

# Forord

Denne masteroppgaven er utarbeidet ved Institutt for bygg- og miljøteknikk, under Fakultetet for ingeniørvitenskap ved NTNU. Oppgaven har et omfang på 30 studiepoeng, og er et resultat av et selvstendig arbeid over 21 uker, våren 2019.

Masteroppgaven er en videreføring av min prosjektoppgave fra høsten 2018 om VDC ved Drammen stasjon Business Center. Store deler av oppgaven er utført i samarbeid med Betonmast, som jeg tidligere har hatt sommerjobb hos. Temaet for masteroppgaven har vært målinger i VDC-prosjekter, med Betonmast som caseobjekt.

Jeg ønsker først og fremst å rette en takk til mine veiledere ved NTNU, Ola Lædre og Eilif Hjelseth. Dere har vært til stor hjelp med modningsprosessen av masteroppgaven og forskningsspørsmål, til nyttige strukturelle råd og gode diskusjoner. Uten deres veiledning hadde arbeidet med denne oppgaven vært betydelig mer utfordrende.

Videre vil jeg takke alle bidragsytere i Betonmast, både informanter og andre kontaktpersoner. Takk til Geir Hjerpaasen, Jon Harald Kristiansen og Martin Karlsson for at dere har gitt meg stort spillerom til å utføre intervjuer og diskutere resultater. Jeg ønsker også å takke VDC-gruppa i Betonmast for å ha gitt meg innblikk i utviklingsprosessen mot en implementeringsplan for VDC i bedriften, og for at jeg fikk komme til Oslo og utføre intervjuer. Deres vilje til å svare på spørsmål og interesse i masteroppgaven min har vært helt essensiell for at oppgaven skulle være så spennende å jobbe med.

Til slutt ønsker jeg å takke alle som har gjort studietiden min i Trondheim til en fantastisk opplevelse.

Trondheim, juni 2019

*Matilde Reinholt Belsvik*

---

Matilde Reinholt Belsvik



# Sammendrag

De siste årene har flere norske entreprenører begynt å utnytte metodikker som Virtual Design and Construction (VDC) for å øke produktiviteten i byggeprosjekter. VDC handler om å strømlinjeforme prosjekter i en Lean tankegang med verktøy som Last Planner, ICE, BIM og målinger. Selv om det ikke er funnet mange studier om målinger i VDC-prosjekter er det tydelig at målinger er viktige for kontinuerlig forbedring. Å velge de rette målingene derimot, kan være vanskelig ettersom det å bruke målinger potensielt kan være mer krevende enn givende.

Masteroppgaven har gått i dybden av målinger i VDC-prosjekter, og foreslått målinger for kontinuerlig forbedring av prosjekteringsprosesser. For å møte det eksisterende kunnskapshullet når det kommer til målinger i VDC-prosjekter er de tre følgende forskningsspørsmålene presentert og besvart:

I Hvordan blir prosjekteringsprosesser målt i dag?

II Hva er hovedutfordringene i prosjekteringsfasen?

III Hva bør måles i fremtidige VDC-prosjekter?

For å besvare forskningsspørsmålene ble det i løpet av det siste året utført to kvalitative casestudier. Den første casestudien var en prosjektoppgave om Betonmasts første implementering av VDC. Den andre casestudien hadde hele bedriften som case, og så på erfaringer med prosjekteringsprosesser i ”tradisjonelle” prosjekter. Arbeidet ble innledet med en litteraturstudie, og flere metoder for datainnsamling har blitt triangulert for å presentere en konklusjon med høy validitet. Metoder inkluderte både semi-strukturerte og ustrukturerte intervjuer, observasjoner og en dokumentstudie.

Masteroppgaven viser hvordan prosjekteringsprosesser måles i ett VDC-prosjekt og generelt i prosjektene til én norsk entreprenør, Betonmast. I VDC-prosjektet benyttet de målinger i ICE-møtene, men grunnet varierende loggføring var det vanskelig å se effekten av målingene. I tradisjonelle prosjekter har det vært vanlig med måling av produkt, i form av fremdrift, kostnad og HMS. Måling av prosess er mindre utbredt.

Oppgaven presenterer også noen av hovedutfordringene i VDC-prosjekter og ”tradisjonelle” prosjekter, slik som å få gode beslutninger i rimelig tid, kommunikasjon mellom aktører og forberedelse til møter. Flere målinger har blitt foreslått for å møte disse utfordringene, blant annet måling av PPU (Prosent Plan Utført), rotårsaker og evaluering av møter.

Implikasjonen av studien er en liste med seks enkle målinger for kontinuerlig forbedring av prosjekteringsprosesser i VDC-prosjekter, i tillegg til syv supplerende målinger. Målingene er

basert på utfordringer i norske byggeprosjekter, og er presentert for og verifisert med VDC-gruppa hos Betonmast.

Som en del av mastergraden ble det skrevet og publisert en vitenskapelig artikkel for International Group for Lean Construction (IGLC), til presentasjon i forbindelse med deres 27. årlige konferanse i Dublin, Irland, sommeren 2019. Denne artikkelen som har tittelen ”Metrics in VDC projects”, er vedlagt masteroppgaven. Masteroppgaven ble også presentert ved Lean Construction Norge sitt styremøte i Oslo 24. mai 2019. Oppgaven var spesielt utvalgt blant oppgaver tilknyttet Lean-miljøet i Norge.

# Abstract

Over the past few years, several Norwegian contractors have started to take advantage of methodologies such as Virtual Design and Construction (VDC) to improve the productivity of their projects. VDC is about streamlining projects in a Lean context with tools like Last Planner, ICE, BIM and metrics. Although few studies have been found on metrics in VDC projects, it appears evident that metrics are important for continuous improvement. However, selecting adequate metrics is challenging, as they can require more than they give in return.

The master thesis has thoroughly studied the topic of metrics in VDC projects, and suggested metrics for continuous improvement of design processes. As a way to meet the knowledge gap that exists on metrics in VDC projects, the following three research questions were posed and answered:

I How are metrics used in building design processes today?

II What are the main challenges in the building design phase?

III Which metrics should be used in future VDC projects?

To answer the research questions, two qualitative case studies were conducted over the course of one year. The first case study was a pilot study of Betonmast's first implementation of VDC. The second case study used the whole company as a case and looked at experiences with the design processes of "traditional" projects. The research was initiated with a literature scoping study, and several research methods have been triangulated to present a conclusion of high validity. Research methods included both semi-structured and unstructured interviews, observations and a document study.

The master thesis shows how metrics are used in the building design processes of one VDC project and generally in the projects of one norwegian contractor, Betonmast. In the VDC project they used metrics during ICE-sessions, but due to varying effort put into logging the metrics, they have found it hard to see the effects of metrics. In traditional projects the metrics are mainly aimed at measuring product related outcomes, such as cost, schedule and HSE. Having metrics to evaluate processes is less common.

The thesis also presents some of the main challenges of VDC-projects and "traditional" projects, such as getting good decisions in reasonable time, design process loops, communication between stakeholders and preparation for meetings. Several metrics have been suggested to meet these challenges, among others PPC (Percentage Plan Complete), root causes and evaluation of meetings.

The implication of the study is a list with six simple metrics for continuous improvement of the

building design processes of VDC projects, as well as seven supplementary metrics. The metrics are based on challenges in Norwegian construction projects, and have been presented for and verified by Betonmast's VDC implementation group.

As a part of the master degree, a scientific article was written and published through the International Group for Lean Construction (IGLC), to be presented at their 27th annual conference in Dublin, Ireland during the summer of 2019. This article has the title "Metrics in VDC projects" and is attached to the following master thesis. The master thesis was also chosen among Lean related theses to be presented at the Lean Construction Norway board meeting in Oslo on May 24th 2019.

