage og redusere avvik. Teknologiene er i liten grad blitt tatt i bruk ute på byggeplassen, spesielt i Norge. Samtidig er det gjort lite undersøkelser på hvorfor noen velger å ta i bruk nye teknologier i byggebransjen. Oppgaven forsøker å besvare følgende problemstilling: *Hvordan kan nye teknologier som Augment Reality og laserskanning forbedre dagens kvalitetskontroll i norsk byggebransje?* Problemstillingen besvares med tre forskningsspørsmål:

1. Hvordan oppleves Augmented Reality i kvalitetskontroll?
2. Hvordan oppleves implementering av laserskanning i kvalitetskontroll?
3. På hvilken måte kan nye teknologier implementeres i fremtidens byggeprosjekt?

For å besvare forskningsspørsmålene er det gjennomført et Kvasi-eksperiment, kvalitative semi-strukturerte intervjuer og litteraturstudie.

Kvasi-eksperimentet er utført sammen med entreprenøren Betonmast. Her testes ny-teknologiene AR og laserscanning av 4 informanter til formålet kvalitetskontroll. Eksperimentet følges opp med intervjuer, hvor informantenes opplevelse av nye teknologier sees i lys av den daglige kontrollen med papirtegninger og tommestokk. Videre er det gjennomført intervjuer for å gi innsikt i brukerens opplevelse. Her undersøkes teknologienes brukspotensial med utgangspunkt i opplevd nytte og opplevd brukervennlighet. Avslutningsvis er det gjennomført intervjuer med 3 teknologiekspertter fra Buildingpoint Scandinavia. Løsningsforslag for mulige forbedringer fra eksperimentet er også vurdert.

Resultatene tilsier at AR oppleves å gi en god visualisering av planlagt bygging, hvor flere mulige avvik kan avdekkes. Teknologien har likevel begrensninger med noe mangelfull presisjon, og tidkrevende oppstart. Laserskanning oppleves å gi svært nøyaktige mål med suveren dokumentasjon til ettertiden. Samtidig medfører teknologien en tidkrevende prosess med en nytteverdi som oppleves manglende. Det foreslås løsninger som kan optimalisere ny-teknologiene; robothunden «Spot» i kombinasjon med skanner kan muliggjøre en effektivisert skanneprosess. AR teknologien kan forbedre nøyaktighet gjennom en kombinasjonsløsning med totalstasjon, som forbedrer presisjonen betraktelig.

Teknologien kan tilpasses formålet, men er avhengig av aktørene i byggenæringen. Det viser seg å være stor interesse for nye teknologier, spesielt dersom teknologien gir en klar kost-nytteverdi. Initiativet for å ta i bruk teknologi virker likevel å komme fra teknologiselskap. For å sikre bruk, tilpasses og utvikles teknologien til å være mest mulig brukervennlig, hvor Buildingpoint støtter opp med opplæring og tilgjengeliggjøring av informasjon. En slik tilrettelegging oppleves å hjelpe, med ønske og mål om at en arbeider velger å ta i bruk en ny teknologi i arbeidshverdagen.

# Abstract

Errors and deficiencies in construction are considered a problem in the Norwegian construction industry, where neither cultural change nor stricter regulations have led to noticeable improvements. At the same time, new technologies such as Augmented Reality and laser scanning have shown potential in detecting and reducing deviations. The technologies are rarely used on construction sites, especially in Norway. At the same time, little research has been done on why some choose to adopt new technologies in the construction industry. The assignment attempts to answer the following question: *How can new technologies such as Augment Reality and laser scanning improve current quality control in the Norwegian construction industry?* The problem is responded to with three research questions:

1. How is Augmented Reality experienced in quality control?
2. How is the implementation of laser scanning experienced in quality control?
3. How can new technologies be implemented in future construction projects?

To answer the research questions, a quasi-experiment, qualitative semi-structured interviews, and a literature study have been carried out.

The quasi-experiment has been carried out together with the contractor Betonmast. Here, the new technologies AR and laser scanning are tested by four informants for the purpose of quality control. The experiment is followed up with interviews, where the informants experience of new technologies is seen in the perspective of their daily checks with paper drawings and rulers. Furthermore, interviews have been conducted to provide insight into the user's experience. Here, the technology's use potential is examined based on perceived usefulness and perceived ease of use. Finally, interviews were conducted with three technology experts from Buildingpoint Scandinavia. Solution proposals for possible improvements from the experiment are also considered.

The results indicate that AR provides a good visualization of planned construction, where several possible deviations can be uncovered. The technology still has limitations with some insufficient precision and time-consuming start-up. Laser scanning is experienced to provide very accurate measurements with superb documentation for the future. At the same time, the technology entails a time-consuming process with a utility that is perceived as lacking. Solutions are proposed to optimize the new technologies; the robot dog "Spot" in combination with a scanner can enable an efficient scanning process. The AR technology can improve accuracy through a combination solution with a total station, which improves precision considerably.





# Innhold

Figurer .....	7
Tabeller .....	7
Forkortelser/symboler .....	8
Introduksjon .....	9
1.1 Bakgrunn .....	9
1.2 Kunnskapsgap .....	10
1.3 Problemstilling .....	10
1.4 Avgrensninger .....	10
1.5 Leserveiledning .....	11
2 Metode .....	12
2.1 Forskningsmetode/design .....	12
2.2 Kvasi-eksperiment .....	13
2.3 Intervju .....	15
2.4 Litteraturstudie .....	16
3 Teori .....	17
3.1 Informasjondeling i byggebransjen .....	17
3.2 Kvalitetskontroll i byggeprosjekt .....	17
3.3 Extended Reality .....	19
3.4 Laserskanning og kvalitet .....	20
3.5 Opplevelse av ny teknologi: TAM .....	20
4 Kvasi-eksperiment .....	23
4.1 Kastanjen .....	23
4.2 Augmented Reality i kvasi-eksperiment .....	25
4.3 Eksperiment laserskanning .....	29
5 Intervjuer .....	33
5.1 Augmented Reality .....	33
5.2 Laserskanning .....	35
5.3 Ny teknologi med Buildingpoint Scandinavia .....	37
5.4 Løsningsforslag av obeserverte utfordringer: Laserskanning og AR .....	39
6 Diskusjon .....	42
6.1 Hvordan oppleves Augmented Reality i kvalitetskontroll .....	42
6.2 Hvordan oppleves implementering av laserskanning i kvalitetskontroll .....	44
6.3 På hvilken måte kan ny teknologi implementeres i fremtidens byggeprosjekt ...	46
7 Konklusjon .....	49
7.1 Augmented Reality i kvalitetskontroll .....	49

7.2	Implementering av laserskanning i kvalitetskontroll.....	50
7.3	Implementering av nye teknologier i fremtidens byggeprosjekt.....	50
7.4	Videre arbeid .....	51
	Referanser.....	52
	Vedlegg.....	56

# Figurer

Figur 1: Dagens kvalitetskontroll vs nye teknologier .....	13
Figur 2: Forskningsspørsmål .....	15
Figur 3: Trend for søk: «Augmented reality» AND quality AND construction .....	16
Figur 4: Kvalitetskontroll (ASQ, 2022).....	18
Figur 5: TAM, Forutsetninger for bruk av teknologi (Davis, 1989) .....	20
Figur 6: TAM 3 (Venkatesh og Bala, 2008).....	21
Figur 7: Kastanjen, Hamar.....	23
Figur 8: Utvalgt område i kjelletasjen .....	24
Figur 9: BIM-modell av Kastanjen.....	24
Figur 10: Bruk av XR10 Hololens 2 .....	25
Figur 11: QR-kode (venstre) .....	26
Figur 12: BIM-modell Smaragdbygget (høyre) .....	26
Figur 13: AR-visualisering: Kastanjen .....	27
Figur 14: AR- Bruk i kjellerområdet .....	27
Figur 15: AR- Utsparinger .....	28
Figur 16: AR- Utsparinger med rørføringer.....	28
Figur 17: Laserskanner .....	30
Figur 18: BIM av kjellerområdet .....	30
Figur 19: Skann av kjellerområdet.....	31
Figur 20: Avviksgrense-25mm .....	31
Figur 21: Avvik fra BIM- Utsparinger.....	31
Figur 22: Modell etter vurdering av avvik .....	32
Figur 23: Dashboard Dalux .....	32
Figur 24: "Spot" i aksjon, med trimble skanner og LIDaR navigasjon .....	40
Figur 25: Modifisert BIM-fil, 10MB .....	41

# Tabeller

Tabell 1: Forskningsmetoder.....	12
Tabell 2: Intervjuer .....	14
Tabell 3: TAM- opplevd nytte og brukervennlighet .....	21
Tabell 4: Fordeler/ulempes AR.....	33
Tabell 5: Fordeler/ulempes laserskanner.....	35
Tabell 6: Opplevde utfordringer/muligheter av nye teknologier.....	37

# Forkortelser/symboler

AR	Augmented Reality
BAE	Bygg, anlegg og eiendom
BIM	Building Information Modelling
CDE	Common Data Environment
MR	Mixed Reality
VR	Virtual Reality
NTNU	Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
TAM	Technical Acceptance Model
XR	Extended Reality

# 1 Introduksjon

## 1.1 Bakgrunn

Byggskader i Norge ansees å være for høyt hvor hverken oppmerksomhet eller endringer i regelverket har løst problemet (SINTEF, 2020) Konsekvensen av byggskader er anslått å være 5% av byggekostnader, som tilsvarer årlige økonomiske tap i milliardbeløp (SINTEF, 2020). Tidligere direktør for innovasjon i Statsbygg, Anett Andreassen, har uttalt i likhet med Sintef at bygg konstruert med feil og mangler er et stort problem i bransjen (Fremtidens Byggenæring, 2019). Samtidig ansees digitale verktøy å være en betydelig bidragsyter, hvor feil kan reduseres drastisk, eller i noen tilfeller elimineres.

Ny teknologi som laserskanning og Augmented Reality (AR) kan ha potensial i å redusere avvik i norske byggeprosjekt. Eksempelvis har laserskanning nylig tatt et steg videre i norsk byggebransje med muligheter for å dokumenter kvalitet og fremdrift (AF gruppen, 2021). Avvik kan oppdages gjennom en automasjonsløsning som identifiserer feil og mangler oppstått i byggefase. En annen ny-teknologi, kanskje mer kjent for skanning av QR-koder eller mobilspill som pokemon Go, er Augmented Reality. Teknologien er blant annet eksperimentert i forbedringen av kvalitetskontroll for fabrikkproduserte treveggs-elementer i Sverige (Gustavsson *et al.*, 2021). Augmented Reality kan ha store muligheter til å forbedre kvalitetsinspeksjon, hvor bruk i en kontrollert fabrikkproduksjon ansees å ha potensial i å kunne halvere feil samt redusere tidsbruk betraktelig. (Kohn og Harborth, 2018).

Det virker ikke å være manglende satsing på nye teknologiske løsninger i norsk byggebransje, hvor 89 prosent av byggebedrifter sier de jobber med innovasjoner innen teknologi (Innovasjonsbarometeret, 2021). Samtidig er det kun et fåtall som opplever innovasjon som en lønnsom verdiskaper, hvor kun 30 % av norske bygge- og anleggsbedrifter svarer at innovasjon har skapt verdi gjennom økte inntekter. Innovasjon har samtidig vært verdiskapende gjennom økt kvalitet i leveranse (44%), effektivisering av arbeidsprosesser (41%) og økt merarbeidertrivsel (33%).

Som første råd fra Digital Veikart 2.0 til byggenæringens ledere er å alltid ha en forretningsmessig tilnærming i bruk av ny teknologi, altså en investering som gir avkastning på sikt. Er dette enkelt på en byggeplass hvor andre krefter rår? M. Fischer mener det er mangel på helhetlig bilde for planlegging av prosjekt, hvor et unødig fokusnivå legges på kostnader og planlegging, hvor resten av prosjektet bli å «gjøre det man kan» (AEC Business, 2020). Kanskje kan ny-teknologi likevel ha innpass ute på den travle og uforutsigbare norske byggeplassen i utfordrende værømgivelser.

De teknologiske mulighetene er flerfoldige, og har stort potensial i å forbedre byggebransjens arbeidsoppgaver. Samtidig er digitale skiftet mye mer enn teknologi, som kan realiseres gjennom arbeiderne. Oppfatningen gjelder for Norges forsvarssjef (Kristoffersen, 2020):

Våre omgivelser er i stadig endring, og ny teknologi gir fantastiske muligheter, hvis vi evner å ta den i bruk ... .. Folkene er kjernen, men teknologien gjør den enkelte enda bedre.

## 1.2 Kunnskapsgap

Bruk av AR og skann-teknologi til kvalitetsrutiner har tidligere vært mer brukt i kontrollerte miljøer, som ved fabrikkproduksjon. I nyere tid har teknologiene blitt testet i bygg-inspeksjoner (May *et al.*, 2022; Portalés *et al.*, 2018; Li *et al.*, 2020). Oppgaven ønsker å utforske hvordan teknologiene fungerer på den norske byggeplassen. Det blir også forsøkt å undersøke hvilke premisser som må ligge til grunn for at teknologien blir tatt i bruk og implementert.

## 1.3 Problemstilling

I oppgaven er det valg å utforske to aktuelle ny-teknologier for kvalitetskontroll; Augmented Reality og laserskanning. Muligheter for forbedring gjennom teknologiene vurderes for den norske byggebransjen, som gir følgende problemstilling:

«Hvordan kan nye teknologier som Augmented Reality og laserskanning forbedre dagens kvalitetskontroll i norsk byggebransje?»

Teknologien settes i lys av dagens gjennomføring av kvalitetskontroll, hvor opplevde fordeler og ulemper sees i betraktning av dagens rutiner til en entreprenørbedrift. Erfaringene fra AR og laserskanning blir avslutningsvis vurdert mot teknologiske muligheter som kan tilrettelegge for et bedre møte mellom menneske og teknologi i fremtiden. Det gir følgende forskningsspørsmål:

1. Hvordan oppleves Augmented Reality i kvalitetskontroll?
2. Hvordan oppleves implementering av laser-skanning i kvalitetskontroll?
3. På hvilken måte kan nye teknologier implementeres i fremtidens byggeprosjekt?

## 1.4 Avgrensninger

Oppgaven ser på bruk av ny-teknologi for kvalitetskontroll i et norsk byggeprosjekt:

- Kvalitetskontroll vektlegges, altså én del av byggeprosjektets daglige kvalitetssikringsrutiner i et kvalitetsystem. Skillene er illustreres i Figur 4 kapittel 3.2.2.
- Kvalitet-begrepet vurderes i hovedsak i form av presisjon og toleranser.
- Utforsket ny-teknologi er Augmented Reality og laser-skanning i kombinasjon med BIM. Andre teknologiske alternativer vurderes i problemstilling 3.
- Det sees spesielt på en betongvegg som er, eller skal bli støpt på byggeplass.
- Byggeprosjekt i produksjonsfasen er primærfokuset.

## 1.5 Leserveiledning

Oppgaven deles inn med følgende deler:

### **1. Introduksjon**

Introduserer oppgaven med bakgrunn og dagens kunnskapsgap. Problemstilling med forskningsspørsmål legges frem sammen med avgrensninger.

### **2. Metode**

Forklarer metodevalg tatt for å besvare oppgavens problemstilling.

### **3. Teori**

Beskriver et teoretisk rammeverk knyttet til oppgavens tematikk. Erfaringer fra litteraturstudie brukes videre til å beskrive erfaringer fra tidligere forskning.

### **4. Eksperiment (Resultat)**

Viser til byggeprosjektet Kastanjen, med innblikk i entreprenørens daglige kvalitetskontroll. Videre presenteres de to ny-teknologiene Augmented Reality og laserskanning. Avslutningsvis beskrives kvasieksperimentet gjennomført med ny-teknologiene utført i samme område, Kastanjen.

### **5. Intervju (Resultat)**

Viser til gjennomførte intervjuer med informantenes mest aktuelle opplevelser oppsummert. Intervjuet er gjennomført med entreprenøren Betonmast og teknologiselskapet Buildingpoint Scandinavia. Løsningsforslag for mulige forbedringer fra eksperimentet blir også presentert.

### **6. Diskusjon**

Sammenligner erfaringer fra eksperiment, intervju og litteratur til å besvare de tre forskningsspørsmålene satt i 1.3.

### **7. Konklusjon**

Oppsummerer og konkluderer oppgavens forskningsspørsmål og problemstilling.

## 2 Metode

### 2.1 Forskningsmetode/design

Formålet med oppgaven er å forstå et fenomen, hvordan menneskers møte med nye teknologier oppleves. Kan foreslått ny-teknologi bli tatt i bruk, og forandre dagens kvalitetskontroll? For å undersøke fenomenet er det valgt å tilnærme seg kvalitativt. Med kvalitativ metode blir informasjon om et fenomen mer detaljert og beskrivende (Johannesen, Tuft og Christoffersen, 2021). Til sammenligning med kvantitativ tilnærming, hvor fenomener telles opp og kartlegges. Valgt tematikk er tilsynelatende i liten grad forsket på, spesielt innen norsk byggebransje, hvor kvalitativ metode ansees som hensiktsmessig. Oppgaven ønsker å avdekke opplevelsen av ny-teknologi. Det kan samsvare med kvalitativ metode som vurderes hensiktsmessig for å forstå hvorfor mennesker tenker og handler som de gjør.

Med formål om å forstå menneskets relasjon av ny teknologi er det valgt en fenomenologisk tilnærming. I en fenomenologisk studie er det vanlig å studere meningsinnholdet. Forskeren leser datamaterialet fortolkende, og ønsker å forstå en dypere mening i enkeltpersoners erfaring. Den fenomenologiske metode setter som premiss å samle inn data fra individer med erfaringer fra et fenomen. Teknologiene fremstår samtidig i liten grad implementert i den norske kvalitetskontroll på byggeplass. Det ble forløper til å utforske ny-teknologi i et eksperiment-format.