# Innhold

<b>Forord</b>	<b>i</b>
<b>Sammendrag</b>	<b>iii</b>
<b>Abstract</b>	<b>v</b>
<b>Tabeller</b>	<b>x</b>
<b>Figurer</b>	<b>xi</b>
<b>Forkortelser</b>	<b>xii</b>
<b>1 Introduksjon</b>	<b>1</b>
1.1 Bakgrunn . . . . .	1
1.2 Forskningsspørsmål . . . . .	2
1.3 Avgrensning . . . . .	2
1.4 Oppgavens oppbygning . . . . .	3
<b>2 Metode</b>	<b>5</b>
2.1 Forskningsdesign . . . . .	5
2.2 Datainnsamling . . . . .	5
2.2.1 Litteraturstudie . . . . .	7
2.2.2 Case . . . . .	10
2.2.3 Intervju . . . . .	12
2.2.4 Observasjon . . . . .	15
2.2.5 Dokumentstudie . . . . .	16
2.3 Arbeidsfordeling . . . . .	17
2.3.1 Masteroppgaverapport . . . . .	17
2.3.2 Vitenskapelig artikkel . . . . .	18
2.3.3 Øvrige vedlegg . . . . .	18
<b>3 Teoretisk grunnlag</b>	<b>19</b>
3.1 Lean Construction . . . . .	19

3.1.1	Last Planner . . . . .	20
3.1.2	VDC og Lean . . . . .	22
3.2	Virtual Design and Construction . . . . .	23
3.3	ICE-møter . . . . .	24
3.4	BIM . . . . .	25
3.5	Modenhetsindeks . . . . .	26
3.6	Målinger . . . . .	27
3.6.1	Målinger generelt i byggeprosjekter . . . . .	27
3.6.2	Målinger i VDC-prosjekter . . . . .	27
3.6.3	Anbefalte målinger for VDC-prosjekter fra litteraturen . . . . .	28
3.7	Kunnskapshull . . . . .	30
<b>4</b>	<b>Resultat og diskusjon</b>	<b>31</b>
4.1	Måling av prosjekteringsprosesser i dag . . . . .	31
4.1.1	Prosjekteringsprosesser i VDC-prosjektet . . . . .	31
4.1.2	Prosjekteringsprosesser generelt i Betonmast . . . . .	36
4.1.3	Diskusjon . . . . .	38
4.2	Hovedutfordringer i prosjekteringsfasen . . . . .	41
4.2.1	Utfordringer i prosjekteringsfasen i VDC-prosjekter . . . . .	41
4.2.2	Utfordringer i prosjekteringsfasen generelt i Betonmast . . . . .	44
4.2.3	Diskusjon . . . . .	46
4.3	Målinger i fremtidige VDC-prosjekter . . . . .	48
4.3.1	Hvilke utfordringer kan møtes ved å måle prosjekteringsprosesser? . . . . .	48
4.3.2	Forslag til målinger i VDC-prosjekter . . . . .	50
4.3.3	Diskusjon . . . . .	53
<b>5</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>61</b>
5.1	Måling av prosjekteringsprosesser i dag . . . . .	61
5.2	Hovedutfordringer i prosjekteringsfasen . . . . .	62
5.3	Målinger i fremtidige VDC-prosjekter . . . . .	62
5.4	Videre arbeid . . . . .	64

<b>Bibliografi</b>	<b>66</b>
<b>Vedlegg</b>	<b>69</b>
<b>A - Vitenskapelig artikkel (Metrics in VDC projects)</b>	
<b>B - Intervjuguide pilotstudie</b>	
<b>C - Intervjuguide masteroppgave</b>	

# Tabeller

1	Forkortelser	xii
2.1	Søkematrise	9
2.2	Sentrale datoer for DBC	11
2.3	Intervjuoversikt - Pilotstudie	13
2.4	Intervjuoversikt - Masteroppgave	14
2.5	Interne dokumenter fra DBC	17
3.1	Anbefalte målinger i litteraturen	29
4.1	Modenhetsindeks på DBC	34
4.2	Utfordringer med de fire VDC-metodikkene i prosjekteringsfasen på DBC	44
4.3	Utfordringer i prosjekteringsfasen generelt i Betonmast	46
4.4	Hvilke utfordringer kan møtes med målinger?	50
4.5	Informantenes forslag til målinger	53
5.1	Prosjekteringsprosesser	61
5.2	Anbefalte målinger	63

# Figurer

2.1	Tidslinje for prosjekt- og masteroppgaven . . . . .	7
3.1	PDCA . . . . .	20
3.2	The Last Planner System (Ballard 2000) . . . . .	21
3.3	Plannivåer i Last Planner (Hamzeh et al. 2009) . . . . .	22
3.4	Prosess for MMI av Fløisbonn et al. (2018) . . . . .	26
3.5	Målinger (Fischer et al. 2017). . . . .	28
4.1	DBC ”Big-Room” . . . . .	33
4.2	Prosjekteringsplan . . . . .	33
4.3	Behovsmatrise . . . . .	33
4.4	Agendapunkter med fargekoding (DBC Referat ICE05) . . . . .	35
4.5	Evaluering av et ICE-møte (DBC Referat ICE04) . . . . .	36
4.6	Byggherrens beslutningsplan, med fargekoder . . . . .	38

# Forkortelser

Det blir i oppgaven benyttet forkortelser der det er hensiktsmessig. Noen av disse er på engelsk, men benyttes slik også i bransjen. Forkortelsene er listet under, i Tabell 1.

Tabell 1: Forkortelser

ARK	Arkitekt
BH	Byggherre
BIM	Building Information Modeling / Bygningsinformasjonsmodellering
CAD	Computer Aided Design
CIFE	Center for Integrated Facility Engineering
DBC	Drammen stasjon Business Center
FS	Forskningssspørsmål
ICE	Integrated Concurrent Engineering
IGLC	International Group for Lean Construction
KPI	Key Performance Indicators (nøkkelindikatorer)
KS	Kvalitetssikring
LOD	Level of Development / Level of Detail
MMI	Modell Modenhets Indeks
PPM	Project Production Management
PPU	Prosent Plan Utført
RIB	Rådgivende Ingeniør Bygg
RIBr	Rådgivende Ingeniør Brann
RIE	Rådgivende Ingeniør Elektro
RIV	Rådgivende Ingeniør VVS
TA	Tasks Anticipated
TMR	Tasks Made Ready
VDC	Virtual Design and Construction

# 1. Introduksjon

I dette kapittelet introduseres bakgrunnen for masteroppgaven, inkludert problemet som skal utforskes i studiet og forskningsspørsmålene som skal besvares. I tillegg presenteres relevante avgrensninger for oppgaven, samt oppgavens oppbygning.

## 1.1 Bakgrunn

Samfunnet setter stadig høyere krav til kvalitet og effektivitet i alle faser av byggeprosjekter. Samtidig har bygg- og anleggsbransjen i Norge sett et produktivitetsfall på 10 % siden år 2000<sup>1</sup>, noe som er langt bak andre bransjer. Flere metodikker har derfor blitt introdusert for å øke produktiviteten i byggebransjen.

Virtual Design and Construction (VDC) og målinger er to av disse metodikkene. VDC ble utviklet av Center for Integrated Facility Engineering (CIFE) ved Stanford University i 2001, og defineres som ”the use of integrated multi-disciplinary performance models of design-construction projects to support explicit and public business objectives” (Kunz & Fischer 2012). Flere norske entreprenører har begynt å implementere VDC for å øke prosjektenes effektivitet (Fosse et al. 2017, Knotten & Svalestuen 2014). Målinger er også foreslått som en metodikk for å imøtekommе utfordringene til byggebransjen. Ikke bare er målinger viktige for å evaluere prosjekters suksess men kan benyttes til kontinuerlig forbedring av prosjektene (Fischer et al. 2017).

I litteraturen finnes det mange publikasjoner om måling i byggeprosjekter (Chan & Chan 2004, Costa et al. 2006, Haponava & Al-Jibouri 2011, Hughes et al. 2004, Kang et al. 2014, Yeung et al. 2012). Det finnes også en del litteratur om VDC, særlig i tilknytning til Lean (Alarcón et al. 2013, Fosse et al. 2017, Garcia et al. 2004, Kam et al. 2013, Khanzode 2010, Khanzode et al. 2006, Kunz & Fischer 2012). Når det kommer til kombinasjonen av målinger og VDC derimot, er det et stort kunnskapshull. Målinger er et av hovedelementene innen VDC, men bare et fåtall publikasjoner finnes om temaet.

Pilotstudien utført i forbindelse med denne masteroppgaven har vist at et av de mest utfordrende aspektene ved VDC er målinger. Bransjen ønsker å effektivt inkludere målinger i implementeringen av VDC men å velge de rette målingene for kontinuerlig forbedring av prosessene er vanskelig. Til nå har bedriftene erfaring med produktrelaterte målinger, slik som måling av fremdrift, kostnad og HMS. For kontinuerlig forbedring av VDC-prosjekter er det også viktig med måling av prosess. Flere aktører er skeptiske når det foreslås å benytte målinger, da de frykter det blir byråkratisk og tidkrevende. Det å ha for mange eller for

---

<sup>1</sup>Todesen, S. (2018). Produktivitetsfall i bygg og anlegg. (Hentet 04.12.18). URL: <https://www.ssb.no/bygg-bolig-og-eiendom/artikler-og-publikasjoner/produktivitetsfall-i-bygg-og-anlegg>

komplekse målinger kan ifølge Chan & Chan (2004) potensielt være ineffektivt eller kreve for mye ressurser.

Selv om det i litteraturen argumenteres for at målinger er viktige for å se trender, evaluere og gjøre forbedringer, er det vanskelig å overbevise aktører om viktigheten av målinger uten konkrete eksempler og argumenter for ”de aller viktigste og nyttigste” målingene. Aktørene trenger derfor innspill om enkle, effektive målinger som kan benyttes på alle VDC-prosjekter.

### 1.2 Forskningsspørsmål

Masteroppgaven skal gå i dybden av målinger i VDC-prosjekter. Det skal ses på likheter og forskjeller mellom målinger av prosjekteringsprosesser i tradisjonelle prosjekter og i VDC-prosjekter, samt utfordringer i prosjekteringsfasen i Betonmast. Med bakgrunn i denne forståelsen skal det presenteres en liste med anbefalte målinger for kontinuerlig forbedring av prosjekteringsprosesser i VDC-prosjekter.

Følgende tre forskningsspørsmål er utarbeidet og besvart:

I Hvordan blir prosjekteringsprosesser målt i dag?

II Hva er hovedutfordringene i prosjekteringsfasen?

III Hva bør måles i fremtidige VDC-prosjekter?

### 1.3 Avgrensning

Arbeidet med masteroppgaven har vært begrenset med tanke på tid og ressurser, og det har vært nødvendig å avgrense omfanget av studien for å kunne utføre en god oppgave. Rapporten tar i utgangspunktet for seg resultater som er relevante innenfor avgrensningene i dette delkapittelet.

Studien har vært begrenset til byggeprosjekter hos den norske entreprenøren Betonmast, og deres erfaringer med målinger. Selv om det er utført en studie av én entreprenør, vil resultatene i stor grad være overførbare til andre entreprenører med liknende utfordringer, særlig dersom studien videreføres og resultater fra ulike entreprenører samles inn. I prosjektoppgaven ble det bare sett på ett av Betonmasts prosjekter, Drammen stasjon Business Center (DBC), grunnet begrenset med tid. Dette var også det eneste VDC-prosjektet i Betonmast da prosjektoppgaven skulle skrives.

Videre er det sett på generelle utfordringer i én fase av byggeprosjekter, prosjekteringsfasen, med fokus på detaljprosjekteringen som foregår i forkant og delvis underveis i produksjonen. Her gjelder erfaringer i prosjekteringsfasen ved totalentrepriser, der prosjekterslederen er utnevnt av totalentreprenøren. Det er ikke sett på målinger for andre faser av byggeprosjektene.

Prosjekteringsgruppa består da som regel av totalentreprenøren, byggherren, arkitekt og eksterne rådgivere for funksjoner som bygg, tekniske fag og brann. Nonen av rådgiverne er intervjuet, men analysen av målingene har i hovedsak vært fra entreprenørens perspektiv. Det er heller ikke sett på målinger fra perspektivet til byggherren.

I masteroppgaven er det fokusert på målinger i VDC-prosjekter og lagt mindre vekt på andre elementer av VDC slik som bakoverplanlegging, integrerte møter og BIM. Likevel har VDC som helhet vært en stor del av oppgaven. Erfaringene som informantene ved DBC hadde med alle elementene av VDC er benyttet som et utgangspunkt for masteroppgaven, og har vært viktige for å sammenlikne prosjekteringsprosessene i VDC-prosjekter og generelt i Betonmast.

De ble kun utført ett intervju med hver av informantene. Flere intervjuer kunne vært aktuelt for å se om deres meninger endret seg over tid, men grunnet tidsbegrensningen på studien ble dette nedprioritert. I stedet ble det valgt å triangulere ulike metoder for datainnsamling, ved å delta på observasjoner, og utføre litteraturstudie og dokumentstudie i tillegg til intervjuene.

## 1.4 Oppgavens oppbygning

**Kapittel 1. Introduksjon:** I kapittel 1 introduseres bakgrunnen for masteroppgaven og forskningsspørsmålene. I dette kapittelet presenteres også relevante avgrensninger og oppgavens oppbygning.

**Kapittel 2. Metode:** Dette kapittelet presenterer metodene som er brukt i arbeidet med masteroppgaven. Dette inkluderer forskningsdesign, metoder for datainnsamling, dataanalyse og arbeidsfordeling. Metodekapittelet beskriver og diskuterer valg som er tatt underveis i oppgaven og gir leseren en oversikt over hvordan forskningen ble utført.

**Kapittel 3. Teoretisk grunnlag:** I dette kapittelet presenteres relevant teoretisk grunnlag for å forstå og analysere resultatene. Det teoretiske grunnlaget omhandler Lean Construction, Last Planner, VDC, ICE, BIM, modenhetsindeks og målinger, både generelt i byggeprosjekter og for VDC-prosjekter spesielt. Til slutt diskutes Kunnskapshullet som ble avdekket i litteraturstudiet.

**Kapittel 4. Resultater og diskusjon:** I kapittel 4 presenteres resultatene som er samlet inn i løpet av masteroppgaven, strukturert etter forskningsspørsmålene i studien. Her presenteres både resultater fra prosjektoppgaver som er relevante for forskningsspørsmålene i masteroppgaven og resultater generelt om Betonmast. Mot slutten av hvert delkapittel diskutes resultatene for det aktuelle forskningsspørsmålet. Diskusjonen tar for seg likheter og forskjeller mellom VDC-prosjektet og generelle prosjekter i Betonmast. I tillegg diskutes informantenes meninger, som settes opp mot hverandre og litterære funn.

**Kapittel 5. Konklusjon:** I dette kapittelet besvares alle tre forskningsspørsmålene, og det

## KAPITTEL 1. INTRODUKSJON

---

foreslås en liste over måleparametere som har til hensikt å møte hovedutfordringene i prosjekteringsfasen for byggeprosjekter. Deretter diskuteres videre arbeid innen temaet.

**Bibliografi:** I bibliografikapittelet inkluderes alle referansene som er benyttet i arbeidet med masteroppgaven.

**Vedlegg:** Som Vedlegg A presenteres den vitenskapelige artikkelen som oppgaveskriver produserte parallelt med masteroppgaverapporten. Øvrige vedlegg inkluderer intervjuguiden for både prosjektoppgaven (Vedlegg B) og masteroppgaven (Vedlegg C).

# **2. Metode**

I boken «*Research methods for business students*» presenterer Saunders et al. (2009) en tilnærming til forskningsmetode basert på en løk, der de går gjennom ulike lag som definerer metodevalget. I metodedelen av masteroppgaven er det valgt å fokusere på et utvalg av disse lagene, slik de også er forenklet av Busch (2013) med forskningsdesign, datainnsamling og dataanalyse. Dataanalysen presenteres underveis i sammenheng med de ulike metodene for datainnsamling. Mot slutten av metodekapittelet presenteres arbeidsfordelingen i masteroppgaven, med masteroppgaverapport og vitenskapelig artikkel.

## **2.1 Forskningsdesign**

Når en bestemmer seg for forskningsmetode står valget først og fremst mellom kvantitativ og kvalitativ metode, eventuelt en kombinasjon av begge. I denne oppgaven er det utført et kvalitatittiv studie, der en får god dybdeinnsikt i problemstillingene og tolker subjektive meninger (Saunders et al. 2009). Det har vært viktig med en forståelse for svakhetene ved metoden, som går på at svarene i en kvalitativ studie er subjektive og potensielt mindre overførbare (Busch 2013).

Hoveddesign er handlingsplanen for hvordan problemstillingene skal besvares (Saunders et al. 2009). I denne oppgaven er det valgt å utføre en casestudie, der det er forsket på et valgt fenomen innenfor en eksisterende kontekst; målinger av prosjekteringsprosesser i VDC-prosjekter og generelt i Betonmast. I casestudier er variablene ukjente og mindre kontrollerbare enn for eksempel i eksperimenter (Saunders et al. 2009). Casestudien i masteroppgaven har hatt et intensivt design, der man som beskrevet av Busch (2013) ”går mer i dybden og samler data fra et fåtall kilder.”