Først ble det gjennomført et kvasi-eksperiment hvor informanter tester ut AR-teknologien samt laserskanning i kvalitetskontroll. Videre blir det utført intervjuer for å undersøke effekten av det spesielle tiltaket hvor informanter evaluerer foreslått teknologi. Erfaringer er videre supplert med litteraturfunn fra lignende studier. Avslutningsvis er det utført intervjuer fra eksperter samt lagt frem fremtids-teknologiske muligheter som kan brukes i kvalitetskontroll og mye mer. Betonmasts erfaringer av ny-teknologien sees i betraktning av ekspertenes perspektiv av byggebransjen. Forskningsmetodene er til de ulike forskningsspørsmålene er vist i Tabell 1

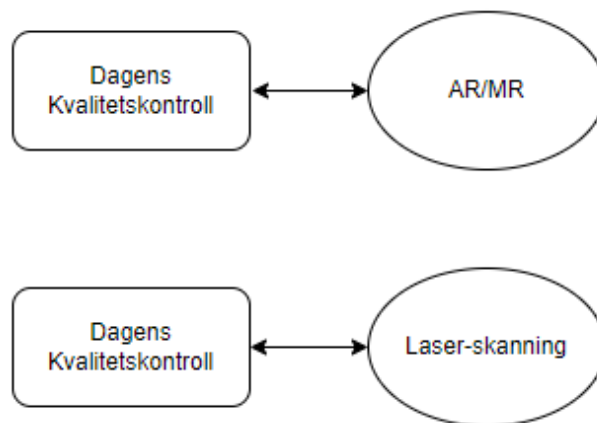
**Tabell 1: Forskningsmetoder**

<b>Forskningsspørsmål</b>	Kvasi-eksperiment	Kvalitative intervjuer	Litteraturstudie
<b>1. Hvordan oppleves Augmented Reality i kvalitetskontroll?</b>	X	X	X
<b>2. Hvordan oppleves laser-skanning i kvalitetskontroll?</b>	X	X	X
<b>3. På hvilken måte kan ny-teknologi implementeres i fremtidens byggeprosjekt?</b>		X	X



## 2.2 Kvasi-eksperiment

I oppgaven er det gjennomført et «liksom-eksperiment» hvor en spesielt utvalgt gruppe får testet ny-teknologi i en kjent arbeidsoppgave. Ved å gi én gruppe en spesiell påvirkning kan effekten av en bestemt intervensjon undersøkes, sammenlignet med en annen gruppe som ikke er utsatt for intervensjon (Johannesen, Tuft og Christoffersen, 2021). Dette kalles et kvasieksperiment. Oppgaven har en lignende tilnærming, hvor teknologien testes kun for én gruppe, men uten en tilleggende kontrollgruppe. Derimot blir opplevelser og erfaringer sammenlignet med informantenes erfaringer fra deres daglige kvalitetskontroll. Eksperimentet er en enkel test av hver ny-teknologi, AR og laserskanning. Senere i oppgaven vil det utførte eksperimentet omtales som et «Kvasi-eksperiment». Metodene sammenlignes hver for seg, mot den daglige kontrollen illustrert i Figur 1.



**Figur 1: Dagens kvalitetskontroll vs nye teknologier**

### 2.2.1 Rekruttering av informanter

#### **Betonmast:**

Innovasjonssjef i byggentreprenøren Betonmast ble kontaktet over telefon med forslag om tenkt teknologi og bruksområde. Kontakten ble fulgt opp med et videomøte, som resulterte i en videre kobling med Betonmasts avdeling i Innlandet. Funksjonærer i avdelingen jobber tett opp mot den daglige driften på byggeplass, som de daglige kvalitets-rutiner inngår i.

Avdelingen har nylig;2022, gjort et innkjøp av laserskanner. Samtidig var avdelingen godt i gang med boligprosjektet Kastanjen Hamar, med delvis implementering av laserskanning. Sammen med anleggsleder og prosjektleder i Kastanjen, og prosjekteringsleder for Betonmast Innlandet ble det foreslått testing av AR og laserskanning i kvalitetskontroll. Teknologen var fra deres side vurdert som interessant å utforske, hvor aktuelt område ble bestemt, og dato for testing ble avtalt.

#### **Buildingpoint Scandinavia:**

For å kunne teste AR teknologien ble det etablert kontakt med Buildingpoint Scandinavia. Teknologiselskapet leverer software, som Tekla og hardware til den norske bygge- og anleggsnæringen i Skandinavia. Buildingpoint var behjelpelig i lån av utstyr sammen med lisens for testing på byggeplass. Med en etablert kontakt med teknologiselskapet ble det omsider forespurt mulighet for intervjuer. Det lot seg gjøre etter en demonstrasjon av robothunden «Spot» koblet til deres skanner Trimble x7, vist i kapittel 5.4.

**Tabell 2: Intervjuer**

	Alder (år)	Bransjeeerfaring (år)	Varighet (min)	Intervju-type	Dato
<b>Entreprenør: Betonmast</b>					
Prosjektleder	34	17	29	Semistrukturert intervju	6.4.2022
HMS/KS-leder	26	1	58	Semistrukturert intervju	6.4.2022
Anleggsleder	31	8	70	Semistrukturert intervju	19.4.2022
Byggeplassleder	24	2,5	55	Semistrukturert intervju	19.4.2022
<b>Teknologer: Buildingpoint Scandinavia</b>					
Forretningsutvikler (Business area manager AEC)	Ukjent	14	43	Semistrukturert gruppe-intervju	9.5.2022
Salgsingeniør	32	3			
Teknisk konsulent	31	7	59	Semistrukturert intervju	25.5.2022

## 2.2.2 Vurdering av informanter

### **Betonmast:**

Svarene kan påvirkes av informantenes bakgrunn, vist i Tabell 2, som forsøkes å kategoriseres: Først og fremst jobber alle 4 informantene tett opp mot den daglige driften på byggeplass. Av de 4 informantene har 3 bakgrunn som fagarbeidere, noe som kan gi perspektivet fra både det ledende og utførende perspektivet. Konkret har en person jobbet som forskalings snekker, en mer spesialisierende kompetanse tilpasset oppgavens avgrensning. Aldersspennet er mellom 24-34, som kan indikere en yngre demografi av byggenæringen. Kanskje kunne involvering av flere eldre fagarbeidere skapt et større mangfold, og gitt et annet viktig perspektiv i opplevelse av ny teknologi? Hovedandelen av intervjuobjektene har tatt høyere utdanning, noe som kan påvirke åpenhet til nye erfaringer. En slik åpenheten kan ha innvirkning på møtet med teknologien som skal testes ut.

Gjennomført test med Betonmasts avdeling har som formål å se på opplevelsen av ny teknologi i kombinasjon med kvalitetsrutiner på den norske byggeplassen. Ved å ta for seg erfaringene fra de fire informantene får man et lite innblikk i en stor byggenæring. Innblikket kan samtidig være tilfelle for langt flere, dersom det er et «kritisk tilfelle». Et kritisk tilfelle viser til at «dersom det skjer her, kan det skje hvor som helst» eller «dersom denne gruppa har problemer, kan vi være ganske sikre på at samtlige grupper har problemer» (Johannesen, Tufte og Christoffersen, 2021).

### **Buildingpoint Scandinavia**

Buildingpoint Scandinavia jobber for å få software og hardware ut til aktører i bygg- og anleggsnæringen. De 3 utvalgte informantene jobber med implementering av teknologi i byggebransjen på ulikt vis. Deres ekspertise innen bruk av ny-teknologi i norsk

byggebransje gjør at personene kan ansees som nøkkelinformanter innen oppgavens problematikk. Nøkkelinformanter er personer som har mye kunnskap og et reflektert forhold om et fenomen (Johannesen, Tuft og Christoffersen, 2021).

## 2.3 Intervju

### 2.3.1 Gjennomføring av intervju

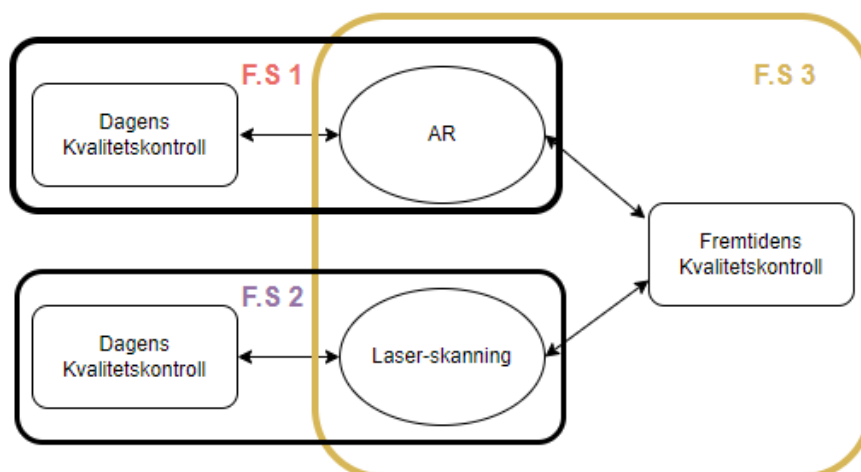
For å undersøke Betonmasts og Buildingpoint Scandinavias perspektiver i opplevelsen av ny teknologi ble det gjennomført intervjuer. Før samtalene ble det forberedt en intervjuguide som baserer seg på rammeverket til TAM3. Rammeverket, mer detaljert beskrevet i kapittel 3.5, er blitt brukt for å undersøke informantenes opplevde nytte og brukervennlighet av teknologi. Utspørringen semistrukturerte intervju, hvor aktuelle oppfølgings spørsmål ble brukt. Alle intervjuene ble gjennomført fysisk.

#### **Betonmast:**

Intervjuene ble utført individuelt etter Betonmasts informanter hadde utført kvasi-eksperiment for både AR-teknologi og laserskanning. Først ble det konkretisert at hver av teknologiene skulle vurderes mot deres daglige kontroll, som vist i Figur 1. Det ble stilt spørsmål med grunnlag i intervjuguiden for å danne et bilde på om teknologien ansees aktuell for bruk eller implementering.

#### **Buildingpoint Scandinavia:**

Før intervjuene med Buildingpoint Scandinavia ble det utført demonstrasjon av robothunden «Spot». Opplevde utfordringer blant Betonmast ble også lagt frem. Det ble stilt intervju spørsmål tilpasset teknologenes perspektiv. Her legger Buildingpoint frem deres oppfatning av byggenæringens tilnærming til ny-teknologier som AR, laseskanning eller andre teknologiske løsninger, vist i Figur 2.



**Figur 2: Forsknings spørsmål**

### 2.3.2 Vurdering av intervjufunn

Spørsmålene er formulert på en slik måte at informantene kan beskrive kulturen på byggeplassen, og ikke bare for seg selv. Svarene kan være farget av hvor implementert teknologien er i dagens system. Laserskanning delvis implementert, i motsetning til AR som ikke er en teknologi som satses på. Oppgaven er det lagt vekt på å få frem de individuelle opplevelsene erfaringene informantene har av ny teknologi. Derfor er det brukt mye sitater som gjenspeiler «slik det ble sagt».

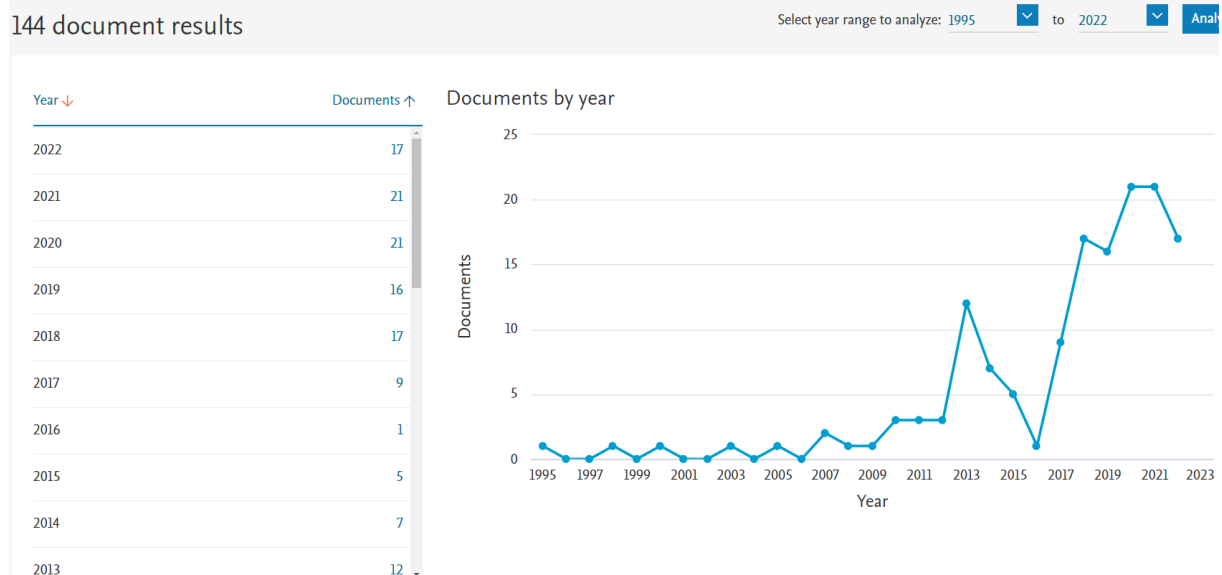
## 2.4 Litteraturstudie

For å sette seg inn i oppgavens tematikk, samt vise til forskning er det gjort ett litteraturstudie. Ett litteraturstudiestudie planlegges ved å først finne frem til den forskningen som allerede finnes på området, og hvilke metoder som er benyttet på feltet (Johannesen, Tuft og Christoffersen, 2021). I oppgaven er det blant annet valgt å rette fokus mot temaene: Augmented Reality, laserskanning, kvalitetskontroll og Technical Acceptance Model.

Søkemotorer brukt: Scopus, Google scholar og Oria

For å finne aktuelle vitenskapelige artikler har nøkkelord blitt brukt i kombinasjon i søk, som: «Augmented reality» AND quality AND construction. Flere nøkkelord kan legges til for å redusere mengden artikler til et mer passende nivå. Scopus analysefunksjon antyder trend for økende interesse i valgt tematikk, vist i Figur 3. Laser-skanning har en lignende trend med økende interesse fra 2012 (brukt søkeord: «Laser scanning» AND quality AND construction).

TITLE-ABS-KEY ("augmented reality" AND quality AND construction)



**Figur 3: Trend for søk: «Augmented reality» AND quality AND construction**

## 3 Teori

### 3.1 Informasjonndeling i byggebransjen

Det er ulike måter å lagre og kommunisere data på i byggebransjen. Noen av de viktigste og mest aktuelle for oppgaven er beskrevet.

#### 3.1.1 BIM

Building Information Modelling (BIM) er prosessen som bygge-industrien bruker for å skape bygd miljø med datamaskiner eller andre digitale teknologier. (Epstein, 2012) BIM tilrettelegger for prosjektplanlegging hvor gode løsninger kan visualiseres, simuleres og modifiseres digitalt. For å dele den digitale bygningsinformasjonen mellom aktører kan filer med tilhørighet i Industry Foundation Classes (IFC) brukes, den standardiserte, digitale beskrivelse av byggevarerindustrien (buildingSMART, 2022). En eller flere IFC-filer utgjør en BIM-modell som illustrert i figur.

Ved å samarbeide og dele filer mellom aktører i byggeprosjekt kan det planlegges for bygging, og bygges etter plan. Det gjør det mulig å koordinere prosjekteringen til et samspill mellom fagene. En god prosjektering i BIM gjør at kollisjoner kan oppdages og avverges lenge før utførelse.

#### 3.1.2 Felles datamiljø (CDE)

Et felles datamiljø, gjerne omtalt som Common Data Environment (CDE), er et virtuelt lagringssted for lagring og administrering av dokumentasjon i byggeprosjekt, ofte brukt som en skytjeneste (Werbrouck *et al.*, 2019). CDE kan tilgjengeliggjøre prosjektinformasjon, som viktige dokumenter, tegningsfiler eller IFC-filer av prosjektets BIM-modell. Et prosjekthotell kan regnes som en form for CDE. En skytjeneste tar delingen i CDE ett steg videre, hvor bygningsinformasjon kan lagres og deles digitalt mellom samarbeidspartnere i byggeprosjekt.

#### 3.1.3 Digital tvilling

En digital tvilling kan regnes som en digital eller virtuell kopi av et fysisk objekt i den virkelige verden (Tekna, 2020). I byggebransjen kan en BIM-modell tilrettelegge for bruk av en digital tvilling fra planlegging og prosjektgjennomføring til vedlikehold og drift. For å gjøre tvillingen «smart» kan blant annet sensor- eller skannteknologi brukes til å spore endringer underveis, med mulighet for å «kopierer» forandringene til BIM- modellen.

### 3.2 Kvalitetskontroll i byggeprosjekt

#### 3.2.1 Kvalitet

NS-EN ISO 9000 definerer kvalitet som «I hvilken grad en samling av iboende egenskaper oppfyller krav». Når et produkt som passer et tiltenkt formål, hvor brukerens behov og forventninger blir oppfylt, regnes det som kvalitet (Chung, 1999).

Byggebransjen med ulike interessenter, har stort behov for god kvalitet, og beskrives som «Å møte krav fra planleggeren, byggeren, reguleringsorgan og eieren» (Arditi og

Günaydin, 1997). Det å levere riktig første gangen er alltid mest effektivt og rimeligst (Byggenæringens landsforening, 2020). Her gjelder det å tilfredsstille kundens behov, noe riktig digitalisering er et godt verktøy for å innfri kundens ønsker første gangen.

### 3.2.2 Kvalitetskontroll

En kvalitetskontroll er en aktivitet hvor det sjekkes om krav for kvalitet overholdes. Dette er illustrert i Figur 4. Kvalitetskontrollen er en del av kvalitetssikringen som igjen er en del av et større fungerende kvalitetssystem. Dette er illustrert i Figur 4. Kvalitetskontrollen vil bekrefte eller avkrefte om krav til kvaliteten overholdes.



Figur 4: Kvalitetskontroll (ASQ, 2022)

### 3.2.3 Kvalitetssikring

NS-EN ISO 9000:2000 definerer kvalitetssikring som en «del av *kvalitetsledelse*, med fokus på å skaffe tiltro til at krav til kvalitet vil bli oppfylt». Det betyr at kvalitetssikring er med på å sikre at leveransen er i henhold til kontrakt. (Thune, 2017)

### 3.2.4 Krav til kvalitetssikring i Norge

I et byggeprosjekt vil et foretak erklære ansvarsrett for oppgitte fagområder. Det stilles krav til at foretaket, som f.eks. en entreprenør, skal ha rutiner for å sikre kvalitet i henhold til plan- og bygningsloven:

§ 10-1 «Foretak som påtar seg ansvarsrett skal ha rutiner innenfor eget ansvarsområde som sikrer etterlevelse i tiltaket av krav gitt i eller med hjemmel i plan- og bygningsloven.»