Dataanalysen er utført i henhold til Busch (2013) for å skaffe en oversikt over og tolke materialet som er samlet inn. Dataanalysen i prosjektoppgaven ble utført som en systematisk meningskategorisering der de ulike resultatene ble strukturert etter intervjuguiden og vurdert opp mot hverandre. I casestudiet av Betonmast ble det i større grad utført meningstolkninger og forsøkt å analysere de empiriske funnene opp mot teorien. Analysen ble utført både underveis i prosessen med datainnsamling og i etterkant.

## **2.2 Datainnsamling**

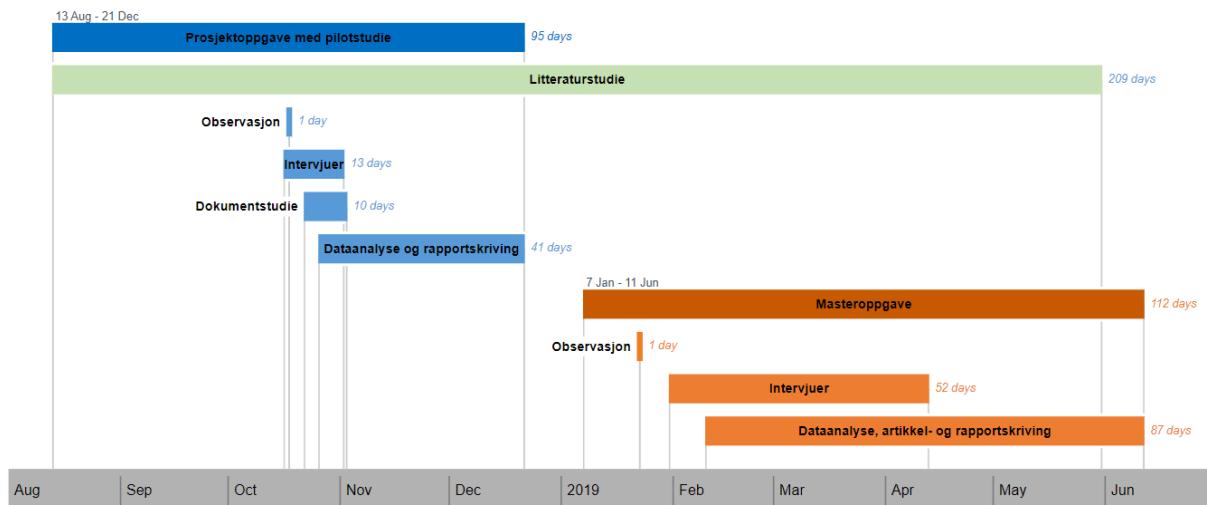
Data til masteroppgaven er funnet ved en triangulering av flere ulike metoder for datainnsamling. I casestudier er det særlig viktig å benytte ulike kilder for empirisk data, da disse øker kvaliteten i studiet (Yin 2014). Det er utført et litteraturstudie av fagområder knyttet opp mot målinger og

VDC, et pilotstudie av en første gangs implementering av VDC med intervjuer, dokumentstudie og observasjon, samt flere personlige intervjuer av prosjekteringsledere i casebedriften. Ved å se på ulike metoder har man mulighet til å redusere potensielle partiskheter som kan eksistere i en av metodene (Bowen 2009).

Utbryttet av datainnsamlingen er maksimert ved å følge fire prinsipper i henhold til Yin (2014).

- 1. Ulike metoder for datainnsamling:** Selv om det er mer krevende å utføre studier med flere metoder for datainnsamling er triangulering av data viktig for å øke validiteten til casestudiet. Når forskningsspørsmålene kan besvares med god nøyaktighet som følge av samsvarende data fra ulike kilder, har oppgaven god validitet.
- 2. Database for innsamlet materiale:** All data bør samles i en database, slik at oppgaveskriver har tilgang på både teksten som arbeides med, altså masteroppgaven og artikkelen, og rådata fra intervjuer, observasjon og litteraturstudie. Dette er gjort på personlig datamaskin og i NTNUs ”skylagringssystem”.
- 3. Sporbarhet:** Reliabiliteten til informasjonen i casestudiet vil øke når det er logiske koblinger mellom forskningsspørsmål, intervjuspørsmål, resultater og konklusjon. Dersom fremgangsmåten i casestudiet er ettersporbar bør et tilsvarende studie kunne gjenskape så å si de samme resultatene.
- 4. Forsiktighet med elektroniske kilder:** De elektroniske kildene som er håndtert i denne masteroppgaven har vært artikler og andre publikasjoner i forbindelse med litteraturstudiet. Disse kildene kan være partiske eller ufullstendige, og det er derfor viktig med kildekritikk i møte med elektroniske kilder. I litteraturstudiet (se kapittel 2.2.1) har det vært fokusert på å velge elektroniske kilder som er fagfellevurdert og publisert i anerkjente journaler. I tillegg har masteroppgaven sett på et utvalg bøker og fysiske kilder, som det også bør vises kildekritikk til.

Figur 2.1 viser tidslinjen for prosjekt- og masteroppgaven, fra høsten 2018 til våren 2019. Litteraturstudiet var først en del fagene TBA4128 Prosjektleddelse VK og TBA4151 Anleggsteknikk VK ved NTNU høsten 2018, og hadde hovedtyngde i begynnelsen av prosjektoppgaven. Deretter ble det videreført i masteroppgaven våren 2019 ved å gå i dybden av tematikken om målinger i VDC-prosjekter. Litteraturstudiet var dermed en sentral prosess gjennom hele studieåret.



Figur 2.1: Tidslinje for prosjekt- og masteroppgaven

## 2.2.1 Litteraturstudie

I forkant av et casestudie er det viktig å få en oversikt over relevant litteratur (Yin 2014). Hensikten med litteraturstudiet var derfor å kartlegge og vurdere kilder til masteroppgaven, med en evaluering av de mest relevante kildene. På denne måten kan man ifølge Yin (2014) luke ut de kildene som ikke er sentrale, og bruke mer tid på å analysere og studere de viktigste dokumentene. Litteraturstudiet la et godt utgangspunkt for kapittelet om teoretisk grunnlag, samt en forståelse for fagområdet, allerede eksisterende forskning og kunnskapshull.

### Snowballing

Mange av kildene er funnet gjennom «backward snowballing» ved å gå ut ifra referanselistene til gode og viktige artikler innen fagfeltet, eller «forward snowballing» som ser på litteratur som siterer en valgt kilde, i henhold til Wohlin (2014). Dette er iterative metoder for å finne artikler med tilknytning til publikasjoner man allerede har vurdert som relevante.

Før man utfører snowballing må man vurdere kilder til et ”start set of papers” (Wohlin 2014). Masteroppgaver skrevet innen prosjektledelse eller anleggsteknikk på NTNU anses som svært troverdige, da de er kvalitetssikret av veiledere ved Institutt for Bygg og Miljøteknikk (IBM). Forfatterene av disse masteroppgavene har trolig vært gjennom et litteratursøk der de har kvalitetssikret egne kilder, og referanselistene vil dermed være nyttige for snowballing. Artikler som er sitert mange ganger kan også være aktuelle. Det har vært viktig å sørge for et mangfold av ulike årstall, forfattere og publiseringaskanaler i start-settet (Wohlin 2014).

### Databaser og publiseringaskanaler

For å finne kilder i oppstartsfasen bidro veiledere Ola Lædre og Eilif Hjelseth med litteratur og publiseringaskanaler. De anbefalte litteratur fra International Group for Lean Construction (IGLC), som publiserer mange artikler med tematikker som lean og digitalisering. For VDC

spesielt anbefalte de artikler publisert gjennom Center for Integrated Facility Engineering (CIFE) ved Stanford University.

Mye litteratur ble i starten av søket funnet gjennom søkemotoren Google Scholar, da denne ble anbefalt av foreleser i litteratursøk Jardar Lohne. I tillegg til å være god for søk etter artikler er Google Scholar et nyttig hjelpemiddel for å lagre kilder og finne litteratur som er nært tilknyttet hverandre.

Engineering Village er en annen søkermotor som har vist seg nyttig, da den er mer utviklet for søk med filtrering av resultatene. Engineering Village er en søkermotor som er utarbeidet av Elsevier, et av verdens største forlag og rangert med nivå 1 i Register over vitenskapelige publiseringsskanaler<sup>2</sup>. I løpet av arbeidet med oppgaven ble metoden for litteratursøk tilpasset og forbedret. Det viste seg mest nyttig å søke første runde i Engineering Village for å hente ut relevant litteratur. Deretter ble denne litteraturen søkt opp i Google Scholar for å finne tilknyttede artikler.