Kvalitetssikringens rutiner omfatter:

- Identifisering, verifisering og dokumentasjon i oppfyllelse av relevante krav for foretakets ansvarsområde
- Ivareta plikter og oppgaver
- Styring av andre tilknyttede foretak
- Identifisere, behandle og lukke avvik

Rutiner for kvalitetssikringen skal være «tilstrekkelig», og skal kunne dokumentere oppfyllelse av krav ved oppsyn.

### 3.3 Extended Reality

XR er en paraplybetegnelse for «oppslukende/fordypende/immersive» teknologier som Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR) og Mixed Reality (MR). (Sepehr, Hadavi og Huang, 2020) beskriver forskjellen mellom AR, VR og MR som:

- VR lar brukerne fordype seg i det digitale miljøet avkoblet fra den virkelige verden
- AR tilrettelegger for å plassere digitalt innhold «over» den virkelige verden
- MR legger til rette for interaksjonen mellom det digitale innholdet og den virkelige verden.

MR inneholder aspekter fra interaksjonen av VR samt visualiseringen av AR.

#### 3.3.1 Mixed Reality eller Augmented Reality?

I oppgaven er det tatt et valg for hvilket begrep som er mest passende, Augmented Reality eller Mixed Reality. Begrepene har flere likhetstrekk, men måten eksperimentet er gjennomført på, gjør at AR vurderes mer passende. På tross av ha brillene Hololens 2 XR10 som er Mixed Reality teknologi, beskrevet i kapittel 4.2.1.1, er det i hovedsak AR funksjonaliteten gjennom visualisering som er brukt. Mobilløsningen til Trimble er også begrenset til AR-funksjonalitet. Derfor vurderes AR som et passende begrep i oppgavens tematikk.

#### 3.3.2 Utfordringer i implementering av BIM-AR

Noen utfordringer i implementering av BIM-AR ifølge (May *et al.*, 2022):

- Manglende modenhet og reliabilitet med manglende tilgjengelighet og målingsbegrensninger.
- AR-utstyr kan være utfordrende og dyrt å få tilgang på, som kan øke terskelen for bruk. Mobil eller nettbrett foreslås som en løsning for å redusere barrieren.
- Manglende støtte til å dele BIM-data mellom ulike plattformer. Modellene som brukes i AR oppleves å bli «dummet ned» hvor data er strippet bort. Verktøyet er også avhengig av 3D-bim underlag, hvor noen deltagere i verdikjeden enda leverer CAD og 2D-tegninger.
- Kultur i organisasjoner og holdninger fra interessenter som skaper utfordringer i integrasjon mellom AR og BIM. Teknologien ansees ikke som det største problemet, men menneskene i en tradisjonell og lite endringsvillig bransje. Nyttien av BIM vurderes å være for neste person i verdikjeden, som betyr at lønnsomheten inntreffer når BIM er integrert i hele verdikjeden.

#### 3.3.3 AR i kvalitetskontroll

AR-teknologi oppleves som effektiv til å oppdage manglede utførelse eller store avvik, hvor teknologien ansees som godt egnet til en kjapp sjekk av konstruksjonen (Chalhoub, Ayer og McCord, 2021). BIM AR kan oppnå opp til 1 cm nøyaktighet, men kan være avhengig av et mer pålitelig system (May *et al.*, 2022). Bruk av AR ansees nyttig for rom som ikke krever 100% nøyaktige mål for å undersøke om elementer som bør være installert, faktisk er det. AR ansees spesielt nyttig i fasen før installering av tak eller veggkonstruksjon hvor kvalitetskontroll skal gjennomføres.

AR i kvalitetskontroll kan være mer effektiv til å oppdage feilplasseringer enn tradisjonelle metoder, på tross av noe tidkrevende forberedelser før inspeksjon (Zhou,

Luo og Yang, 2017). Teknologien utforsket i tunellomgivelser opplevdes enkelt å forstå og ta i bruk etter en kort trenings-sesjon.

### 3.4 Laserskanning og kvalitet

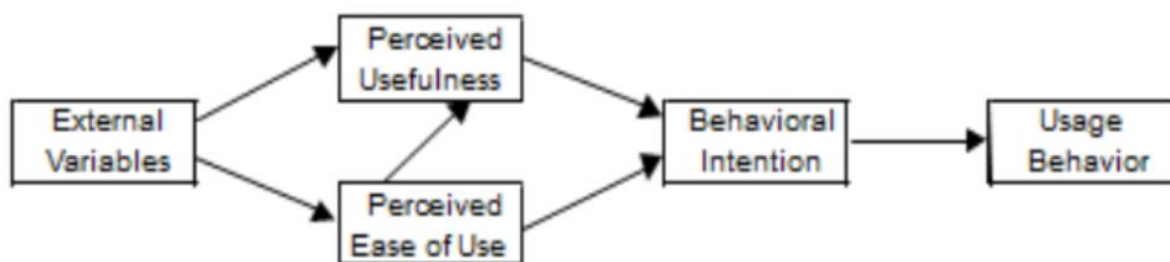
En laserskanner er et apparat som sender hurtiggående lysstråler, hvor noen av strålene reflekteres tilbake etter å ha truffet et objekt. Karakteren av disse fotonene avgjør egenskaper som farge, overflate og distanse fra skanneren. (Sepehr, Hadavi og Huang, 2020; Heritage og Large, 2009) En punktsky produseres fra skannet hvor punkter med gitte egenskaper lagres. En laserskanner kan gi svært presise mål, med nøyaktighet rundt 2-6 mm inntil 50m (Olsen *et al.*, 2010).

Laserskanning kan være en suveren målemetode til sammenligning med tomstokk eller målbånd. Det er blant annet demonstrert av (Li *et al.*, 2020) til å forbedre kvalitetskontroll for en flommur med en løsning for BIM-lasermåling. Prosessen ble både mer effektiv og nøyaktig, noe som førte til mindre tidsbruk i gjennomføring og etterarbeid. Samtidig ble interessentene i prosjektet mer involverte med samarbeidsstyring gjennom hele byggeprosessen. Studien opplevde å bruke en del tid på opplæring av teknologien, ettersom laserskann-teknologien var ukjent for deltagerne.

Laserskanning i sikring av kvalitet kan også ha noen begrensende faktorer. Det gjelder blant annet nødvendigheten av å være fysisk tilgjengelig i bygget, begrenset omfang for å avdekke feil og er dessuten en tidkrevende prosess (Huber *et al.*, 2010).

### 3.5 Opplevelse av ny teknologi: TAM

Technology Acceptance Model (TAM), er en modell som gir innsikt i hvordan brukere responderer på å ta i bruk ny teknologi (Davis, 1989). Intensjonen for å ta i bruk teknologi kommer fra brukerens opplevde nytte (usefulness) samt brukervennlighet (ease of use) illustrert i Figur 5. Samtidig vil eksterne variabler som holdninger eller erfaringer med lignende verktøy påvirke teknologiens førsteinntrykk.



**Figur 5: TAM, Forutsetninger for bruk av teknologi (Davis, 1989)**

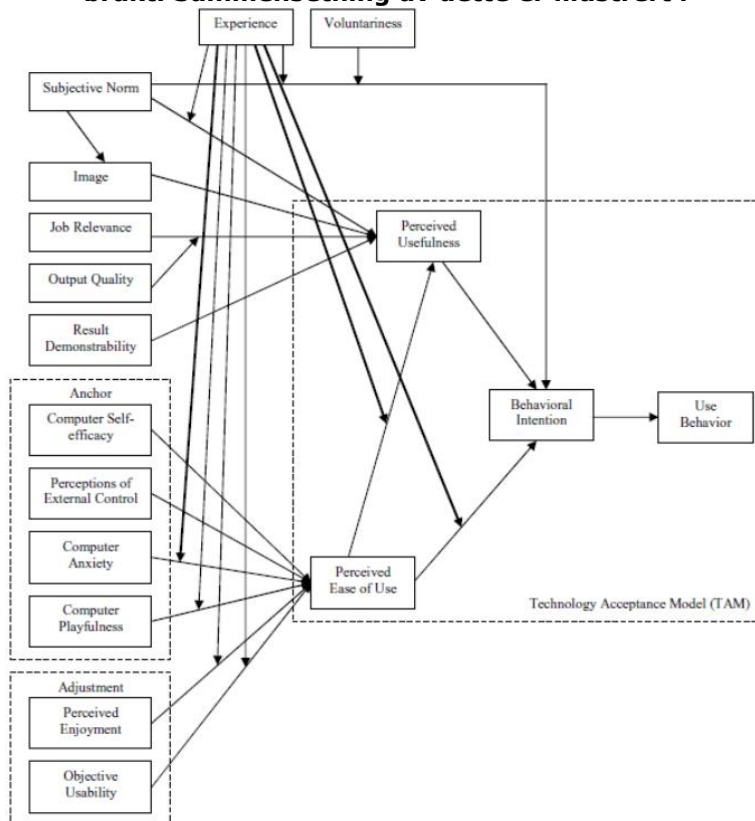
#### 3.5.1 TAM 3

TAM 3 av (Venkatesh og Bala, 2008) er en videreføring av rammeverket TAM. Det utdype hva som inngår i teknologiens opplevde nytte og opplevde brukervennlighet, samt hva som skal til for en vellykket implementering.

**Underkategorier, beskrevet som «determinanter» påvirker opplevd nytte og brukervennlighet vist i Tabell 3. Brukerens erfaring med lignende teknologier og frivillighet påvirker også opplevelsen, som sammen setter premisser for om utstyret blir**



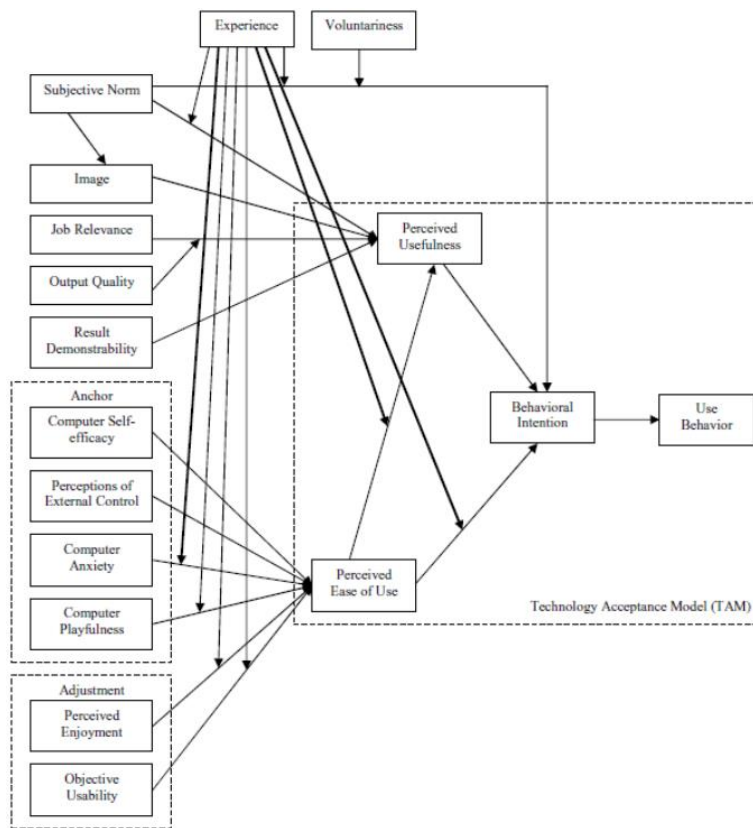
brukt. Sammensetning av dette er illustrert i



Figur 6, som har vært grunnlag for oppgavens intervjuguide.

**Tabell 3: TAM- opplevd nytte og brukervennlighet**

Opplevd nytte	Opplevd brukervennlighet
Enkelt å bruke	Enkelt å ta i bruk
Forventninger	Støtte fra organisasjon, tekniske ressurser
Status	Ubehag av teknologi
Job relevans	Opplevs morsomt
Kvalitet på utstyr	Greit å bruke uavhengig av nytteverdi
Dokumentasjons-/visualiseringsevne	Faktisk nytteverdi



**Figur 6: TAM 3 (Venkatesh og Bala, 2008)**

TAM3 tar også for seg bruk av teknologi etter implementering. Ansatte vil håndtere implementering på ulikt vis ut fra om det oppleves som en trussel eller mulighet, og om de opplever kontroll av systemet (Beaudry og Pinsonneault, 2005). Brukerne vil prøve å unngå systemet dersom de opplever å ikke ha nødvendige ressurser eller evner til å bruke det. Tre metoder foreslås for å effektivt støtte de ansatte, noe som vil kunne skape bruker-aksept for implementeringen.

- Trening og opplæring
- Støtte fra organisasjonen
- Støtte fra medarbeidere

### **TAM-AR**

Studien av (Elshafey *et al.*, 2020) har undersøkt opplevelsen av AR med BIM blant byggeaktører i utviklingsland med utgangspunkt i TAM3 rammeverket. Det kommer frem at jobbrelevans, dokumentasjonsevne og status er av stor viktighet for respondentene. Sistnevnte punkt for status indikerer at prestisjen gjennom bruk av utstyr er sentralt for om BIM-AR blir brukt eller ikke.

### **TAM-Laserskanning**

I en annen studie vurderes TAM i laserskanning (Sepasgozaar, Shirowzhan og Wang, 2017). Her settes det blant annet en hypotese om at teknologiens potensial for bruk er påvirket av brukerens forventning av ytelsen. Forventningen oppfattes å være påvirket av alder, hvor yngre deltager oppleves å være mer datakyndig enn den eldre generasjonen.

## 4 Kvasi-eksperiment



**Figur 7: Kastanjen, Hamar**

### 4.1 Kastanjen

Det ble utført et kvasi-eksperiment i byggeprosjektet «Kastanjen», Figur 7, som bygges av Betonmast. Det er et 8 etasjes leilighetsbygg med 87 boenheter som kombineres med en Rema 1000 matvarebutikk i første etasje. Prosjektet hadde sin oppstart i juni 2021 med planlagt ferdigstillelse sommeren 2023. Betongbygget er en blanding mellom primært plasstøpte elementer og prefabrikkerte elementer. Som vist i bildet er byggets nåværende tilstand i råbyggs-fase, som varer til høsten 2022.

#### 4.1.1 Dagens kvalitetsrutiner

Gjennom samtaler med Betonmast er det delt erfaringer som kan gi et innblikk i noen av Betonmasts daglige rutiner for å sikre tilstrekkelig kvalitet i prosjektet.

Veggen en betongarbeider setter opp baserer seg i hovedsak på papirtegninger av byggkonstruksjonen. Tegningene skaper forståelse for utførelse, men det kan være spørsmål til gjennomføringen. Ved å bruke mobil eller pc kan man se eller ta utskrift av byggets 3D-modell. Slik kan arbeiderne få en mer helhetlig forståelse av sammenhenger for hvordan en vegg skal settes sammen.

Før en betongvegg lukkes gjøres en kontroll av utførelsen. Det kan være å sikre høyde på vegg, riktig antall- og plassering av armering; som over- og underkant armering på utsparing. Betonmast har en formann ute som er ansvarlig for å gjøre en grov visuell kontroll før vegg lukkes. Dette føres inn i en støpdagbok sammen med hvor og når sjekken er utført. Samtidig har betongarbeiderne en egen digital sjekklister av utført arbeid gjennom Dalux Field (beskrevet i 4.2.1.4). Denne har en ferdig mal med kontrollområder som kan fylles ut (ok/ikke ok) sammen med beskrivende bilder.

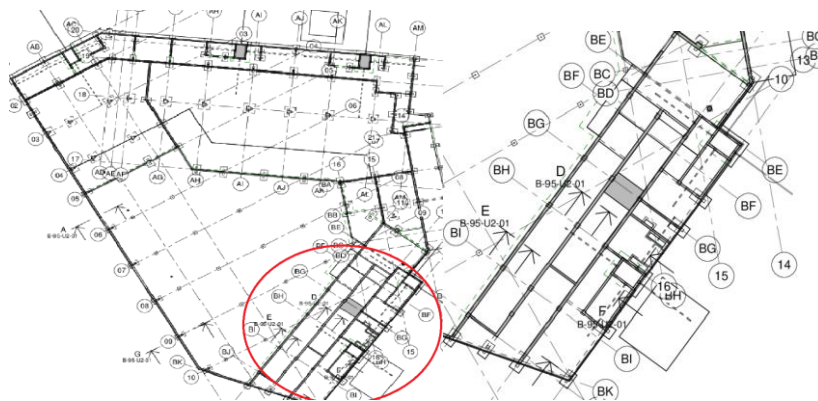
Til den hverdagslige kvalitets-kontrollen blir det utført stikkprøver av prosjektingeniør som kan etterprøve utført arbeid som beskrives: «Til dagen kvalitetskontroll bruker vi papir-tegning og tomstokk, eller bilde fra 3D-modell, tar bilde med telefonen rett til Dalux og lager en avviksmelding». Et prosjekthotell med Dalux brukes til å opprette avvik og sende det direkte til den ansvarlige. Det legges ved en tidsfrist og bilder som dokumentasjon. Den nye avviksrappotereringen ansees blant en informant å ha vært et verdifullt løft i Betonmasts kvalitetskontroll.

Før bruk av Dalux til rapportering ble telefon brukt til å ta et bilde som ble videresendt til egen mail for å lage avviksmelding på PC. Vi ser at antall avviksmeldinger er mange-doblet ettersom alt kan bli gjort direkte gjennom telefon.

Kvalitetskontrollen blir som oftest gjort med informasjon fra fagarbeider eller annen mistanke i avvik. Informant beskriver: «For dagens kontroll kan hvem som helst med tomstokk og tegningsforståelse sjekke ... .. skal du sjekke et hull tar det cirka 5 minutter fra du ankommer byggeplassen». Samtidig vurderer en annen informant at sjekken å påvirkes av kontrollørens bransje-erfaring. «For å lese tegninger og få helhetsforståelse er det lettere dersom man har erfaring. Man klarer å oppdage det, men må søke mer».

#### 4.1.2 Valg av område

Sammen med Betonmast Innlandet ble det i forkant planlagt mest aktuelle område for test for AR og laserskanner. Avgrenset område i kjelleretasjen ble utvalgt, Figur 8, en seksjon bestående av mange omsluttende vegger med flere utsparinger for rørføringer og døråpninger. Hele prosjektet har en sammensatt BIM-modell, som vist i Figur 9.