NTNU Universitetsbibliotek sin søkermotor Oria ble også flittig brukt til å finne bøker og masteroppgaver innen relevante fagområder. Bøker er nyttige for å se på teori, men kan ofte være noe utdaterte i forhold til artikler som publiseres og oppdateres oftere. Masteroppgavene har som regel noen avsnitt om «videre arbeid» der de gjør rede for behov for videre studier samt eventuelle kunnskapshull i litteraturen.

### Søkestrategi

Søkestrategien har vært å utføre ulike søk i Google Scholar, Engineering Village og Oria. Ved søk i Engineering Village kunne resultatene bli filtrert til å bare gjelde treff i tittel/tema/abstrakt, og duplikater kunne bli fjernet. Ved søk i Google Scholar derimot, var resultatene basert på treff i hele teksten. Tabell 2.1 viser hvordan filtrering i Engineering Village ga et annet antall treff enn det samme søket i Google Scholar. Det har vært nødvendig å kombinere søkeord og filtrere resultater for å kutte ned til en mer håndterbar mengde resultater.

---

<sup>2</sup>Norsk senter for forskningsdata (2018). Elsevier. (Hentet 21.11.18) URL: <https://dbh.nds.uib.no/publiseringsskanaler/KanalForlagInfo.action?id=18173&bibsys=false>

Tabell 2.1: Søkematrise

Søkeord	Antall treff i Google Scholar	Antall treff i Engineering Village
”Virtual Design and Construction”	2060	68
”Virtual Design and Construction” AND VDC AND Metrics	376	3
”Virtual Design and Construction” AND ICE	299	1
”Virtual Design and Construction” AND ”Last Planner”	238	3
”Virtual Design and Construction” AND BIM	1640	56

Det ble valgt å benytte en kombinasjon av litteratur fra de filtrerte resultatene fra Engineering Village og generelle resultater fra Google Scholar og Oria. Det ble først gjort en vurdering av artiklenes titler og keywords, deretter abstrakt. Dersom litteraturen virket aktuell på bakgrunn av denne vurderingen ble den evaluert mer grundig.

En av fordelene med et litteratursøk er at man får organisert litteraturen, samt etablert en bedre forståelse for forskningsområdet og satt sin egen forskning i en kontekst (Saunders et al. 2009). Litteratursøket har vært nyttig for kontinuerlig kartlegging og dokumentering av relevant litteratur.

Svakheter ved litteratursøk er blant annet knyttet opp mot avgrensninger gjort i søkemetoden og oppgaveskrivers forståelse av problemstillingene, noe som kan gi et mangelfullt litteratursøk. Et eksempel på en utfordring i denne oppgaven var de filtrerte søkerne i Engineering Village der man potensielt kan ha gått glipp av sentrale resultater dersom søkerne befant seg i teksten, ikke i tittel/abstrakt. Det ble likevel valgt å anse kilder der søkerne var del av tittel eller abstrakt som de mest relevante, ettersom disse tydelig tar for seg ønsket litteraturområde.

### Evaluering og analyse av litteraturen

Metodene for evaluering av litteraturen var å se på om artikkelen brukte IMRaD-struktur, og ved å vurdere kildene opp mot TONE-prinsippet. IMRaD står for «Introduction, Method, Result and Discussion» og er en akademisk struktur anbefalt av NTNU for vitenskapelige rapporter<sup>3</sup>. TONE-prinsippet går ut på å vurdere litteraturens kvalitet basert på fire nøkkelord: Troverdighet, objektivitet, nøyaktighet og egnethet<sup>4</sup>.

Når man vurderer kildens troverdighet kan man se på forfatterens og publiseringsskanalens pålitelighet. Noen forfattere går igjen i mange kilder, og innen VDC kommer dette av at kun noen få personer står bak rammeverket. Eksempler på sentrale forfattere er Martin Fischer og John Kunz, som introduserte VDC gjennom CIFE i 2001. Innen Lean Construction er Glenn

<sup>3</sup>NTNU (nd). IMRaD - how to structure your text. (Hentet 12.10.2018). URL: <https://www.ntnu.edu/sekom/imrad>

<sup>4</sup>Overland, J.A. (2017). Kildekritikk. (Hentet 12.10.2018). URL: <https://ndla.no/nb/node/169741?fag=156500>

Ballard en særlig sentral fagperson. Dersom kilder er publisert gjennom IGLC eller andre anerkjente publiseringsskanaler vet man at de har gjennomgått en fagfellevurdering før publikasjon. I vurderingen av objektivitet ser man på forfatterens hensikt med å publisere artikkelen. Dersom forfatteren er veldig partisk eller lar være å belyse flere sider av en sak er kilden subjektiv. Nøyaktighet handler om hvor detaljert og presis kilden er, mens egnethet går på hvorvidt kilden passer til formålet med masteroppgaven<sup>4</sup>.

Andre ting som ble vurdert var antall ganger kilden var sitert og hvem som anbefalte den. Dersom en kilde ble anbefalt av veiledere eller sentrale kontaktpersoner ble dette vektlagt i prioriteringen av litteratur til oppgaven.

Etter litteratursøket og evalueringen av litteraturen ble kildene lest og analysert grundigere. Avsnitt som var relevante for oppgaven ble markert og sammenliknet med annen litteratur om samme tema. Dette dannet bakgrunnen for teoriforståelsen i masteroppgaven. Her ble det lagt vekt på temaer som står sentralt i forskningsspørsmålene. Litteraturen ble også brukt til å forstå forskningsområdet og hvilke temaer andre forskere har studert. Siden målinger og VDC har mye til felles med Lean Construction, har det vært relevant å trekke inn litteratur om Lean. Videre finnes det mer spesifikk litteratur innen flere av metodikkene som benyttes i VDC, slik som Last Planner, ICE og BIM.

### 2.2.2 Case

Høsten 2018, før oppstart av prosjektoppgaven ble det vurdert som aktuelt å velge et caseprosjekt hos Betonmast, da oppgaveskriver hadde sommerjobb i bedriften og en tilknytning til potensielle kontaktpersoner. Både case i prosjektoppgaven og case i masteroppgaven ble derfor valgt av praktiske hensyn. I tillegg er Betonmast en av Norges største entreprenører og sannsynligheten for å finne interessante prosjekter og temaer å studere var høy.

Oppgaveskrivers tilknytning til Betonmast kunne vært en trussel og i verste fall resultert i partiskhet i masteroppgaven. Det har derfor vært viktig å tydeliggjøre og fokusere på oppgaveskrivers rolle som en nøytral student ved NTNU i møte med informanter og andre involverte i casestudiet. Oppgaveskriver har lyktes med å være nøytral, samtidig som at kontaktnettverket i Betonmast har resultert i en god tilgang på informanter og informasjon om prosjekteringsprosesser og implementeringen av VDC hos Betonmast.

#### Pilotstudie

I prosjektoppgaven ble det utført et pilotstudie av et næringsprosjekt med Betonmast som entreprenør, Drammen stasjon Business Center (DBC). Før dette prosjektet ble valgt var det tenkt å skrive en oppgave om digitalisering, og se på et annet av Betonmasts prosjekter, hotellprosjektet The Hub i Oslo. Oppgaveskriver har vært sommervikar der og har dermed større kjennskap til prosjektet. Det ble likevel tydelig at DBC var et mer interessant prosjekt å

---

<sup>4</sup>Overland, J.A. (2017). Kildekritikk. (Hentet 12.10.2018). URL: <https://ndla.no/nb/node/169741?fag=156500>

se på. Dette ble avdekket i samtaler med sentrale personer i Betonmast. Betonmast ytret et ønske om å dokumentere hvorvidt deres første forsøk på å implementere VDC-metodikker var suksessfullt eller ikke. Forskningsspørsmålene ble da utviklet fra å handle om digitalisering til å ta for seg helheten i en VDC-implementering.

Følgende tre forskningsspørsmål ble presentert i prosjektoppgaven:

I Hvordan implementeres VDC på caseprosjektet Drammen stasjon Business Center?

II Hva er erfaringene med bruk av VDC på caseprosjektet?

III Hvordan bør Betonmast implementere VDC ved senere prosjekter?

Det var tenkt at de to første forskningsspørsmålene skulle besvares i prosjektoppgaven og det siste i masteroppgaven. Ettersom formålet med masteroppgaven endret seg rundt årsskiftet 2018/2019, ble ikke disse forskningspørsmålene tatt med videre i oppgaven, og det siste spørsmålet forble ubesvart.