**Figur 8: Utvalgt område i kjelleretasjen**



**Figur 9: BIM-modell av Kastanjen**

## 4.2 Augmented Reality i kvasi-eksperiment

Hensikten med eksperimentet er å teste bruk av Augmented Reality, hvor mulige avvik kan identifiseres i det avgrensede området. Teknologien gir et sammenligningsgrunnlag med tilhørende BIM-modell. Forskjeller fra virkeligheten og BIM-modellen kan identifiseres av informantene på stedet, og kan vurderes som et mulig avvik.

### 4.2.1 Teknologi

Augmented Reality omfavner ulike typer teknologier som defineres i følgende kapitler

#### 4.2.1.1 Trimble Connect

Trimble Connect er en samarbeidsplattform for byggeindustrien. Gjennom en skybasert CDE er hensikten å koble riktig data til aktuell person når det trengs. (Trimble, 2022a). Teknologien tilrettelegger for å visualisere et 1:1 forhold mellom en digital BIM-modell og de fysiske omgivelsene.

#### 4.2.1.2 Trimble XR10 med Hololens 2

Kombinasjon av Trimbles XR10 teknologi og Microsofts Hololens 2 med vernehjelm skaper sammen en trygg Mixed Reality/Augmented Reality-opplevelse i industri-arbeid. Ifølge Trimble kan XR10 Hololens 2's Mixed Reality-teknologi koble sammen interessentene på byggeplassen og kontoret gjennom et forbedret og handlingstilretteleggende samarbeid (Trimble, 2022b). Bruk av brillene er vist i Figur 10.



**Figur 10: Bruk av XR10 Hololens 2**

Pris Trimble Connect XR10 Hololens 2: **\$5199 (Trimble, 2022c)**

Pris lisens MR og AR-løsning: **\$2100** per år (Trimble, 2022d)

#### 4.2.1.3 Trimble AR Connect

Trimbles «AR Connect» er en applikasjon som tilrettelegger for AR-funksjonalitet på mobil eller nettbrett. Ved å kunne se en digital modell i 1:1 format av bebyggelse kan prosjektteamet oppdage avvik eller uferdig arbeid, samt løse problemer i et digitalt samarbeid. <https://fieldtech.trimble.com/en/product/trimble-connect-ar>

#### 4.2.1.4 Dalux Field

Dalux tilrettelegger for en digital samarbeidsplattform for en byggeplass gjennom 3D-visualisering. En velbrukt funksjon for Dalux er «Dalux field». Her får underentreprenører tilgang på prosjektet, hvor arbeidsoppgaver kan kommuniseres (Dalux, 2022). Et

eksempel er i avvikshåndtering, hvor Dalux kan kommunisere og ansvarliggjøre byggefeil gjennom bilde og tekst.

#### 4.2.2 Forberedelser til kvasi-eksperiment

##### Smaragdbygget

Før eksperiment med Betonmast ble det utført en forberedende test av AR-teknologien. Testen fant sted i Smaragdbygget på NTNU-Gjøviks campus. Bygget har en tilhørende BIM-modell som tilrettela for test av AR, vist i Figur 12.



**Figur 11: QR-kode (venstre)**

**Figur 12: BIM-modell Smaragdbygget (høyre)**

For å kunne benytte seg av AR-opplevelsen ble den digitale modellen lagt til med et 1:1 forhold over de fysiske omgivelsene. To referansemetoder ble prøvd ut; kobling til to flater vinklet mot hverandre, og skann av QR-koder. Sistnevnte metode med QR-kode, vist i Figur 11, ga størst presisjon samt en kjapp oppstart. Derfor ble denne fremgangsmåten tatt med videre.

Etter å ha fått tilgang til prosjekthotell Kastanjen-prosjektet via Dalux-field ble relevante IFC-filer lastet ned. Filene ble videre lastet opp til Trimble Connect. Aktuelle filer for test var RiB som viser plasstøpt betong, og RiVv/RiVr som viser ventilasjonskanaler og rørføringer. Kanalene og rørføringer har behov for utsparring i betongen, og er derfor aktuell i kvalitetskontroll.

Videre ble QR-koder plassert i BIM-modellen i en sentral lokasjon av kontrollområdet. QR-koden(e) ble videre plassert i nøyaktig samme lokasjon som i det fysiske bygget, eksempelvis 1 m opp fra bakken, og 30 cm til høyre fra en valgt vegg. Dette gir et referansepunkt, slik at XR10 teknologien «skjønner» hvor man er i bygget. Omgivelsene fra BIM-en ble lagt til, hvor systemet følger forflytningene fra start til slutt med smarte beregninger. Det understrekes at XR-10 teknologien **ikke** er påvirket av GPS-signaler, brukt i lignende verktøy i ute-omgivelser.

#### 4.2.3 Gjennomføring av test: AR

##### Test av Trimble XR10 Hololens 2:

Brillene skrues på og settes i gang med innlogging; Trimble Connect startes opp hvor

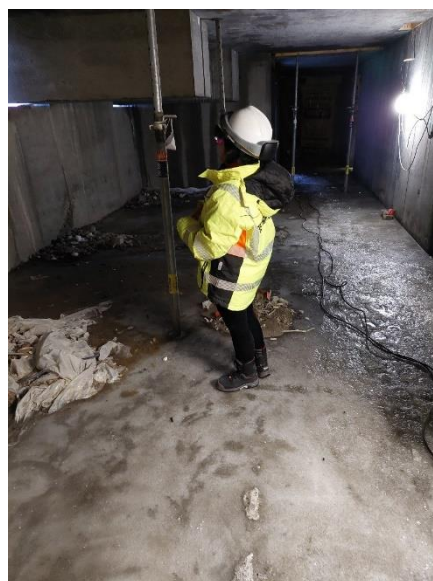
aktuelle filer for inspeksjon lastes inn. En «mini-versjon» av byggets BIM-modell blir synlig noen meter framfor personen, som plasseres i de fysiske omgivelsene. F.eks. på bakken midt i rommet. Oppstartsprosessen gjennomføres ved å bruke valgfri hand til å trykke og navigere seg gjennom en digital meny som befinner seg «i luften» like fremfor brukeren. Til slutt kobles BIM-modellen sammen med omgivelsene 1:1 ved å skanne den utplasserte QR-koden i bygget. Resultatet er AR-visualiseringen vist i Figur 13.



**Figur 13: AR-visualisering: Kastanjen**

Kjellerområdets mørke omgivelser samt fuktig betongvegg skapte noen utfordringer for å få AR-funksjonaliteten i gang. Det førte til at det tok mellom 5-15 minutter fra oppstart, til brillene var operativt funksjonelt. Prosessen før oppstart ble gjennomført av masterkandidat, selv om igangsettelsen kunne satt sitt preg på informantenes opplevelse av ny teknologi. Avgjørelsen var grunnet i en oppstartsprosess som etter antagelse ville krevd langt mer tid enn selve bruken av utstyret. Noen erfaringer:

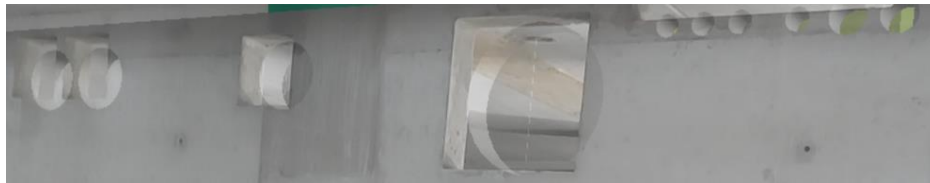
- Mørket hindret teknologien å identifisere overflater hvor «mini-versjonen» av modellen kunne plasseres. Lokasjon av denne plasseringen er uviktig, men er et steg som må gjennomføres før QR-kode kan skannes.
- For å skanne QR-kode er man avhengig av tilgang på tilstrekkelig lys samt ett relativt flatt ark. Hva som er «godt nok» skaper noe tidkrevende prøving og feiling.



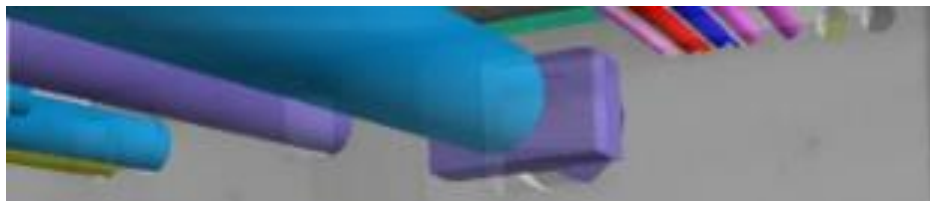
**Figur 14: AR- Bruk i kjellerområdet**

Etter at systemet var igangsatt fikk informantene overtatt brillene og kunne bevege seg fritt i omgivelsene, som vist i figur Figur 14. Kvalitetssjekken for området kunne starte, hvor det ble avdekket om uthulinger var gjennomført i henhold til BIM-modell. En kjapp sjekk for avgrenset område ble utført på rundt 5-10 minutter av hver person. Én informant testet utstyret i et annet prosjekt nær Kastanjen i uteomgivelser.

Det ble gjort en test av både Hololens 2 XR10-brillene og telefonløsningen. Teknologien gir et digitalt «overlay», og ble synliggjort over de fysiske omgivelsene. For noen kunne det ta noen sekunder før dette displayet registreres i synsfeltet. Nøyaktigheten kunne variere fra 0-5 cm i startlokasjon til titalls cm med sideforskyvelse etter bevegelse. Det er mulig å velge hva som skal vises, som med rørføringer vist i Figur 16, eller uten, vist i Figur 15.



**Figur 15: AR- Utsparinger**



**Figur 16: AR- Utsparinger med rørføringer**

Nøyaktigheten i form av forskyvning virker å være påvirket av:

- Kalibrering av utstyr i startpunkt
  - QR-kode må plasseres samme plass som i BIM-modell
  - Flaten QR-koden plasseres på må være riktig. Dersom den settes på en feilplassert vegg, vil veggen fremstå som riktig, og omsluttende omgivelser som feil
- Bevegelse fra startpunkt, større distanse skaper mer unøyaktighet.

Brillenes evne til å prosessere det digitale miljøet ble påpekt som et noe sårbart element. De detaljerte «tunge» modellene, gjerne i kombinasjon med andre, førte til tekniske utfordringer. Enkelte elementer kunne bli borte, eller ble først synlig på nær avstand. Lengre bruk av XR10-brillene kunne også gjøre systemet tregere. Brillene var også påvirket av sterkt sollys, en erfaring en av informantene gjorde seg i et uteområde. Alle overflater belyst av sola forsvant «overlayet», hvor den digitale modellen kun var synlig i skyggen.

Faktorer som påvirket den visuelle fremstillingen til XR10:

- Bruk av «tunge» IFC-filer
- Kombinasjon av flere IFC-filer
- Bruk over lengre tid
- Sterke lyskilder som sol



I test av brillene ble informant oppringt på telefon, som kunne besvares med frie hender. AR-Connect på mobil ble også testet ut, hvor oppstart kun krevde skann av QR-kode. Oppstartsprosessen ble ansett som en enkel og brukervennlig prosess. Alle bilder i bruk av MR/AR-teknologien er tatt fra mobil-kamera i etterkant av test, i og utenfor testområde.

Etter gjennomført test og intervju med Betonmast ble erfaringer delt med aktører i BuildingPoint Scandinavia. Her ble spesielt tekniske utfordringer adressert hvor teknologene viser til forslag gjennom prosessforbedringer eller ny Trimble-teknologi som forbedringsløsninger, vist i kapittel 5.4.

## 4.3 Eksperiment laserskanning

Hensikten med eksperimentet er å utforske bruk av laserskanning, hvor teknologien skaper en punktsky som kan identifisere mulige avvik i et avgrenset område. Skannet blir videre sammenlignet med tilhørende BIM-modell. Forskjeller fra virkelighet og BIM kan identifiseres, og vurderes som mulige avvik.

### 4.3.1 Teknologi

#### **Software: Dalux, Imerso**

Imerso er en plattform som kan overvåke og sammenligne det som bygges mot en BIM-modell for tilsvarende område. Ved bruk av laserskann-data kan Imerso videre validere/avkrefte om arbeidet er i henhold til BIM-en.

#### **Hardware: Leica BLK360**

Leica BLK 360 er en skanner som markedsføres på egne hjemmesider som «den minste og letteste bildelaserskanner i markedet» (Leica, 2022) Skanneren bruker 3 minutter på et skann som gir en punktsky med god oppløsning.

### 4.3.2 Forberedelser

Forberedelsene i bruk av laserskanner var utført på forhånd av Betonmast. Før test var skanneren koblet sammen med ipad, hvor prosjekteringsleder hadde lastet opp relevante IFC-tegninger av bygget, som vist i figur 18.

### 4.3.3 Gjennomføring av test: Laserskann

Laseskanneren Leica BLK360, Figur 17, plasseres i det avgrensede området i kjelleren, som vist i figur. Laseren tar bilder, samt lager punktsky av omgivelsene. Dette tar rundt 3 minutter. Etter utført scann flyttes laseren ca 5-10m hvor ny plassering lokaliseres manuelt på ipad. Dette «sys» sammen med tidligere utført skann. Etter rundt 10 skanns ble det opprettet punktsky for avgrenset område, noe som tok rundt 30 minutter. Skann av område er vist i Figur 19.

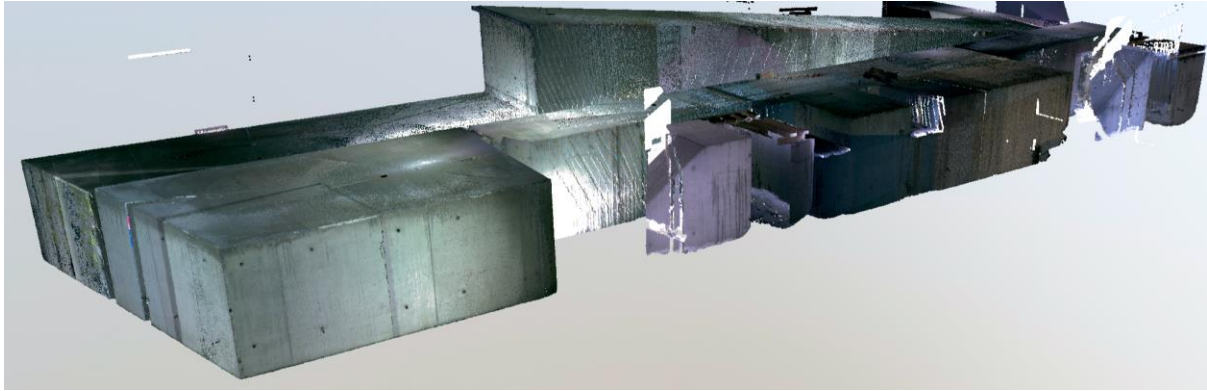


**Figur 17: Laserskanner**

Skannet ble utført i en mørk kjeller på vinteren, noe som kunne påvirke kvaliteten av resultatet. Her var det nødvendig med tilgang på god belysning, hvor seriekoblede lamper var tilstrekkelig lyskilde. Selv med gjennomførelse i februar var det ingen problemer med reflekterende overflater som snø eller is. Dette, sammen med glassflater kan redusere kvaliteten av skannet. En siste påvirkningsfaktor er mennesker og andre objekter som beveger seg i området når skannet pågår. Ved å holde seg fra synsfeltet til laserskanneren unngikk deltagerne å bli en del av skannet.



**Figur 18: BIM av kjellerområdet**



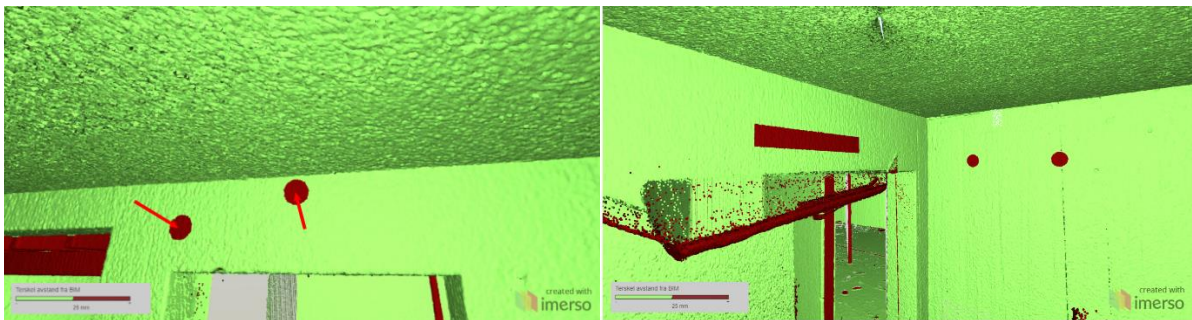
**Figur 19: Skann av kjellerområdet**

#### 4.3.4 Sammenligning av punktsky i Imerso

I etterkant av skannet ble punktskyen satt sammen med IFC for området med Imerso. En minimumsgrense for avvik på 25mm ble satt vist i Figur 20, som betyr at punktdata som oppfyller minimumskrav fargelegges grønt. Forskjeller som overstiger 25 mm farges rødt. Eksempel på avvik fra test er vist i figur Figur 21, hvor rødfargen til de runde og rektangulære utsparinger viser til forskjell mellom prosjektering i BIM og praksis.