DBC er et ledd i en større utvikling rundt Drammen stasjon i regi av BaneNOR Eiendom. Kontraktsformen er en totalentreprise, der Betonmast Buskerud-Vestfold vant kontrakten, og prosjektet har et omfang på ca 13 000 m<sup>2</sup> og 250 millioner kroner<sup>5</sup>. Prosjekteringslederen har tidligere vært ansatt i Skanska, og sitter med VDC-kompetanse, men for mange av de andre prosjektdeltakerne er VDC et helt nytt konsept. Sentrale datoer for prosjektet er vist i Tabell 2.2.

Tabell 2.2: Sentrale datoer for DBC

Prosjekteringsstart	24. mai 2018
Produksjonsstart	1. august 2018
Overlevering del 1	31. desember 2019
Prosjektlutt	30. juni 2020

DBC var det prosjektet i Betonmast som var best egnet til å besvare forskningsspørsmålene, ettersom det var Betonmasts første VDC-prosjekt og et unikt eksempel på VDC i Betonmast. Ved å velge dette caseprosjektet var det mulig å se på opplevelsen av VDC hos prosjektdeltakere som benytter metodikkene for første gang. Hensikten med oppgaven var å se på erfaringene og effekten av et VDC-prosjekt hos en bedrift som aldri har benyttet metodikkene i VDC på denne måten tidligere.

Samtidig er det utfordringer knyttet til å kun studere ett caseprosjekt. Man risikerer at resultatene ikke er representative for mer enn dette ene prosjektet. Det var likevel nødvendig å begrense omfanget av prosjektoppgaven, og derfor bare velge ett caseprosjekt.

<sup>5</sup>Betonmast (ud). DBC-betonmast. (Hentet 21.11.18). URL: <https://www.betonmast.no/prosjekter/drammen-stasjon-a2-2/>

Pilotstudiet undersøkte fire hovedmetodikker innen VDC: Last Planner, ICE, BIM med modenhetsindeks og målinger. Disse metodikkene er sammenliknbare med tradisjonelle prosjekteringsprosesser i Betonmast. Utfordringene som prosjektdeltakerne møtte ved implementeringen av VDC er også viktige å ta hensyn til når man ser på utfordringer i prosjekteringsfasen. I løpet av pilotstudiet ble det funnet at en av de største utfordringene ved VDC er å definere meningsfulle målinger. Dette la grunnlaget for masteroppgaven om målinger i VDC, og pilotprosjektets implementering av VDC ble brukt som en forutsetning for analysen av anbefalte målinger i VDC-prosjekter.

### Betonmast

Betonmast etablerte rundt årsskiftet 2018/2019 en gruppe som skulle arbeide med utviklingen av en VDC-manual for bedriften. I den sammenheng ytret de et ønske om å se nærmere på anbefalte målinger av prosjekteringsprosesser i VDC-prosjekter i Betonmast. Målinger var som nevnt en av de store utfordringene for implementeringen av VDC ved DBC. Det ble da valgt å forandre planen for masteroppgaven, ved å fokusere spesifikt på målinger i VDC-prosjekter i stedet for hele VDC-implementeringen.

Det nye caseobjektet ble da Betonmast, representert ved prosjekteringslederne i bedriften, ettersom disse har best innblikk i utfordringer knyttet til prosjekteringsfasen fra entreprenørens side. Samtidig ble denne VDC-gruppa viktige bidragsytere i vurderingen av de anbefalte målingene.

### 2.2.3 Intervju

Intervjuer kan i hovedtrekk enten være strukturerte, semistrukturerete eller ustrukturerte. Med disse følger graden av formalitet og struktur, der ustrukturerte intervjuer er de mest uformelle (Saunders et al. 2009).

Hensikten med intervjuene var å forstå hvordan prosjekteringsgruppa på DBC opplevde implementeringen av VDC, og hvilke utfordringer man i følge prosjekteringsledere i Betonmast kan møte med målinger. Det ble derfor i hovedsak utført semi-strukturerte intervjuer som ga informantene muligheter til å forklare og utdype svarene sine, men samtidig fulgte en viss struktur i form av en intervjuguide. Intervjuguiden ble brukt til å lede samtaLEN, men avhengig av informantens innsikt i tematikken ble det brukt mer tid på noen spørsmål enn andre. Samtidig ble spørsmålene mer og mer spisset fra intervju til intervju, da de bygget på forståelsen fra forrige intervju og analysen av resultatene fra intervjuet. Begge intervjuguidene, både for pilotstudiet og masteroppgaven, er vedlagt oppgaven (Vedlegg B og C) og bygd opp etter forskningsspørsmålene slik at de ga et godt grunnlag for å sammenlikne resultater.

Det er både fordeler og ulemper med semi-strukturerte intervjuer. På den ene siden kan denne formen for intervjuer gi en god oversikt over erfaringer hos enkeltpersoner og sørge for et direkte fokus på forskningsspørsmålene i casestudiet (Yin 2014). En svakhet ved metoden er at

den er avhengig av intervjuerens evne til å stille spørsmål som gir tilstrekkelige svar på problemstillingene, uten at hverken intervjueren eller informantene blir partiske eller holder tilbake informasjon (Saunders et al. 2009).

Det er under intervjuene fokusert på å stille minst mulig ledende spørsmål, og informere i forkant om at ingen svar er rette eller gale. Det har blitt forsøkt å følge Yin (2014) sine råd om at man som intervjuer bør stille gode spørsmål, være en god lytter, være tilpasningsdyktig, forstå det teoretiske grunnlaget og unngå partiskheter.

Videre var det et behov for en dypere forståelse av målinger i VDC-prosjekter, for å kunne foreslå gode måleparametere. Noen av intervjuene om målinger og VDC ble derfor utført som ustrukturerte samtaler, der temaet var fastsatt og formålet var å gå i dybden av tematikken (Saunders et al. 2009). Ustrukturerte dybdeintervjuer er nyttige i utforskende studier der man ønsker å finne ut av og forstå konteksten til et forskningsområde. Ifølge Saunders et al. (2009) er det mer vanlig å starte med ustrukturerte intervjuer og bruke funnene fra disse til å utarbeide mer strukturerte intervjuer. I denne oppgaven var det derimot nyttig å gjøre intervjuene i omvendt rekkefølge da informantene i de ustrukturerte intervjuene kunne ta del i analysen av resultatene fra de semi-strukturerte intervjuene.

Intervjuene ble utført med en ramme på 2 timer, enten ved personlig oppmøte, over telefon eller videosamtale. Intervjuene ble utført i samsvar med Yin (2014) og hvert intervju ble oppsummert i en rapport som ble godkjent av informantene over epost. Rapportene ble strukturert på samme måte som intervjuguiden, slik at resultatene fra de ulike informantene ble tydelig sammenliknbare. I analysen av intervjuene ble svarene satt opp mot hverandre gjennom en systematisk meningskategorisering, og det ble utført meningstolkninger.

### Intervjuer i pilotstudiet

Det ble i pilotstudiet utført intervjuer med nøkkelpersoner i prosjekteringsgruppa på caseprosjektet. Gjennom en samtale med prosjekteringslederen som innførte VDC på caseprosjektet ble det foreslått å snakke med de 5 informantene som er vist i Tabell 2.3. Disse ble anbefalt som de beste informantene for å få svar på forskningsspørsmålene. Ettersom de hadde vært svært involvert i prosjekteringsfasen og deltatt på både planleggingsmøter med Last Planner og ICE-møter kunne de mest om implementeringen av VDC på DBC, og hadde i tillegg vist en interesse for å stille til intervju og diskutere sine erfaringer.

Tabell 2.3: Intervjuoversikt - Pilotstudie

#	Informant	Dato for intervju	Intervjutype
1	RIE	16.10.18	Personlig
2	Prosjektleder	17.10.18	Personlig
3	Prosjekteringsleder bygg	17.10.18	Personlig
4	Prosjekteringsleder teknisk	19.10.18	Tlf
5	ARK	01.11.18	Personlig

Samtalene skulle i første omgang gi en oversikt over Betonmasts strategier for implementering av VDC, hvilke metodikker som ble benyttet og hvilke effekter prosjekteringsgruppa opplevde med disse. Det var positivt å få intervjuer representanter både fra entreprenøren og rådgiverne for å ha en variert gruppe informanter med ulike behov og mål. Det ble fokusert på prosjekteringsgruppa i denne oppgaven, men vurderes i ettertid som interessant om også byggherren hadde blitt intervjuet. Gruppen med informanter inkluderte både ledere som hadde innsyn i styringen av metodikkene og hva de som entreprenør får ut av VDC, og prosjekterende som hadde deltatt på møter og kunne ytre hvordan implementeringen opplevdes for de som ikke selv hadde tatt valget med å benytte VDC.

### **Intervjuer i masteroppgaven**

I masteroppgaven ble det utført 8 intervjuer med sentrale ansatte i casebedriften Betonmast og andre med kunnskap om VDC og målinger i prosjekteringsfasen. Tabell 2.4 viser en overordnet oversikt over intervjuene som ble holdt, sortert etter når intervjuene ble utført. Informantene er delt i to grupper med ulik intervjuform og hensikt.

Tabell 2.4: Intervjuoversikt - Masteroppgave

#	Rolle	Dato for intervju	Intervju type	Gruppe
1	Prosjekteringsleder	31.01.19	Personlig	1
2	Prosjekteringsleder	14.02.19	Personlig	1
3	Utviklingsleder	14.02.19	Personlig	1
4	Prosjekteringsleder	20.02.19	Videosamtale	2
5	Prosjekteringsleder	20.03.19	Personlig	1
6	Prosjekteringsleder	28.03.19	Videosamtale	1
7	Professor ved NTNU	01.04.19	Personlig	2
8	Prosjekteringsleder	23.04.19	Personlig	1

### **Gruppe 1**

Med informantene i gruppe 1 ble det utført semi-strukturerte intervjuer med prosjekteringsledere og en utviklingsleder i Betonmast. De første informantene ble valgt blant VDC-gruppa til Betonmast da de var best egnet til å diskutere og besvare spørsmål om målinger og VDC, men også for deres interesse i å lære og teste ut nye ideer og metodikker. I noen av disse intervjuene ble flere kunnskapsrike og erfarte prosjekteringsledere i Betonmast anbefalt. Anbefalingene ble vurdert og noen ble intervjuet, i hovedsak basert på tilgjengelighet for intervju, men også interesse og kompetanse.

En intervjuguide (Vedlegg C) som baserte seg på forskningsspørsmålene ble brukt som utgangspunkt for samtalene, og denne var tilsendt informantene i forkant av intervjuene. Intervjuguiden var utarbeidet i et tidlig stade av masteroppgaven og viser forskningsspørsmålene slik de var på det tidspunktet. I etterkant av intervjuene har de to første forskningsspørsmålene blitt slått sammen, og det tredje forskningsspørsmålet endret ordlyd.

Resultatene fra alle intervjuene forble likevel svært relevante for masteroppgaverapporten.

Formålet med intervjuene var å forstå hvordan målinger var brukt i tradisjonelle prosjekter i Betonmast, og hvilke utfordringer som typisk var forbundet med prosjekteringsfasen. Videre ble informantene oppfordret til å foreslå noen potensielle målinger som kunne bidra til å møte de nevnte utfordringene. Ikke alle informantene var i stand til å svare på hver del av intervjuguiden, så intervjuene måtte til tider tilpasses. Det var gunstig å intervju personer med innsikt i VDC, men også viktig at de hadde kunnskap om utfordringer i prosjekteringsfasen. Alle informantene fikk alle spørsmålene, men hovedvekten av tiden ble brukt på det de hadde mest erfaring med og kunnskap om.

## **Gruppe 2**

Informantene i gruppe 2 deltok i ustrukturerte dybdeintervjuer. Hensikten med disse intervjuene var å få en bedre forståelse for målinger, både generelt i byggeprosjekter og spesifikt i VDC-prosjekter. Disse informantene hadde en større teoretisk forankring enn informantene i gruppe 1 og særlig erfaring med målinger i praksis. Informantene i gruppe 2 bidro også med forslag til relevant litteratur og til å vurdere og diskutere måleparametrene som var utarbeidet av oppgaveskriver. Dette ble gjort basert på intervjuene av gruppe 1 og litteraturstudiet.

### **2.2.4 Observasjon**

I forkant av intervjurundene, både i pilotstudiet og i masteroppgaven, ble det utført en observasjon av et møte mellom informantene. Dette ble gjort for å få et innblikk i konteksten til casene og forskningsspørsmålene. I begge tilfellene ble det utført en direkte observasjon, der deltakerne visste at de ble observert, men oppgaveskriver (observerende) tok en passiv rolle i møtet, i samsvar med Yin (2014). Saunders et al. (2009) kaller dette for en ”observerende som deltaker”-observasjon, som er særlig nyttig når man skal studere fenomener i egen organisasjon. Oppgaveskriver har en unik tilgang til arbeidet med VDC i Betonmast gjennom kontaktene fra sommerjobb i bedriften. Det ble tatt notater underveis i observasjonen, slik at viktige momenter ikke ble glemt. Da det kun ble utført én observasjon for hver case, ble informasjonen fra disse observasjonene brukt som et supplement til annen innsamlet data.

I forkant av observasjonene ble det utarbeidet en plan for hva som skulle observeres. Dette ble gjort i form av stikkord til hva den observerende skulle legge merke til. I pilotstudiet var dette hvordan ICE-møtet ble organisert, verktøy eller fysiske hjelpeemidler som ble brukt, målinger og loggføring. I observasjonen i masteroppgaven var stikkordene hvordan VDC er brukt i ulike prosjekter i Betonmast, hva de har målt og hva de tenker om fremtidige målinger.

I pilotstudiet ble det utført en direkte observasjon av et ICE-møte, som hadde til hensikt å sette VDC i en prosjektkontekst. I tillegg skulle den gi en bedre forståelse for hvordan prosjektet implementerte VDC, ettersom både prosjekteringsplanen fra Last Planner, BIM og målinger er en del av ICE-møtene. Observasjonen ga først og fremst et innblikk i hvordan

prosjekteringsgruppa utførte ICE-møter samt hvilke målinger som ble tatt, men bidro også til en forståelse av hvordan aktørene samhandler og kommuniserer i ICE-møter.

I januar 2019, i begynnelsen av arbeidet med masteroppgaven deltok oppgaveskriver på et VDC-møte i regi av Betonmast. Her skulle oppgaveskriver i utgangspunktet ha en passiv og observerende rolle for å få innsikt i hva Betonmast tenker om deres implementering av VDC, med særlig fokus på utfordringer i prosjekteringsfasen og målinger. Likevel var det nødvendig å delta i noen diskusjoner for å utføre observasjonen og få nyttig informasjon, slik det forklares av Saunders et al. (2009). Observasjonen tydeliggjorde at Betonmast har begrenset erfaring med målinger, og at de er positive til at det blir utarbeidet en liste med standardiserte måleparametre.

Observasjon er en god metode for å se hvordan et fenomen, og i dette tilfellet et møte faktisk utføres. Da kan man se hvilke utfordringer deltakerne møter på i en naturlig setting. Observasjoner kan tydeliggjøre karakteristikker ved fenomener og er verdifulle bidrag til forståelsen for casene (Yin 2014). Fordelen med å være observerende deltaker er at det er mulig å fokusere på rollen som forsker, og ta notater underveis (Saunders et al. 2009). En svakhet ved metoden er at observasjonen tar mye tid, og at nærværen til metodikken kan føre til at den observerende blir partisk eller tolker observasjonen feil (Saunders et al. 2009). Videre kan det at møtet blir observert medføre at møtedeltakerne oppfører seg annerledes enn de normalt ville gjort (Yin 2014).

### 2.2.5 Dokumentstudie

Et dokumentstudie handler om å benytte dokumenter som primært bare er tilgjengelig innenfor et lukket forum eller et avgrenset antall aktører (Brinkmann & Tanggaard 2010). Adgangen til disse dokumentene vil være avhengig av velviljen hos aktørene. Relevante dokumenter kan inkludere alt fra personlige dokumenter som brev og eposter til møtereferater eller agendaer, interne rapporter og nyhetsartikler (Yin 2014). Beskrivelsen av et dokumentstudie skal si noe om hvilke dokumenter som ble benyttet, hvordan de ble funnet, og hvordan og hvorfor de ble studert.

I pilotstudiet ble det av Betonmast gitt innsyn i en rekke mapper og dokumenter i prosjekthotellet til DBC. Det ble i dokumentstudiet valgt å fokusere på møtereferater fra prosjekteringsmøter, ettersom disse gir mye informasjon om strukturen i ICE-møter, målinger av møtene og planpålitelighet. I tillegg har BIM-manualen vært nyttig for å se kravene som bedriften setter til prosjekteringsgruppen i forbindelse med BIM, og beslutningsloggen har gitt innsikt i hyppigheten og loggføringen av beslutninger. En oversikt over de interne prosjektdokumentene som ble studert er vist i Tabell 2.5.