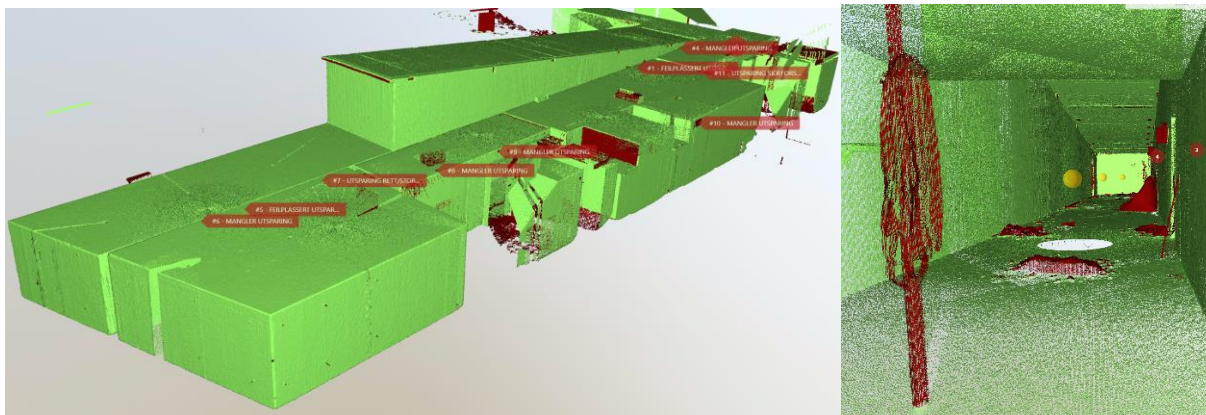


**Figur 20: Avviksgrense-25mm**

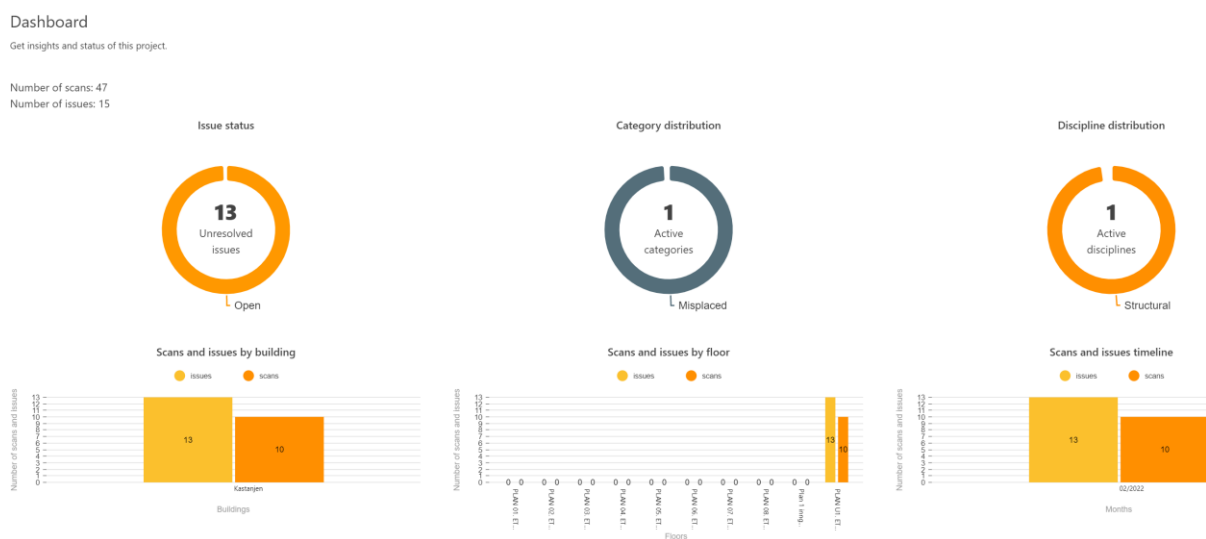


**Figur 21: Avvik fra BIM- Utsparinger**

Etter «fargeleggingen» med tydeliggjorte avvik fra BIM kan det gjøres en vurdering av denne sammensatte modellen. Fargene gjør at man enklere kan oppdage utsparinger plassert feil i forhold til modell. Dette gjelder også for annet støy, som grus eller stolper, vist i Figur 22. Etter at avvik var identifisert ble det opprettet «issues» som avviksmeldinger. Prosjekteringsleder utførte denne merkingen, hvor 13 «issues» ble utført på rundt 15 min. Avvikene lagres som en liste med bilde og beskrivelse som kan struktureres og listes i dashboard-funksjonen, Figur 23



**Figur 22: Modell etter vurdering av avvik**



**Figur 23: Dashboard Dalux**

Betonmast har foreløpig ikke integrert løsning mellom Imerso og Dalux. De eventuelle avvikene blir i etterkant eksportert til Dalux. Avikene kan så videreformidles til de/den ansvarlige.

## 5 Intervjuer

I etterkant av felt-testing av Augmented Reality og laser skanning er det gjennomført påfølgende intervju til refleksjon rundt opplevelsen av brukt teknologi. Erfaringer for Augmented Reality og laserskanning gjelder for Betonmast. Ny teknologi og løsningsforslag gjelder for Buildingpoint Scandinavia.

### 5.1 Augmented Reality

Opplevde fordeler/ulempes AR mot dagens metoder vist i tabell:

**Tabell 4: Fordeler/ulempes AR**

<b>Fordeler AR</b>	<b>Ulemper AR</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Skaper forståelse av hva som skal bygges</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Ikke tilstrekkelig nøyaktighet</b></li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Store feil og mangler kan oppdages</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Sårbart for blant annet lys og prosessering</b></li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Effektiv kvalitetssjekk av et større område</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Krever en del forberedelser</b></li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Enkelt å bruke når systemet er i gang</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Usikkerhet rundt dokumentasjonsevne</b></li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Moro/spennende å bruke</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Kostbart</b></li></ul>

#### **Nytte:**

Flere av informantene trekker frem visualiseringen med AR som et element som øker forståelsen av dagens kvalitetskontroll. Muligheten til å visualisere fremtidig bebyggelse oppleves forbedret til sammenligning med papir-tegninger eller en digital fremstilling på datamaskinen. To av informantene beskriver sin opplevelse:

Det er jo litt moro å gå i rom i et helt tomt råbygg for å se tekniske føringer som kommer, noe man ikke får sett på en 2D tegning på samme måte. Vi sitter i en 3D-modell og ser mye på det, men får du AR- brillene på deg og ser det i det virkelige rom, kan du se andre utfordringer enn de du ser i 3D-modellen på pc.

Først og fremst er det spennende å prøve ut ny teknologi. Du får en helt annen måte på å se det realistiske sammen med det som er i modell. Sammenføyningen blir tatt et nytt steg videre... ..Du får en god visualisering av hvordan det skal bli, og hvor du er i prosessen.

Selv om bruk av XR10 kan være støttende i å oppdage avvik, opplever informantene ikke å kunne lene seg på teknologien. Det vurderes utfordrende å oppdage mindre posisjonsavvik eller et loddavvik av en betongvegg som poengteres av en informant:

Når det kommer til kvalitetssikring på om utførelse som ikke er gjort, da klarer man å avdekke det. Derimot hvis utførelsen er gjort, men med små målefeil vil det kanskje bli verre å oppdage... ..Det ligger noen begrensinger i bruk av AR i forhold til at det er du selv som må oppdage avvikene. Du har ingen som avdekker avvikene for deg.

For at AR skal oppleves nyttig vektlegger informantene at utstyret må ha tilstrekkelig nøyaktighet. I produksjon av betongvegg jobbes det med toleranseverdier som gjør det

nødvendig med presisjon nær 1 cm. Manglende nøyaktighet gjør at informanter stiller tvil til utstyrets nytteverdi, hvor man i etterkant må tilbake til dagens metoder med tegninger, målband og tomstokk. Erfaringen fra en informant eksemplifiserer dette:

Hvis presisjonen og brukergrensesnittet [av AR] kommer dit vi trenger det, kunne det vært nyttig. For dagens sjekk må presisjonen være på centimeteren. Når en utsparring har 10 cm avvik får du ikke relasjon til om plasseringer er riktig. Hvis avviket hadde vært +- 1 cm kunne du anta riktig plassering.

Ut fra testen fremstår teknologien blant informantene å være mer tilpasset for å oppdage de åpenbare feilene. Et aktuelt bruksområde for AR ansees å være å kunne avdekke mulige grove feil før betongveggen lukkes. Visualiseringen ansees foretrukket fremfor tegninger og BIM-kiosk, hvor usikkerhet for om det er én eller to dører unngås. Dersom dette utvides til produktspesifikk informasjon, som en armering med gitt tykkelse. En tenkt kvalitetskontroll med AR beskrives av informant:

AR kan brukes til å se på plassering av vegger og stenger, og utsparring for dører, vinduer og tekniske gjennomføringer. Plasseringen er sånn passe, men kan ikke stole 100% på at det du ser gjennom briller er helt nøyaktig. Men du får et bilde om plasseringen er fullstendig feil.

En betongvegg som skal støpes har en tilhørende digital armeringstegning med informasjon for ulike armeringstykkelser. Dette oppleves å ikke være enkelt tilgjengelig i Dalux-systemet. Dersom AR-brillene kunne visualisert tykkelsen med tallverdier ville teknologien blitt opplevd som svært nyttig.

AR-teknologien oppleves blant de fleste informantene å ikke påvirke status i særlig grad. En opplever at teknologien vekker interesse. Etter gjennomført test ble personen spurt av andre fagarbeidere som var nysgjerrige på hva som hadde foregått, og syntes det virket interessant. En vurdering blant en av informantene er at som initiativtaker til ny teknologi vil inntrykket påvirkes av hvor suksessfullt implementeringen blir. Det oppleves som reelt dersom man kjøper inn en teknologi, men man klarer ikke å få igjen for investeringen. Da kan statusen gå ned. Hvis man derimot har sørget for å implementere en teknologi som generer gode penger for bedriften, vil det skape et positivt inntrykk for sjefen.

### **Brukervennlighet:**

En kjapp oppstart samt et enkelt brukergrensesnitt oppleves av flere å være viktig for at teknologien blir brukt. Bruk av QR-koder for å sette systemet raskt i gang nevnes som et eksempel på dette blant et intervjubjekt: «For at folk skal bruke det, må det være enkelt.

Det oppleves å være en forskjell på om det er briller eller mobil som brukes i kvalitetskontroll. Det gjelder spesielt for oppstartsprosessen, hvor igangsettelsen oppleves enklere på telefon. AR virker derimot å ha et mer komplisert og tidkrevende brukergrensesnitt beskrevet av informant: «Brillene virket relativt avansert, ikke bare å ta dem på seg og trykke på «on», så er du der du skal, det krever noen forberedelser.» En annen informant har en lignende erfaring: Brukergrensesnittet ansees også å kreve noe erfaring hvor en «mer grunnleggende opplæring ville være nødvendig for å få systemet til å fungere.»

Når systemet er igangsatt, virker både AR-briller og mobilløsningen som funksjonelle. Tiden brukt i forberedelser tas i betraktning av å kunne gjøre en kvalitetssjekk for et større område, beskrevet av informant:

Så lenge hele modellen ligger inne, er det fort gjort å sjekke et helt bygg, for da er det bare å gå en runde i hele bygget... .. Bruker du en hel dag for å sjekke et helt bygg, er det verdt investering.

Det indikeres at bruken av AR kan ha ulike forutsetninger hvor terskelen for å ta i bruk kan bli for stor for noen. Det poengteres av intervjuobjekt: «Tror ikke at hvem som helst kunne satt seg inn i teknologien, hvis du hadde satt en nesten-pensjonist til å prøve teknologien hadde det blitt for fjernt.» En annen informant har en annen oppfatning, som opplever at selve 3D-visualiseringen er nyttig uavhengig om man er 60- eller 18 år. Inntrykket er at byggeplassen har variasjon av folk i alle aldre, fra ulike kulturer samt forskjellige måter å løse problemer på. Samtidig ansees noe erfaring i kombinasjon med interesse som en viktig driver i å prøve ut ny teknologi:

Ta det tilbake til bruk av data, de som ha vokst opp med data og telefon er mer stabile og kan mere om bruken av det. For de som er eldre kan databruk begrenser seg til kabal. Du må ha en interesse for å lære deg det, og for å kunne det, og så blir det samme utvikling som annen teknologi, du må ha interesse og lyst. Men for all del, alle klarer det hvis man har lyst.

Koblingen mellom AR og eget rapporteringssystem Dalux stiller spørsmål angående brukergrensesnittet. Dersom AR ikke inngår i dagens system, kan det oppleves som mer tungvint. Når etterarbeid må gjøres på pc'n kan det føre til at det glemmes vekk i en jobb hvor nye utfordringer av høy prioritet ofte oppstår. En rapportering som kan ferdigstilles på stedet vil flere se potensiale i. Samtidig må løsningen være koblet til dagens system, hvor et bilde enkelt kan videreformidles til den ansvarlige på lik linje med Dalux-systemet.

På konsernnivå ansees det å være interesse for å ta i bruk ny-teknologi som AR i pilot-prosjekt. Bruk av AR har blitt testet av en tidligere teknologisk variant (HoloLens 1) i et annet Betonmast, men ble skrinlagt. Selv med et avansement til HoloLens 2, gis det uttrykk for at AR ikke kommer til å bli satset på internt i selskapet med det første. «Kost nytten er ikke der, hovedfokuset nå er satsing på laserscann»

## 5.2 Laserskanning

Opplevde fordeler og ulemper laser-skanning vist i tabell:

**Tabell 5: Fordeler/ulemper laserskanner**

<b>Fordeler laserskann</b>	<b>Ulemper laserskann</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Grundig, 100% kontroll</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Tidkrevende sjekk</b></li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Mindre avvik blir oppdaget</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Tidkrevende etterarbeid</b></li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Svært god dokumentasjonsevne</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Brukes reaktivt</b></li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Enkelt å ta i bruk</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Kostbart</b></li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Gjør kvalitetssjekken tryggere</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Uklarheter rundt nytteverdi</b></li></ul>

### **Nytte:**

Bruk av en laserskanner oppleves blant alle intervjuobjektene først og fremst å gi en grundig kvalitetssjekk av skannområdet. Med nøyaktighet på millimeternivå skapes en trygghet, hvor informantene stoler på teknologiens skann-målinger. Grundigheten ansees

å ha sine fordeler og ulemper med en nytte som vurderes i lys av en tidkrevende prosess av informant:

Hvis du sjekker en utsparing med papir-tegninger og tomstokk tar det 5-10 minutter, hvor et laserskann tar 30 minutter med etterfølgende prosessering. Men da har du en 100% sjekk.

Etter utført skann ansees visualisering med farger og avviksprosent av eventuelle feil og mangler, en nytte som uttrykkes av flere. Videre tenkes det å være enkelt for andre å kunne ta over, etter at kvalitets-sjekken er utført. Laserscanning vurderes derfor å ha en forbedret dokumentasjonsevne til sammenligning med tradisjonell metode.

Dokumentasjonen fra laserskann skal ha blitt brukt i retten, for å motbevise en påstand om mangelfullt arbeid. I likhet med selve skanningen, oppleves etterarbeidet av skannet som en noe tidkrevende prosess.

Noen av informantene opplever skanne-prosessen å være svært påvirket av formålet, mer tilpasset større områder med flere feil fremfor enkeltobjekter. En informant setter skann-prosessen i kontekst av formålet: «Tid brukt på skanning vil være situasjonsavhengig. Du bruker langt mindre tid hvis hensikten er et fullstendig skann av hele arealet, og du ønsker dokumentasjon av hele bygget.» Samtidig stiller en annen informant spørsmål til kost-nyttens fra den grundige sjekken:

Hvis du bruker en uke på laser-skanning og alt du finner ut av er at alt er riktig, hva har du oppdaget? Det samme som du antok før du begynte. Det er en fin trygghet, men ansees ikke som nødvendig.

Nytten av Laserskanning vurderes ikke å være lik for alle på byggeplassen. Det gjelder spesielt fagarbeidere, hvor skanning av en uferdig vegg i liten grad oppleves å forenkle arbeidet. Det beskrives av en informant: «Håndverkeren har sitt å drive med, det hjelper ikke å utføre et skann av en uferdig konstruksjon». Informasjon fra skannet ansees ikke å være av spesiell relevans for betongarbeideren og fremstår som en tidkrevende prosess. Samme informant ser for seg at ansvaret bør ligge på «... noen inne på funksjonærsiden som er ute og sjekker at arbeidet er gjort».

Bruk av skanner oppleves å utvide Betonmasts muligheter for kvalitetskontroll. I gjennomføringen av en kvalitetskontroll kan det være utfordrende å nå områder hvor dagens målemetoder ikke strekker til. Et eksempel kan være en høy vegg, hvor tenkt mål-lokasjon har ugunstig plassering. Her kan en laserskanner tilrettelegge for sjekk som man ellers ikke hadde kommet til, eller høydearbeid som kunne skapt risiko eller ubehag. Samtidig kan bruk av avansert utstyr føre til ubehag for å være uheldig, en opplevelse som gjald for et av intervjuobjektene: «I dag er utstyret så dyrt at du kan bli redd for å ødelegge det med følgende ansvar»

En direkte kost-nytte oppleves svært viktig for teknologisatsing, som ikke er et unntak for laserskanning. Skanneren har allerede gjort seg én slik verdifull erfaring utenom kvalitetskontrollen. Etter utført skann i et annet prosjekt ble den faktiske tomteplassering i forhold til nabobygg oppdaget å være 0,8m feilplassert. Det med utgangspunkt i tegninger fra konkurransegrunnlaget. Slike verdiskapende erfaringer ansees å være drivere for om utstyret blir brukt.

### **Brukervennlighet:**

Skannet oppleves blant informantene som ikke spesielt komplisert å gjennomføre. Etter å ha utført etter å ha utført skanning én gang, regner med de fleste å kunne få det til i fremtiden. Det samme gjelder for dokumenteringen av skannet.



Det å få en god opplæring oppleves som viktig for skannerens bruk i prosjektet. Det gjelder ikke for å få systemet til å fungere som ikke fremstår som spesielt avansert, men en grundig introduksjon i bruksområder og fremgangsmåte. Spesielt det å kunne lære av andres erfaringer vurderes som et viktig element. Implementeringen av laserskanning gjelder for flere av intervjuobjektene, hvor uttrykker en usikkerhet i hvordan teknologiens skal nyttiggjøres.

Vi har utstyrer (laser skanner), men vi, eller i hvert fall jeg vet ikke helt hvordan det skal nyttiggjøres i prosjektet. Vi har ikke hatt noe opplæring i bruken av det. Noen mener det fungerer, men jeg vet ikke hvordan det skal tjene penger, eller gjøre kvalitetssjekken bedre.

Et perspektiv fra en annen informant er at laserskanning oppleves å bli nedprioritert som følge av ledelse og/eller andre kollegaer ikke opplever at teknologien skaper en fortjeneste:

Med mindre det er bevist å være lønnsomt, og generer penger er det ingen som bryr seg i å ansette en person bare for å drive med dette (skanning). Det blir ansett som et utgift, spesielt for prosjekter med mindre økonomisk budsjett.

Innkjøp av laserskanneren ble gjort etter prosjektstart, som ikke bærer rutinemessige preg med seg. Til nå er laserskanner blitt brukt i diverse prosjekter med ulike formål i avdeling Innlandet. I prosjekt Kastanjen er skanneren kun brukt et par ganger, hvor manglende implementering gjør at en informant er usikker på teknologiens fremtid: «Teknologien blir ikke brukt gjennom hele prosjektet, men én eller to ganger når det er gøy å holde på med det, for så at interessen blir borte»

En informant vurderer nytten av laserskanneren til kvalitetssjekk. Den vurderes å være større i et fremtidig scenario dersom flere byggefeil oppstår:

For laserskanneren vi har én av, med mange ulike bygg, noen plasser fungerer det og vi kan generere penger fra det. I fremtiden kan det bli mer nyttig for oss, spesielt hvis byggefeil blir et større problem. Da blir vi mer interessert i å lære om det, og det oppleves som mer nyttig.

### 5.3 Ny teknologi med Buildingpoint Scandinavia

Opplevde muligheter og utfordringer i bruk av ny teknologi (til kvalitetskontroll i byggebransjen eller andre formål) vist i tabell:

**Tabell 6: Opplevde utfordringer/muligheter av nye teknologier**

<b>Muligheter av nye teknologier</b>	<b>Utfordringer av nye teknologier</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Stor interesse, spesielt når kost-nytte er klar</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Lite initiativ fra næringen</b></li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Effektiviserer arbeidsprosesser</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Begrenset kunnskap om ny-teknologi</b></li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Tilrettelegge for kommunikasjon</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Aktører går tilbake til dagens metoder</b></li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Visualisering av aktuell prosjektinformasjon</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Kan være utfordrende å ta i bruk</b></li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Skape et enkelt og brukervennlig grensesnitt</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>En feilinvestering kan gi negative konsekvenser</b></li> </ul>

I møte med bransjen oppleves det blant intervjuobjektene å være en stor interesse for å ta i bruk nye teknologier. En informant mener interessen forsterkes ytterligere dersom verdien av teknologien oppleves som en selvfølgelighet. Det kan f.eks. være å redusere en mengde feil hvor en slipper resurskrevende oppretting, eller ved å redusere et pengebruk. Hvilken metode eller teknologi som skal brukes er nødvendigvis ikke en selvfølge, hvor aktørens beskrivelse ikke nødvendigvis gir riktig antagelse for løsning med det første. Dette poengteres av informant: «Vi finner oftest problemstilling, men det er ikke alltid man har svaret» Ved å teste teknologien sammen kan en god løsning utarbeides.

Som eksempel nevnes en erfaring med VVS-bedrift som ønsket å anvende en annen metode enn målband og tomstokk til rørplassering. Bruk av deres egen totalstasjon RPT600 ble en god løsning for en enkel og automatisk oppmåling. Opplevd nytte eksemplifiseres av informant:

Dersom man ser en direkte nytte av teknologien, da går det veldig fort. Vi gjorde 3 dagers arbeid til 5 timer. Da er det at kost-nytte har en direkte konsekvens i bruk av ny teknologi, som gjør det enkelt for dem.

Hvem som drar lasset oppleves av Buildingpoint Scandinavia å variere. Som for anleggsnæringen er det ikke uvanlig at byggherre stiller krav om skann-oversikt av som-bygd dokumentasjon. Ellers har det ofte vært dem selv som tar initiativet for å vise teknologiske muligheter, beskrevet av informant: «Opplever sunn skepsis. Jobben er å fortelle at teknologien er her». Løsningen for VVS-bedrift er et eksempel på dette, beskrevet av en annen informant:

Vi starter en ball, fordi man ofte ikke vet hvilken teknologi som fins. Det her var helt nytt for disse gutta som følte at det var magisk. Vi spiller ballen først, og viser at det fungerer. Når teknologien kommer ut på byggeplassen vil det komme en naturlig vekst av etterspørsel.

For teknologi som AR og XR10-brillene er visualiseringsfunksjonen viktig, men ett av intervjuobjektene opplever store potensialet å være i en tilknytning av kontoret sammen med byggeplassen:

AR og XR briller må også tenkes som et kommunikasjonsverktøy med ulike anvendelsesområder. Det er nok mange som tenker AR bare som visuell kontroll. Det er ingenting annet per i dag... ..Ved å kommunisere- og å visualisere på andre sett som å ringe og kommunisere det man ser med noen andre- da er det kommunikasjon.

Dersom en person analyserer og beholder data for seg selv, vurderes det og fører til lite. Det kan være en BIM-teknikk som forvalter alt av data, hvor det kan være utfordrende å gjøre denne tolkbart for en konsument. Det kan gjøres ved å dele dataen ned til mindre deler til personen som skal bruke. Det kan regnes som en prosjektnedbrytningsstruktur som kan brukes i et anleggsprosjekt. Her ansees det å være potensial for en jernbinder å velge blant annet:

- Aktuell seksjon av tunell
- Informasjon om antall armering
- Bøyform
- Centimeter-avstand

Alt skal kunne være enkelt tilgjengelig, beskrevet av informant:

Informasjonen fins, det gjelder å bryte den ned slik at det kan anvendes ... .. Det er metoden. Skal være så enkelt som mulig, skal ikke bruke år og dag på å navigere i modell for å finne ut hva du skal gjøre. Det må spesialiseres på det du har lyst til å se.

Samme informant understreker sammenkoblingen mellom kontoret og byggeplassen: «Tar den virkelige verden inn i den digitale, for så den digitale ut til den virkelige.»

Møtet med ny-teknologi vurderes å være variert blant aktørene, som påvirker hvem intervjuobjektene er i kontakt med: «De som er vågale, innovative og tester, de prater vi mye med». Noen oppleves å ha en «vi kjører» innstilling, men det er gjelder ikke alle, hvor personlighet ansees å påvirke. Andre kan ha en delvis interesse i å prøve ut ny teknologi, men erfaringsvis går mange omsider tilbake til tegninger og målebåndet.

Konsekvensen av å være ansvarlig for implementering av ny teknologi ansees av en informant å kunne gi ettervirkninger for personens status: «Hvis det genererer en nytte og skaper en verdi med avending av teknologi får man status for å ha tatt det inn». På den andre siden kan det skapes en negativ reaksjon fra å ta bruk teknologi uten nytte.

Gjelder generelt for alle innkjøp, hvor for en gravemaskin som havarerer etter 6 mnd gir negativ respons, hvor man har prioritert ett merke fremfor andre- som står og ruster på bakrommet- hvor navnet ditt blir tilknyttet det dårlige innkjøpet.

Inntrykket blant flere er at det digitale skifte oppleves som en brå overgang i byggebransjen. Det kan være ved tegningsfrie arbeidsplasser, hvor mange møter ny teknologi for første gang. Her opplever en informant: «Mange som sliter- vet ikke hva de skal gjøre.» Det oppleves å være individuelle forskjeller, hvor samme informant opplever alder som et element som kan påvirke: «Forskjell på f.eks. barn og voksne, hvor et barn kan ta de på sekunder, men voksne er redd for å trykke feil.» Buildingpoint Scandinavia følger opp kundene når ny teknologi tas i bruk. Det kan være gjennom oppfølging punktvis opplæring for hva som skal klikkes og trykkes på, hvor byggaktører får trygghet gjennom praksis.

Satsing på innovasjon ansees å være nødvendig for bedrifter som ønsker å skape en spennende arbeidsplass. Her vurderes bruk av robottunden «Spot» som et tiltak for å kunne gjøre et arbeid tryggere eller redusere arbeidsmengden. «Første foretak som kan bevise nytte av robottund vekker interesse for fremtidige jobbsøkere». Det oppleves å stå i kontrast med bedrifter som i liten grad satser på innovasjon, og fortsatt jobber hovedsakelig med 2D-tegninger.

## 5.4 Løsningsforslag av obeserverte utfordringer: Laserskanning og AR

Den amerikanske robottunden "Spot", Figur 24, fra Boston Dynamics har inngått et samarbeid med Trimble, hvor hunden er utstyrt med laserskanneren Trimble x7. Trimble x7 er en avansert skanner hvor manuell kalibrering mellom skannings ikke er nødvendig. Kombinasjonsløsningen tilrettelegger for mer autonome skanninger, hvor menneskelige intervensjoner kan reduseres. Spot er også utstyrt med en egen LiDAR-skanner som registrerer omgivelsene til hjelp for hunden i navigasjon.



**Figur 24: "Spot" i aksjon, med trimble skanner og LIDaR navigasjon**

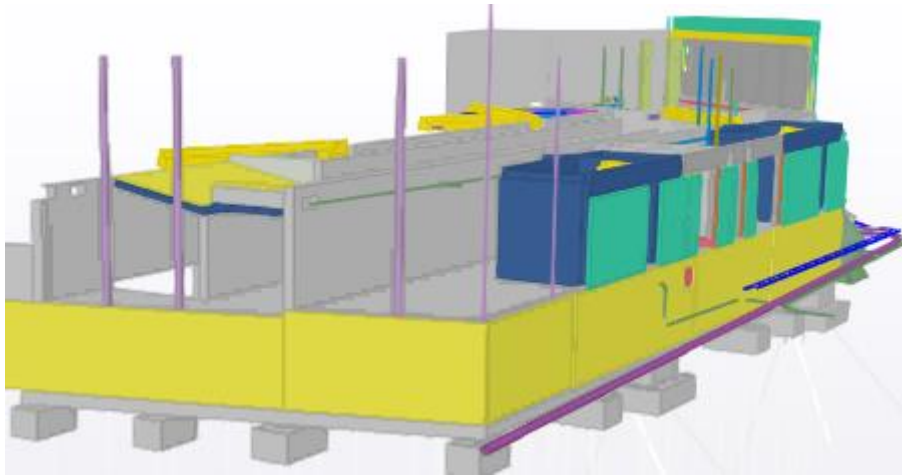
Spot nevnes å kunne tilrettelegge for en tryggere arbeidshverdag. Et eksempel for bruk er i områder med uavklart risiko, som en grotte hvor masser som kan falle ned. Samme risikoavverging gjelder for stikningsarbeid nær en trafikkert motorvei. Et bruksområde fra en annen bransje er til identifisering av gasslekkasje på oljeplattform.

Et nærliggende bruksområde i byggenæringen vurderes av Buildingpoint Scandinavias aktører å være autonome skann av byggeplassen. Det kan være et boligbygg hvor det på forhånd legges rute for hunden. Utførelsen av skann kan deretter skje utenom arbeidstiden for å unngå å være til forstyrrelser. Så lenge «Spot» ikke støter på en hindring, som en stengt døråpning, kan den på egenhånd kunne navigere seg fra start-til slutt punkt. Neste dag kan skannet brukes til å oppdage og håndtere avvik, eller følge opp fremdrift.

### **Observert utfordring 1: Modell-filen er for stor, prosessering av modell blir ikke tilstrekkelig**

#### **Muligheter:**

Bruk av desktop-versjonen av Trimble Connect tilrettela for å avgrense BIM-en til valgt område. Kun område-relevante elementer ble tatt med, hvor alle andre objekter utenfor kjeller-området ble fjernet. Resultatet ble én samlet modellfil, av avgrenset område med filstørrelse under 10MB, redusert fra 200-500MB i test med Betonmast, vist i Figur 25. I etterkant av eksperimentet ble den nye filen testet på mobil av masterkandidat, hvor visualiseringen opplevdes som problemfritt. Aktør fra Buildingpoint Scandinavia påpeker at MR/AR teknologiens prosessering er begrenset av antall polygoner av elementene, ikke selve filstørrelsen.



**Figur 25: Modifisert BIM-fil, 10MB**

### **Utfordring 2: AR oppleves ikke å ha tilstrekkelig nøyaktighet**

#### **Muligheter:**

Alternativ 1: Plassere et nettverk av QR-koder med 10-15m avstand ble foreslått for å redusere avviket forårsaket av bevegelse. Det kan tilrettelegge for en bedre nøyaktighet utført i test.

Alternativ 2: Bruk av egen totalstasjon Trimble RPT600 til plassering av objekter før tetting av vegg. Totalstasjonen skal ifølge egen nettside tilrettelegge for en arbeidsflyt som muliggjør presise innmålinger kjapt og enkelt som hindrer etterarbeid. (Trimble, 2022e)

Alternativ 3: Kombinasjon av totalstasjon og XR-briller. Gjennom den nyutviklede FieldLink MR-løsningen, kan man med assistanse fra totalstasjon som RPT 600 gjøre XR10-brillene like nøyaktig som teknologien selv. (Trimble, 2022f) Altså en nøyaktighet på millimeternivå. En demonstrasjon av kombinasjonsløsningen kan sees på:  
<https://www.youtube.com/watch?v=ji4zuokUM1k>

### **Utfordring 3: Display av AR forsvinner i sollys**

#### **Muligheter:**

Representanten nevner at XR10 brillene kan utstyres med solbrier, noe som er under utvikling, hvor displayet ikke forstyrres av sollys. Brillene HoloTint SKU XR10-SHADE har i skriveperioden blitt tilgjengelig for salg til den nette sum av **\$300**, som kan tilrettelegge for utearbeid på tross av sollys. (Trimble, 2022g)

## 6 Diskusjon

Diskusjonen har som hensikt i å svare på de 3 forskningsspørsmålene beskrevet i introduksjon. Først er det tenkt å sette ord på hensikten med en kvalitetskontroll. Videre diskuteres opplevelsen av Augmented Reality, etterfulgt av den opplevde implementeringen av laserskanning. Til slutt vurderes fremtidige muligheter i implementering av nye teknologier.

### **Hvorfor kvalitetskontroll?**

Gjennomført kvalitetskontroll med nye teknologier har foregått i et ferdigstøpt område hvor feil allerede har oppstått. Foreslåtte ny-teknologier kan oppdage feil som kan følges opp. Ved større feil kan det rettes opp med inngripende metoder som kjerneboring, saging av ny utsparing eller annet. Er dette en fornuftig tilnærming i håndtering av avvik? Digitalt Veikart 2.0 påpeker at man bør sørge for å levere riktig første gangen, hvor riktig digitalisering er en tilrettelegger. En digital kvalitetskontroll gjennom «brannslukking» oppleves ikke nødvendigvis som verdiskapende eller hensiktsmessig bruk av ny teknologi.

På den andre siden kan ny teknologi i kvalitetskontroll skape en involverende prosess, som øker kvalitets-fokuset for fagarbeidere og funksjonærer. Dersom mange feil oppdages, kan det indikere et behov for et mer grundig arbeid. Uansett vil det være fordelaktig å oppdage feil, heller før enn senere. Kanskje kan det føre til et prosjekt som bruker mindre enn 5% på avvik av de totale byggekostnadene. En forbedret kvalitetskontroll kan derfor spille en viktig rolle, som bidrar til et sluttprodukt alle interessenter er fornøyde med.

### 6.1 Hvordan oppleves Augmented Reality i kvalitetskontroll

Gjennom eksperimentet med Betonmast er det skapt et førsteinntrykk av teknologiens muligheter og begrensninger. Her kan det være forbedringspotensial gjennom tidsbesparelser, informasjonsflyt eller en mer spennende prosess. Samtidig kan faktorer som manglende presisjon og et utfordrende brukergrensesnitt skape en barriere. Opplevs Augmented Reality å være tilpasset til dagens kvalitetskontroll?

#### 6.1.1 Opplevd nytte

Til den daglige kvalitetskontrollen gir Betonmast tidlig uttrykk for viktigheten av utstyrets presisjon. For at en AR-teknologi skal oppleves nyttig vil det være viktig å oppdage eventuelle feil, inkludert mindre posisjonsavvik inntil 1 cm. En manglende nøyaktighet på opptil flere centimeter gjør at det stilles tvil til teknologien. Erfaringene samsvarer med (May *et al.*, 2022), hvor centimeterpresisjon virker å være nødvendig i implementeringen av AR.

Kanskje er det andre bruksområder som er bedre egnet for AR-teknologien? Erfaringer fra (Chalhoub, Ayer og McCord, 2021) tilsier at teknologien er godt tilpasset for å effektivt oppdage større posisjonsavvik. Dette samsvarer med informantenes erfaringer. Ved å kunne oppdage avvik i forkant av utførelse, som før støp av en betongvegg, vil teknologien ansees som hensiktsmessig. Feilplasserte vindusutsparinger kan enkelt

oppdages og endres, og fagarbeiderne slipper inngripende opprettingsarbeider i etterkant. Et slikt bruksformål til teknologien ansees å være nyttig, spesielt for fagarbeiderne.

Visualiseringen av planlagt bebyggelse ble opplevd blant informantene som et engasjerende og informativt bruksområde. Kanskje er det her nytten er størst, med potensial i å oppdage feil eller kollisjoner før bygging. (May *et al.*, 2022) erfarer nytten av AR å være spesielt stor før installering av større konstruksjoner, som vegg eller tak. Kanskje kan ulogisk plassering av rør- eller ventilasjonskanal avklares i forkant av selve utførelsen. Det vil være en form for kvalitetssikring av prosjekteringsarbeid på byggeplass. På den andre siden bør slike avvik oppdages i prosjekteringsfasen? Samtidig kan byggeplassen skape en kontekst på hva som blir en god løsning.

Blant Betonmasts informanter virker ny-teknologi som AR ikke å påvirke egen status i bedriften. Erfaringene står ikke i stil med opplevelsen beskrevet i (Elshafey *et al.*, 2020), hvor prestisjen var en viktig indikator for om utstyret kom til å bli brukt. En viktig forskjell er at studien ble utført i et utviklingsland, i motsetning til eksperimentet gjennomført med den norske aktøren Betonmast. En mulighet kan være at janteloven har satt sitt preg, og gjør nordmenn uinteressert i å oppnå status gjennom nye teknologier. En annen faktor kan være koblet til selve teknologiens suksess. Selv om AR opplever å skape en tidlig interesse blant flere fagarbeidere, er opplevd det å være stort fokus på at teknologien blir en lønnsom investering. Dersom det ikke er tilfelle, kan teknologisatsingen påvirke statusen negativt. Det kan være en risiko som Betonmasts aktører ikke ønsker å utsette seg selv for.

### 6.1.2 Opplevd Brukervennlighet

Utført kvasi-eksperiment ble gjennomført av relativt yngre funksjonærer, med interesse i å prøve ut AR-teknologien. Vil opplevelsen vært den samme for fagarbeiderne? En av informantene tror AR-teknologien kunne blitt for fjernt for en eldre forskalingsssnekker. En annen informant tenker at så lenge visualiseringen er velfungerende, er alder på brukeren av liten betydning. Kanskje kan AR-teknologi på mobil og nettbrett tilrettelegge for visualisering i et velkjent format. I følge TAM3-rammeverket vil brukerens erfaring med lignende teknologier, samt frivillighet, påvirke teknologiopplevelsen. Det taler til fordel for å bruke AR-teknologien på mobil.

Samtidig kan det være individuelle tilnærminger for å ta i bruk ny teknologi. Vil en eldre fagarbeider frivillig ta i bruk Hololens 2 XR10-brillene? Utfallet kan være individuelt, hvor (Beaudry og Pinsonneault, 2005) indikerer at teknologien kan oppleves som en trussel, hvor brukeren opplever å miste kontroll. På den andre siden mener en informant at individer kan få til teknologien så lenge interessen er der. Det kan virke logisk, men en vet ikke om denne interessen er noe man kan forvente blant de fleste. En annen mulighet kan være å bruke metoder som senker terskelen. Det indikeres at et enkelt brukergrensesnitt ansees som en mulighet.

Et enkelt brukergrensesnitt med kjapp oppstart oppleves viktig blant noen av Betonmasts informanter. Her vurderes valgt AR-teknologi å være av betydning med alternativer som XR-10 briller, eller AR på mobil/nettbrett. Hvilken teknologi står sterkest? Brillene krever noe mer oppstartstid, men etter igangsettelse oppleves utstyret klar for kvalitetssjekk av et større område. Brukeren av brillene er mer mobil, hvor man slipper å «låse» hendene til en skjerm. Samtidig er det mulig å kommunisere med andre på kontoret, for eksempel ved en telefonsamtale. Mobilen, en kjent teknologi for de fleste, oppleves også å ha et kjappere og enklere brukergrensesnitt for å få teknologien i gang. Ifølge informant fra Betonmast er startprosessen spesielt viktig for at fagarbeideren skal velge å ta i bruk

teknologien. En siste vurdering kan være kostnader, hvor mobilløsningen kun krever penger for lisens så lenge brukeren har tilgang på en smarttelefon eller nettbrett.

Etter at AR-teknologien var igangsatt, kunne informantene enkelt starte inspeksjon for å oppdage mulige avvik i testområdet. Kontrollen krevde en noe grundig og tidkrevende forberedelse som kunne stille tvil til nytten av teknologien. Denne tvilen ble satt opp mot en effektiv kvalitetssjekk i etterkant. Informantene opplevde potensial i tidsbesparelser, men det kan være utfordrende å kvantifisere dette etter enkelte tester. Sett i forhold til erfaringer fra (Zhou, Luo og Yang, 2017), vises det til potensial i å redusere tidsbruk av kvalitetskontroll, på tross av forberedelsestid. Samtidig var denne testen utført i en enkel tunellkonstruksjon, hvor spart tid ikke nødvendigvis gjelder på den uforutsigbare byggeplass. Her kan tid brukt til forberedning være koblet til utstyrets presisjon, som bruk av velplasserte QR-koder med jevne mellomrom. Skal det gjøres en kjapp sjekk, eller sikres god presisjon, det kan bli en avveging ut fra formål eller brukerens behov.

## 6.2 Hvordan oppleves implementering av laserskanning i kvalitetskontroll

Den nyintroduserte laserskanneren oppleves av Betonmast å gjøre innmålinger med svært god presisjon. Det tilrettelegger for en svært grundig kvalitetskontroll, men er en resurskrevende prosess. Oppleves kontroll av kvalitet som et fornuftig formål med skanneren?

### 6.2.1 Opplevd nytte

Som (Huber *et al.*, 2010) viser til, forplikter et laserskann blant annet til fysisk tilgjengelighet og en tidkrevende prosess. Det kan til dels gjenspeiles i Betonmasts erfaringer, hvor skann av et avgrenset område fører til 30 minutters arbeid, samt bearbeiding av skannet. Selv om funksjonæren ikke er en spesielt aktiv deltager, oppleves prosessen å ta lang tid. Alternativet er bruk av tegning og tomstokk som muliggjør en kontroll av avvik på 5 minutter, etterfulgt av enkel bildedokumentasjon på mobil. Da kan valget fremstå som enkelt blant Betonmasts deltagere. Dette kan vise til nødvendigheten av å tilpasse utstyret til et egnet formål.

Potensialet av skanning ansees heller å gjelde for de større områdene med mistanke om flere feil, eventuelt feil som får store konsekvenser. Her kan eventuelle avvik oppdages gjennom et grundig skann med millimeterpresisjon. I kombinasjon med det teknisk assisterende systemet Imerso oppleves flere feil å bli avdekket enn ved dagens metoder. Er da skann av større områder tilstrekkelig for at teknologien oppleves som mer nyttig? I prosjekt (Li *et al.*, 2020) hvor laserskanning-BIM ble brukt i flomsperring, var erfaringen at prosessen ble mer effektiv og nøyaktig, hvor tidsbruk i gjennomføring og etterarbeid ble redusert. Tilsvarende fordeler som tidsbesparelser oppleves ikke å være like gjeldende i boligprosjektet Kastanjen.

En informant vurderer at skanning kun gir det samme som man antar, altså et riktig utført arbeid. Skanneren fremstår heller som et verktøy som gir trygghet enn noe som oppdager alt som har feil utførelse. Samtidig ble det i eksperimentet oppdaget 13 avvik. Feilene ville ikke nødvendigvis blitt oppdaget uten et grundig og oversiktlig skann. Det er likevel utfordrende å si med sikkerhet, og kan være avhengig av kontrollørens kompetanse.

Betonmast mener at skannet skaper en god dokumentasjon for ettertiden. Dokumentasjonen har blant annet blitt brukt i en rettsak for å bekrefte at eget arbeid var utført i henhold til avtaler. Samtidig kan en stille spørsmål om hva er det er som faktisk



blir dokumentert. En informant vurderer skanning som uaktuelt tidsbruk for fagarbeiderne. Dersom dette er en realitet, skapes et scenario hvor hovedandel av skanning skjer etter at en betongvegg er ferdigstøpt. Uten å skanne innsiden av veggen er det ingen garanti før dobling av forskaling, er det ingen garanti eller dokumentasjon for at armeringsarbeidet er av god kvalitet. Det betyr at hverken plassering av armeringen eller antallet ikke blir dokumentert for ettertiden. Likevel kan et skann dokumentere utsparinger eller loddavik, som kan ha en viss interesse.

Det uttrykkes blant Betonmasts informant om en manglende uttelling for å «tjene penger». Muligens kan lønnsinntekter inntjenes av andre i verdikjeden som kan dra nytte av skannet. Et godt skann med visuell fremstilling kan være av interesse i ettertiden, for eksempel i et fremtidig rehabiliteringsprosjekt. Dersom Betonmast kunne tatt seg godt betalt for å gjennomføre grundige skanns, vil teknologien muligens kunne bli opplevd som mer aktuell. Uansett har Betonmast opparbeidet en kompetanse som kan skape konkurransefortrinn dersom laserskanning etterspørres i fremtiden.

Selv om hovedformålet av laserskanning er kvalitetssjekk eller dokumentasjonsarbeid, kan andre bruksformål kombineres. Det samme skannet kan også være nyttig for å gi oversikt over byggeplassens fremdrift, et formål som brukes av blant annet AF-gruppen og Betonmast. Her kan det kanskje være potensial for Betonmasts avdeling på Innlandet som får en slags digital kopi av prosjektet. Selv om fremdriften kan ansees som innlysende blant arbeiderne på Kastanjen-prosjektet, kan skannet være informativ for andre interessenter som eksemplifisert av (Li *et al.*, 2020). Det kan være utfordrende å kvantifisere nytten av engasjementet til kroner og ører. Allikevel kan en engasjert byggherre være en fremtidig kunde som kanskje kan være villig til å betale for informative skanns.

### 6.2.2 Opplevd brukervennlighet

Når det gjelder å ta i bruk skanneren, opplever informantene ikke teknologiens brukergrensesnitt som særlig komplisert. Dersom (Sepasgozaar, Shirowzhan og Wang, 2017) antagelse er stemmer, kan en slik forventning føre til at teknologien økt potensial av laser-teknologiens bruk. På tross av dette har laserskanneren kun blitt brukt et par ganger i løpet av flere måneder i bedriften. Det synes å være en interesse i starten, men manglende implementering i bedriften kan indikere en høy terskel for å ta i bruk teknologien. Det gjør at det stilles spørsmål til teknologiens fremtid.

Selv etter å ha eid og brukt laserskanning over tid, oppleves det utfordrende å vite hvordan den kan skape verdi. Her oppleves manglende opplæring i bruken som en mulig årsak. Det samsvarer til dels med (Venkatesh og Bala, 2008) hvor trening og opplæring er viktig for å oppnå bruker-aksept. Samtidig har skannet gitt en erfaring som å oppdage at et bygg på nabolomt hadde 0,8 meter avvik, i forhold til oppgitte data. På tross av en slik verdifull erfaring, samt bruk til kvalitetskontroll, etterspør informant fra Betonmast opplæring eller informasjon for flere «nyttige» bruksområder.

En annen påvirkning i bruken av ny-teknologi er støtte fra ledelse og kollegaer (Venkatesh og Bala, 2008). Skanneren oppleves blant en informant å ikke være en prioritet, ettersom teknologien ikke er bevist å være lønnsomt. Den blir heller vurdert som en utgift. Som (Innovasjonsbarometeret, 2021) sikter til oppleves, har innovasjon i byggebransjen skapt fordeler som økt kvalitet i leveranse, effektive arbeidsprosesser og økt medarbeidertrivsel. Forbedringseffekten av innovasjon har vært større blant slike verdier enn den økonomiske fordeler. Kanskje kan fordelene av innovasjonene være gjeldende for en ny-teknologi som laserskanner? På tross av dette er det ingen garanti for at organisasjon ønsker å prioritere slike verdier. Det kan tenkes at teknologibruk kan

være forretningsmessig fornuftig dersom det skaper et bedre arbeidsmiljø hvor man kan trives og engasjerer seg mer på jobb.

Perspektivet til en annen informant tilsier at interessen av teknologien ville blitt større med en sterkere relasjon til inntjening. Det samme gjelder dersom byggefeil hadde vært et større problem i bedriften. Dette kan indikere at teknologien ikke oppleves å skape de nødvendige løsningene til byggeplassens hverdag. Samtidig kan det være for tidlig å trekke en slik konklusjon. Kanskje er det gjennom langvarig implementering at andre nytterområder blir synlige. En manglende satsing på laserteknologien kan gjøre det utfordrende å oppdage nye smarte løsninger på egenhånd.

## 6.3 På hvilken måte kan ny teknologi implementeres i fremtidens byggeprosjekt

Hva skal til for at en teknologi tas i bruk, samt blir implementert i bedriften?

Buildingpoint Scandinavia opplever å møte mange nysgjerrige aktører i byggebransjen, interessert i å utforske nye teknologiske løsninger. Med ønske om å forbedre arbeidsprosesser virker digitale innovasjoner å kunne tilrettelegge for konkurransefortrinn. På tross av interessen, oppleves endringsviljen å være individuell. Noen er ivrig i å teste ut ny teknologi, andre kan være helt uinteressert. For noen er det den største selvfølge å endre arbeidsmetoder. Samtidig går mange etter en stund tilbake til dagens rutiner. Hvorfor er det slikt? Er det mulig å skape en digitalisering som alle kan engasjere seg i, og som kan vare?

### 6.3.1 Muligheter og utfordringer av opplevd nytte

For å ta i bruk ny teknologi fremstår en kost-nyttieverdi å være svært viktig for Buildingpoints kunder og Betonmast. Det samsvarer med (Innovasjonsbarometeret, 2021; Byggenæringens landsforening, 2020) råd, om å ha en forretningsmessig tilnærming i bruk av ny teknologi. Noen ganger fremstår kost-nyttien enkel, som eksempelet med Buildingpoints totalstasjon med store tidsbesparelser for en VVS-bedrift. Buildingpoints strategi er å gå i møte med kundene for å løse en problemstilling sammen. Ved å kontakte en interessert kunde kan en god løsning utarbeides sammen. En slik metode kunne blitt gjennomført med Betonmast for å utforske en teknologi mer tilpasset deres behov. Samtidig kunne det skapt et mer omstendelig og tidkrevende eksperiment som kunne vært utfordrende for Betonmast å forplikte seg til.

For andre tilfeller, som uttestet AR eller laserskanning, virker ikke en kost-nytterelasjonen å være den største selvfølge. Det gjelder også for ny-teknologier som kan være aktuelt fremtidige byggeprosjekt, som ved kvalitetskontroll. AR oppleves som en spennende teknologi med avanserte visualiseringsegenskaper for ulike bruksområder. Samtidig har eksperimentet vist teknologiens utfordringer med nøyaktighet, oppstartsprosess og visualisering av omgivelsene. Kan prosessen forbedres, eller er andre teknologier mer egnet til å forbedre kvalitetskontrollen? Etter samtaler med Buildingpoint har flere forbedrende løsninger blitt foreslått innen optimalisering. Alt fra økning av antall QR-koder, tilpasning av BIM-data, solbriller til XR10-brillene. Slike forbedringer er investeringer som kan øke opplevd nytte, men kan samtidig kreve mer tid brukt i forberedning

Et annet alternativ kunne vært å satse på fieldlink-MR løsningen beskrevet av Buildingpoint, hvor totalstasjon gir maskinpresisjon til brillene. Det kan svare til Betonmasts behov for nøyaktighet, men kan føre til betydelig større investeringskostnader. Samtidig foregår en stadig utvikling av teknologi. Ved innkjøp av

nye teknologier, vil ikke en kunde ha noen garanti for at dette blir like aktuelt, selv i nærmeste fremtid. Det er ingen selvfølge at teknologien oppleves like nytt, relevant og spennende over tid. Her gjelder det å unngå å kjøpe teknologi som kan være utdatert om et halvt år.

Teknologien oppleves å være tidkrevende i forhold til gevinsten som oppnås fra skannet, spesielt dersom kvalitetskontroll er eneste bruksområde. Buildingpoint på sin side med nylig satsing på robothunden «Spot» kan kanskje være løsningen. Kombinasjon av skanner og «hund», tilrettelegger for å gjøre store skanns uten å forplikte et tidkrevende arbeid til én eller flere ansatte. Kanskje kan det forenkle skanneopplevelsen, og i tillegg skape en mer spennende og givende kvalitetskontroll. Samtidig vil en slik investering bli vurdert i et forretningsmessig perspektiv. Selv om robothunden kan være en stor utgift, kan det indikere en bedrift som satser, og er tet på ny teknologi. Informant fra Buildingpoint mener satsingen vil vekke interesse blant fremtidige jobbsøkere, så lenge det brukes til et nyttig formål.

Buildingpoint snakker med de teknologiske interesserte, som tar teknologien i bruk og viser til potensialet blant sine kollegaer. Det å være initiativtaker til en teknologi som videre gir god avkastning, virker å kunne øke personens status. Utsagnet står i til dels i stil med Betonmasts oppfatning, hvor status kan oppnås fra en ny teknologi. Samtidig oppleves statusen ikke som viktig for Betonmast, og er neppe en fremdriver i deres bruk av ny teknologi. Uansett oppleves investeringen å representere en risiko for både Betonmast og Buildingpoint. Dersom en dyr investering av teknologien ikke blir brukt, kan det skape negative følger for den ansvarlig. En uheldig følgeeffekt kan være at noen vegrer seg å satse på nye teknologier som et resultat av denne risikoen.

Buildingpoint opplever at det oftest er de som tar initiativet for å vise til ny teknologi, spesielt i byggenæringen. Det kan indikere at bransjen ikke er tilstrekkelig oppdatert på teknologi som kan forbedre dagens prosesser. Gjennom eksperimentet har Betonmast fått innsikt i teknologien Augmented Reality og gått mer i dybden på laserskanning. Selv om teknologiene ikke nødvendigvis dekker nødvendige behov for en kvalitetskontroll, er det satt ord på hva de opplever som viktig. Erfaringene kan tas med videre når andre potensielle ny-teknologier blir foreslått.

### 6.3.2 Muligheter og utfordringer i opplevd brukervennlighet:

Byggebransjens digitale skifte med nye teknologier og metoder kan oppleves brått og utfordrende for noen. Et eksempel nevnt av Buildingpoint er tegningsfrie arbeidsplasser, hvor mange arbeidere møter digitale verktøy for første gang. Noen kan oppleve ubehag av implementert teknologi som et nettbrett, som kan være et fremmedelement i arbeidsdagen. Det hjelper neppe til bruken av teknologi. Kanskje ender arbeiderne opp med å gjøre tegnearbeid utenom teknologien, på en avsaget plankebit. Et slikt ubehag virket ikke å være gjeldende i test med Betonmast. Deltagere utførte eksperimentet i frivillighet, som ifølge TAM3 rammeverket forbedrer brukeropplevelsen. Er valgmuligheten det som trengs for å få med «alle» arbeiderne? Eller bidrar det til at fagarbeideren utsetter sitt digitale skifte «én uke til».

Buildingpoint ønsker å gjøre teknologien mest mulig brukervennlig med kursing og enkel, punktvis innføring. Det å kunne få en grundig opplæring er ikke nødvendigvis en selvfølge, som erfart blant Betonmasts implementering av laser-skanner. Har organisasjonen satset godt nok i opplæring, eller oppleves kursing som en unødvendig utgift? Ny teknologi kan kreve en del tid før man høster nytten av den. God opplæring vil effektivere denne prosessen.

Representant fra Buildingpoint anser det som viktig å kunne tilrettelegge for en god produktnedbrytningstruktur for brukeren. Det betyr at informasjonen brukeren trenger,

er enkelt tilgjengelig gjennom teknologien på byggeplassen. Betonmast ser potensial i nye teknologier som kan visualisere arbeidet, som for eksempel hvilke armeringer som skal plasseres i en bestemt betongkonstruksjon. Buildingpoint har gjennom større anleggsprosjekt utforsket lignende prosjektnedbrytninger for fagarbeidere i tunnelprosjekt. Det kan vise til potensial i bruk av en tilsvarende løsning i byggebransjen.

Potensialet kan bli stort, men vil være avhengig av digitale systemer som snakker sammen. Buildingpoint må vurdere løsninger som enkelt kan integreres i entreprenørs prosjekthotell, som Dalux eller lignende. Et alternativ kan være å samle prosjektinformasjon på felles digital plattform i et felles Common Data Environment, som tilrettelegger for dataflyt mellom aktørene. Potensialet er stort, men integrasjonen mellom flere digitale plattformer kan skape utfordringer. Dette må løses for å sikre en smart digital samhandling med god informasjonsflyt, fremfor å skape en «kabal» som bremser kommunikasjonen mellom aktørene. Her ser Buildingpoint Scandinavias representant potensial i AR-teknologien, som kan være mye mer enn en visualiserings-teknologi. Gjennom utstyrets visualisering- kommunikasjonsmuligheter, sammen med et felles digitalt system for arbeiderne, virker potensial stort i å forsterke koblingen mellom kontor og byggeplass.

## 7 Konklusjon

Opgaven har som hensikt å undersøke nye teknologier brukt til et praktisk formål i byggeprosjekt. Teknologiene er først og fremst Augmented Reality og laserskanner. Formålet er en forbedret kvalitetskontroll i norsk byggebransje.

Det gir følgende problemstilling:

Hvordan kan nye teknologier som Augment Reality og laserskanning forbedre dagens kvalitetsskontroll i norsk byggebransje?

Opgavens problemstilling besvares gjennom 3 forskningsspørsmål:

- Hvordan oppleves Augmented Reality i kvalitetskontroll?
- Hvordan oppleves implementering av laserskanning i kvalitetskontroll?
- På hvilken måte kan nye teknologier implementeres i fremtidens byggeprosjekt?

For å undersøke de nye teknologiene er det gjennomført et kvasi-eksperiment med 4 deltagere fra entreprenøren Betonmast Innlandet. Eksperimentet ble utført ved byggeprosjektet Kastanjen, Hamar, og videre fulgt opp med semistrukturerte intervjuer. Det ble også gjennomført 3 intervjuer av informanter fra teknologiselskapet Buildingpoint Scandinavia.

Selv om oppgaven er avgrenset til ny-teknologiene AR og laserskanning, blir alternative muligheter for ny-teknologi også presentert. Det samme gjelder avgrensningen som gjelder kvalitetskontroll, hvor alternative bruksområder innenfor byggebransjen også er vurdert.

### 7.1 Augmented Reality i kvalitetskontroll

For å svare på første forskningsspørsmål «Hvordan oppleves Augmented Reality i kvalitetskontroll?» vurderes teknologien Augmented Reality mot den daglige kontrollen ut fra opplevd nytte og opplevd brukervennlighet:

#### **Opplevd nytte**

Gjennom eksperimentering av teknologien Augmented Reality har Betonmast opplevd teknologiens muligheter og begrensninger. Her oppleves visualiseringen å skape en økt forståelse av hva som skal bygges, hvor avvik og misforståelser kan reduseres. AR-teknologien kan gi 3D-visualisering av planlagte plasseringer av bygningsdeler som vegger, armeringer eller rørføringer. Teknologien har potensial til å kunne brukes av både funksjonærer og fagarbeidere for å kvalitetssikre god planlegging og utførelse. Utfordringer som manglende centimeter-presisjon stiller likevel tvil til teknologiens nytte. Muligheten til å bekrefte eller avkrefte et avvik oppleves som svært viktig for å kunne garantere en grundig kontroll.

#### **Opplevd brukervennlighet**

En annen viktig faktor for AR er hvor enkel teknologien er å ta i bruk. Blant funksjonærene oppleves teknologien som enkelt å bruke når det er igangsatt. Samtidig

vurderes oppstartsprosessen som noe tidkrevende, spesielt ved bruk av XR-10 brillene. AR på mobil oppleves å være løsningen dersom en ønsker å oppnå en kjapp oppstart, som kan være aktuelt for fagarbeidere. Arbeiderne på byggeplassen i ulike aldre, kulturer og livserfaringer kan ha ulike forutsetninger for å ta i bruk teknologi. En kjapp oppstart, som vist i eksperimentet med QR-kode og mobil, vurderes å være veien å gå.

## 7.2 Implementering av laserskanning i kvalitetskontroll

For å svare på det andre forskningsspørsmål «Hvordan oppleves implementering av laserskanning i kvalitetskontroll?» vurderes teknologien laserskanner mot den daglige kontrollen ut fra opplevd nytte og opplevd brukervennlighet:

### **Opplevd nytte**

Laserskanneren brukt i Kastanjen-prosjekt er delvis blitt tatt i bruk med ulike erfaringer. Betonmast har opplevd at skanneren er en teknologi som gir presise målinger. Presisjonen, sammen med en visuell fremstilling gir muligheter for å avdekke eventuelle avvik samt ha en grundig dokumentasjon for ettertiden. Det stilles likevel tvil til formålet av å bruke skann til formålet kvalitetskontroll. Teknologien oppleves å være begrenset til en tidkrevende prosess som forplikter én eller flere arbeidere. Teknologien kan ha potensial for større områder hvor flere potensielle avvik kan avdekkes samtidig. Det kan også være muligheter for å kombinere skannet med andre formål enn kvalitetskontroll. Det kan være å involvere deltagere om byggeproduksjonens fremdrift, eller en dokumentasjon som garanterer et godt utført arbeid.

### **Opplevd brukervennlighet**

Det å utføre et laserskann oppleves som en enkel prosess å gjennomføre etter en enkel innføring. På tross av teknologiens enkle brukergrensesnitt og tidlig engasjement, fremstår terskelen høy for å ta skanneren i bruk. For noen vurderes lite opplæring for ulike bruksområder som hovedårsaken. Andre kan oppleve en manglende støtte fra organisasjonen, hvor bruk av utstyret kan bli ansett som en utgift. Selv om et innkjøp av laserskanneren indikerer en satsing på teknologi, fremstår videre støtte å være avgjørende for en faktisk implementering.

## 7.3 Implementering av nye teknologier i fremtidens byggeprosjekt

I tredje og siste forskningsspørsmål «På hvilken måte kan ny-teknologi implementeres i fremtidens byggeprosjekt?» vurderes nye teknologier som AR, laserskanning, robohund, eller andre metoder som kan forbedre fremtidige byggeprosjekt. Her vurderes 3 sammenkoblede perspektiver som kan tilrettelegge for en realiserbar implementering; mennesket, teknologi og prosess.

### **Mennesket:**

Byggebransjens aktører fremstår å være nysgjerrige på nye teknologier som kan forbedre dagens prosesser. Samtidig er det ofte teknologiselskap som Buildingpoint som tar initiativet for å fremsnakke de teknologiske mulighetene. Det virker å være et stort fokus i entreprenør-bransjen at teknologien fremskaper en kost-nytte, som helst er enkel

å kvantifisere. Suksessen av en eventuell investering av ny teknologi vil gi følger til den ansvarliges status, som kan skape risiko, men også muligheter. Her gjelder det å investere i teknologi tilpasset et fornuftig formål.

### **Teknologien:**

Gjennom Betonmasts eksperimentet av AR og laserskanning har teknologien blitt utfordret. De opplevde utfordringene har skapt engasjement i å utvikle metoder, samt vurdere alternative ny-teknologier. Robothunden «Spot» er ett eksempel på en slik løsning, en teknologi som kan effektivisere tidkrevende skanning. AR, som ble opplevd å ha manglende nøyaktighet, kan forbedres gjennom et grundigere forarbeid med QR-koder og optimalisering av BIM-modell. Et annet alternativ er fieldlink-MR løsningen som gjør AR-teknologiens presisjon svært nøyaktig.

### **Prosess:**

Selv om foreslått teknologi kan være bedre enn dagens metoder, er det ingen selvfølge at det blir brukt. En vei kan være å stille krav til bruk av teknologi på byggeplass. Samtidig kan en ufrivillig teknologi bli dårlig tatt imot på byggeplassen. For Buildingpoint er det viktig at teknologien fremstår enklest mulig å bruke. Det kan være gjennom en tydelig opplæring, eller å gjøre viktig prosjektinformasjon enkelt tilgjengelig for de som trenger det. Kanskje er implementering av nye teknologier nødvendig for å være forretningsdyktig i framtidens byggenæring.

«Vi vil påstå at å ligge i front digitalt, er vår [den norske byggenæringen] eneste reelle strategiske mulighet i en stadig mer global verden.» (Byggenæringens landsforening, 2020)

## **7.4 Forslag til videre arbeid**

Oppgaven har gått i dybden på de nye teknologiene Augmented Reality og Laserskanning. I utarbeiding av oppgaven har andre nye teknologier med potensial i en forbedret kvalitetskontroll blitt dagsaktuelle. Det gjelder for:

- Kombinasjonen av «Spot» med Trimble's skanner x7
- Kombinasjon av totalstasjon med FieldLink MR-løsningen

Forslag til videre arbeid kan være å utforske teknologienes potensial gjennom en forbedret kvalitetskontroll. Mulighetene kan være blant annet være en grundigere eller mer effektiv prosess. Samtidig er kvalitetskontroll kun en liten del byggebransjen, som betyr at andre bruksformål kan være minst like aktuelle for teknologiene.

# Referanser

AEC Business (2020) Bringing BIM to the Modern Built Environment: An Interview with Prof. Martin Fischer. Tilgjengelig fra: <https://aec-business.com/bringing-bim-to-the-modern-built-environment-an-interview-with-prof-martin-fischer/>.

AF gruppen (2021) Banebrytende bygging. Tilgjengelig fra: <https://afgruppen.no/presse/artikler-af-posten/banebrytende-bygging/> (Hentet: 25. februar 2022).

Arditi, D. og Günaydın, H. (1997) Total quality management in the construction process, *International Journal of Project Management*, 15, s. 235-243. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(96\)00076-2](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(96)00076-2)

ASQ (2022) *QUALITY ASSURANCE & QUALITY CONTROL*. Tilgjengelig fra: <https://asq.org/quality-resources/quality-assurance-vs-control> (Hentet: 04.05.2022).

Beaudry, A. og Pinsonneault, A. (2005) Understanding User Responses to Information Technology: A Coping Model of User Adaptation, *MIS Quarterly*, 29(3), s. 493-524. <https://doi.org/10.2307/25148693>

buildingSMART (2022) Industry Foundation Classes (IFC). Tilgjengelig fra: <https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/industry-foundation-classes/>.

Byggenæringens landsforening (2020) Digitalt veikart 2.0 En anbefaling til ledere i byggenæringen.

Chalhoub, J., Ayer, S. K. og McCord, K. H. (2021) Augmented Reality to Enable Users to Identify Deviations for Model Reconciliation, *Buildings*, 11(2), s. 77. Tilgjengelig fra: <https://www.mdpi.com/2075-5309/11/2/77>.

Chung, H. W. (1999) *Understanding Quality Assurance in Construction*

Dalux (2022) DALUX FIELD. Tilgjengelig fra: <https://www.dalux.com/no/dalux-field/>.

Davis, F. (1989) Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology, *MIS Quarterly*, 13, s. 319. <https://doi.org/10.2307/249008>

Elshafey, A. *et al.* (2020) Technology Acceptance Model for Augmented Reality and Building Information Modeling Integration in the Construction Industry, *Electronic Journal of Information Technology in Construction*, 25, s. 161-172. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2020.010>

Epstein, E. (2012) *Implementing successful building information modeling*. 1. utg. Boston: Artech House.



Fremtidens Byggenæring (2019) Digitale verktøy gjør byggebransjen mer bærekraftig: Gir også færre feil. Tilgjengelig fra: <https://www.fremtidensbygg.no/digitale-verktoy-gjor-byggebransjen-mer-baerekraftig-gir-ogsa-faerre-feil/> (Hentet: 16. juni. 2022).

Gustavsson, A. *et al.* (2021) Exploring the utility of AR for quality inspections in timberframe house production – A case study from Småland, Sweden, i *CIB W78 - LDAC 2021, Luxemburg, 11-15 oktober 2021*. s. 304-314.

Heritage, G. L. og Large, A. R. G. (2009) *Laser scanning for the environmental sciences*. 1. utg. Chichester, West Sussex: Blackwell Pub.

Huber, D. *et al.* (2010) *Using laser scanners for modeling and analysis in architecture, engineering, and construction*.

Innovasjonsbarometeret (2021) INNOVASJON HAR BIDRATT TIL VERDISKAPNING. Tilgjengelig fra: <https://www.innovasjonsbarometeret.no/verdiskapning/> (Hentet: 5. april 2022).

Johannesen, A., Tufte, P. A. og Christoffersen, L. (2021) *Samfunnsvitenskapelig metode*. 6. utg. Oslo: Abstrakt forlag.

Kohn, V. og Harborth, D. (2018) AUGMENTED REALITY - A GAME CHANGING TECHNOLOGY FOR MANUFACTURING PROCESSES?, i *Twenty-Sixth European Conference on Information Systems (ECIS2018), Portsmouth, UK, Juni 2018*.

Kristoffersen, E. J. (2020) *Jegerånden - å lede i fred, krise og krig*.

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

Li, H. *et al.* (2020) Improving Tolerance Control on Modular Construction Project with 3D Laser Scanning and BIM: A Case Study of Removable Floodwall Project, *Applied Sciences*, 10(23), s. 8680. Tilgjengelig fra: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/23/8680>.

May, K. W. *et al.* (2022) The Identification, Development, and Evaluation of BIM-ARDM: A BIM-Based AR Defect Management System for Construction Inspections, *Buildings*, 12(2), s. 140. Tilgjengelig fra: <https://www.mdpi.com/2075-5309/12/2/140> (Hentet: 24. februar 2022).

Olsen, M. *et al.* (2010) Terrestrial Laser Scanning-Based Structural Damage Assessment, *Journal of Computing in Civil Engineering - J COMPUT CIVIL ENG*, 24. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000028](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000028)

Portalés, C. *et al.* (2018) From the Paper to the Tablet: On the Design of an AR-Based Tool for the Inspection of Pre-Fab Buildings. Preliminary Results of the SIRAE Project, *Sensors*, 18(4), s. 1262. Tilgjengelig fra: <https://www.mdpi.com/1424-8220/18/4/1262> (Hentet: 24. februar).

Sepasgozaar, S. M. E., Shirowzhan, S. og Wang, C. (2017) A Scanner Technology Acceptance Model for Construction Projects, *Procedia Engineering*, 180, s. 1237-1246. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.285>

Sepehr, A., Hadavi, A. og Huang, J. C. (2020) From BIM to extended reality in AEC industry, *Automation in Construction*, 116. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103254>

SINTEF (2020) Unngå byggskader. Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/community/fagblogg/poster/unnga-byggskader/> (Hentet: 12. februar 2022).

Tekna (2020) Helt enkelt: Hva er en digital tvilling – og hva kan den brukes til? Tilgjengelig fra: <https://www.tekna.no/kurs/innhold/helt-enkelt-hva-er-en-digital-tvilling-og-hva-kan-den-brukes-til/> (Hentet: 23.5.2022).

Thune, T. E. (2017) *Kvalitetssikring og internkontroll i bygg og anlegg*. 3. utg. Oslo: Byggenæringens forlag.

Trimble (2022a) Trimble connect. Tilgjengelig fra: <https://connect.trimble.com/> (Hentet: 29 Juni 2022).

Trimble (2022b) Trimble XR10 with HoloLens 2. Tilgjengelig fra: <https://fieldtech.trimble.com/en/product/trimble-xr10-with-hololens-2>

Trimble (2022c) Trimble XR10 with HoloLens 2

SKU XR10-NA-FULL | XR10-NA-FRONT. Tilgjengelig fra: [https://shop.trimble.com/ccrz\\_\\_ProductDetails?sku=XR10-NA-FULL%20%7C%20XR10-NA-FRONT&cclcl=en\\_US](https://shop.trimble.com/ccrz__ProductDetails?sku=XR10-NA-FULL%20%7C%20XR10-NA-FRONT&cclcl=en_US).

Trimble (2022d) Trimble Connect AR + MR bundle. Tilgjengelig fra: [https://shop.trimble.com/ccrz\\_\\_ProductDetails?sku=227020-22&cclcl=en\\_US](https://shop.trimble.com/ccrz__ProductDetails?sku=227020-22&cclcl=en_US).

Trimble (2022e) Trimble RPT600 Construction Layout Hardware. Tilgjengelig fra: <https://fieldtech.trimble.com/en/product/trimble-rpt600>.

Trimble (2022f) Adding Context to Confidence. Tilgjengelig fra: <https://fieldtech.trimble.com/en/product/trimble-fieldlink-mr>.

Trimble (2022g) HoloTint SKU XR10-SHADE. Tilgjengelig fra: [https://shop.trimble.com/ccrz\\_\\_ProductDetails?sku=XR10-SHADE&cclcl=en\\_US](https://shop.trimble.com/ccrz__ProductDetails?sku=XR10-SHADE&cclcl=en_US).

Venkatesh, V. og Bala, H. (2008) Technology Acceptance Model 3 and a Research Agenda on Interventions, *Decision Sciences - DECISION SCI*, 39, s. 273-315. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.2008.00192.x>

Werbrouck, J. *et al.* (2019) Towards a Decentralised Common Data Environment using Linked Building Data and the Solid Ecosystem, i *36th CIB W78 2019 Conference*, Northumbria University, Newcastle, United Kingdom, September 2019.

Zhou, Y., Luo, H. og Yang, Y. (2017) Implementation of augmented reality for segment displacement inspection during tunneling construction, *Automation in Construction*, 82, s. 112-121. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.02.007>

# Vedlegg

## Vedlegg 1

Intervjuguide basert på rammeverket TAM3, med opplevd nytte og opplevd brukervennlighet

### Nye teknologier:

#### Percived usefulness

- Hvordan oppleves bedriftens syn blant ansattes som tar i bruk nye teknologier (NT)?
- Tror du bruk NT kan være relatert til å oppnå større status i egen bedrift?
- Opplevs NT relevant i utførelsen av en kvalitetskontroll?
  - Kan andre bruksområder være av relevans?
- Hvordan vurderes NT potensial i å forbedre dagens kvalitetskontroll?
- Opplevs informasjon fra NT å tilrettelegge for informasjon som kan visualisering og kommuniseres videre?

#### Percived ease of use:

- Hvordan vurderes viktigheten av brukervennlighet for bruken av NT i en kvalitetssjekk?
- Hva er oppfatningen av (norske) bedrifters investering av ressurser til digitale verktøy i byggeprosjekt?
- Hva tenker du om ubehag/bekymringer i gjennomføringen av kvalitetssjekk med NT?
- Påvirker opplevd glede gjennom bruk av NT bruken av utstyret?
- Hvordan oppleves brukervennligheten av NT i kvalitetskontroll til sammenligning med dagens metoder?

Andre faktorer som påvirker bruk av nye teknologier som man ikke har vært igjennom?