Tabell 2.5: Interne dokumenter fra DBC

Dokument	Beskrivelse
ICE-møtereferat	Referat fra ICE-møter, med agenda og måling av møtet. I denne oppgaven ble det benyttet referater fra ICE02, ICE03, ICE04 og ICE05.
Beslutningslogg	Beslutninger som tas i ICE-møter loggføres i beslutningsloggen. Oppdateres etter hvert møte.
BIM-manual	Prosjektspesifikk BIM-manual som setter krav til de prosjekterende. Det er blant annet krav til detaljeringsgrad av modell samt egenkontroll og tverrfaglig kontroll.

Da fantes ikke noe møtereferat fra ICE01, ettersom det første møtet var en innføring i metoden for ICE-møtene. De øvrige møtereferatene ble brukt til å hente ut måleresultater og forstå agendaen på ICE-møtene. Beslutningsloggen og BIM-manualen ble supplementer til dokumentstudien for å forstå bruken av ICE og BIM i prosjektet.

Det er nyttig i arbeidet med prosjektoppgaven å ha tilgang til interne dokumenter for å forstå Betonmasts implementering av VDC og få innsyn i prosesser og målinger. Disse blir da brukt til å underbygge informasjonen som samles inn under intervjuer og observasjon, og styrke argumentasjonen. En fordel med interne dokumenter er at de er produsert uavhengig av prosjektoppgaven (Yin 2014). På den annen side presiserer Yin (2014) at en potensiell utfordring er å vite om man har fått tilgang på de mest relevante dokumentene, eller om bedriften har vært selektiv og bevisst holder tilbake dokumenter.

## 2.3 Arbeidsfordeling

Masteroppgaverapporten, den vitenskapelige artikkelen og øvrige vedlegg utgjør til sammen undertegnede masteroppgave ved Institutt for Bygg- og Miljøteknikk på NTNU våren 2019.

### 2.3.1 Masteroppgaverapport

Masteroppgaverapporten er en samling av alle resultatene som er relevante for å svare på forskningsspørsmålene presentert i introduksjonen av denne oppgaven. Den inkluderer da alt arbeid gjort om VDC og målinger av prosjekteringsprosesser i VDC-prosjekter og generelt hos Betonmast høsten 2018 og våren 2019. Hovedtyngden av arbeidet er gjort våren 2019.

Masteroppgaven er en selvstendig rapport av undertegnede, med bidrag fra veiledere Ola Lædre og Eilif Hjelseth. Ola Lædre har vært hovedveileder og bidratt i diskusjoner om forskningsspørsmål, metode og generell struktur av oppgaven. Biveileder Eilif Hjelseth har bidratt med faglige innspill og diskusjon av resultatene. Oppgaven er også diskutert to ganger sammen med Glenn Ballard, som er en av de store fagpersonene i det internasjonale

Lean-miljøet.

VDC-gruppa bestående av utviklingsleder og prosjekteringsledere i Betonmast har bidratt med innspill både til formålet med oppgaven og metoden for datainnsamling. De har vært tilgjengelige for intervjuer og kommet med forslag til og tilgang på informanter og andre ressurser i bedriften. I tillegg har VDC-gruppa bidratt i vurderingen og analysen av de anbefalte målingene.

### 2.3.2 Vitenskapelig artikkel

Det ble skrevet en vitenskapelig artikkel parallelt med arbeidet med masteroppgaven. Denne ble levert til IGLC-konferansen for presentasjon og publikasjon i Dublin sommeren 2019. Bakgrunnen, forskningsspørsmålene og metoden for artikkelen var de samme som i masteroppgaverapporten, men kun hovedpunkter fra resultatene ble presentert, grunnet en sidebegrensning på 10 sider.

Medforfattere i artikkelen var:

- Matilde Reinholdt Belsvik, M.Sc student ved Institutt for Bygg- og Miljøteknikk, NTNU
- Ola Lædre, professor ved Institutt for Bygg- og Miljøteknikk, NTNU
- Eilif Hjelseth, professor ved Institutt for Bygg- og Miljøteknikk, NTNU

Matilde Reinholdt Belsvik sto for skriving av selve artikkelen, litteraturstudiet, innsamling av empirisk data og diskusjon av resultatene, mens Ola Lædre og Eilif Hjelseth bidro under utformingen av forskningsspørsmål, med tilgang på litteratur og struktur av artikkelen.

Et førsteutkast av artikkelen ble levert 24.februar 2019. Denne ble vurdert av to uavhengige fagfolk på vegne av IGLC. Deretter ble en endelig versjon av artikkelen levert 5.mai 2019, som ble godkjent til IGLC-konferansen.

Den vitenskapelige artikkelen følger som Vedlegg A av denne masteroppgaverapporten.

### 2.3.3 Øvrige vedlegg

Vedlegg B og Vedlegg C presenterer intervjuguidene for henholdsvis prosjektoppgaven og masteroppgaven. Empirisk data hentet fra alle disse intervjuene har vært relevante for masteroppgaverapporten. Mer om intervjuguidene ble beskrevet i delkapittel 2.2.3.

# 3. Teoretisk grunnlag

I dette kapittelet presenteres teori som vurderes relevant for å analysere bruken av målinger i VDC-prosjekter. Det generelle teoretiske grunnlaget er presentert først, for deretter å beskrive hvert tema mer i dybden. Først presenteres Lean Construction og Last Planner, samt koblingen mellom Lean og VDC. Deretter beskrives VDC, og verktøyene BIM, modenheitsindeks og ICE. Til slutt presenteres noe generell teori om målinger i byggeprosjekter, målinger i VDC-prosjekter, samt hva litteraturen anbefaler som måleparametere for VDC-prosjekter. Det er viktig med en forståelse for teorien bak VDC og målinger, for å forstå og diskutere resultatene i oppgaven, og anbefale nyttige måleparametere.

## 3.1 Lean Construction

Lean Construction går ut på å benytte teorien bak Lean Production på byggeprosjekter (Khanzode et al. 2006). Lean Production ble utviklet under ledelse av Toyotas ingeniør Taiichi Ohno, som bygget videre på Henry Fords arbeid for å optimalisere produksjonen ved flyt-basert (eng: flow) ledelse (Howell 1999).

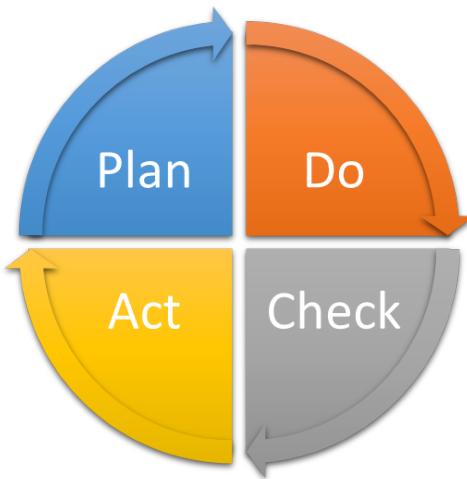
Lean Construction handler om å kontinuerlig tilføre produkter verdi og redusere eller eliminere ikke-verdiskapende aktiviteter (eng: waste) (Fosse et al. 2017). Det finnes i hovedsak syv typer aktiviteter som ikke er verdiskapende: Overproduksjon, venting, transport, overprosessering, inventar, bevegelse og gjentagende arbeid på grunn av defekter (Forbes & Ahmed 2010). Ved å eliminere disse kan en øke byggeprosjektenes produktivitet, redusere kostnadene og bedre kvaliteten.

Andre sentrale Lean-prinsipper er standardisering, pull-planlegging og kontinuerlig forbedring med fokus på rotårsaker og målinger (Forbes & Ahmed 2010).

Kontinuerlig forbedring, også kjent som Kaizen, er iterative metodikker for optimalisering av prosesser (Salem et al. 2006). I følge Bicheno & Holweg (2000) trenger man kontinuerlig forbedring i tre dimensjoner for å nærme seg en uforstyrret flyt:

1. Reduksjon av ikke-verdiskapende aktiviteter
2. Øking av verdi
3. Involvering av mennesker

PDCA, som står for Plan-Do-Check-Act (Figur 3.1) er et eksempel på en metodikk for kontinuerlig forbedring. PDCA handler om å imøtekommе problemenes rotårsaker ved å involvere prosjektdeltakerne i evaluatingsprosessen (Clark et al. 2013).



Figur 3.1: PDCA

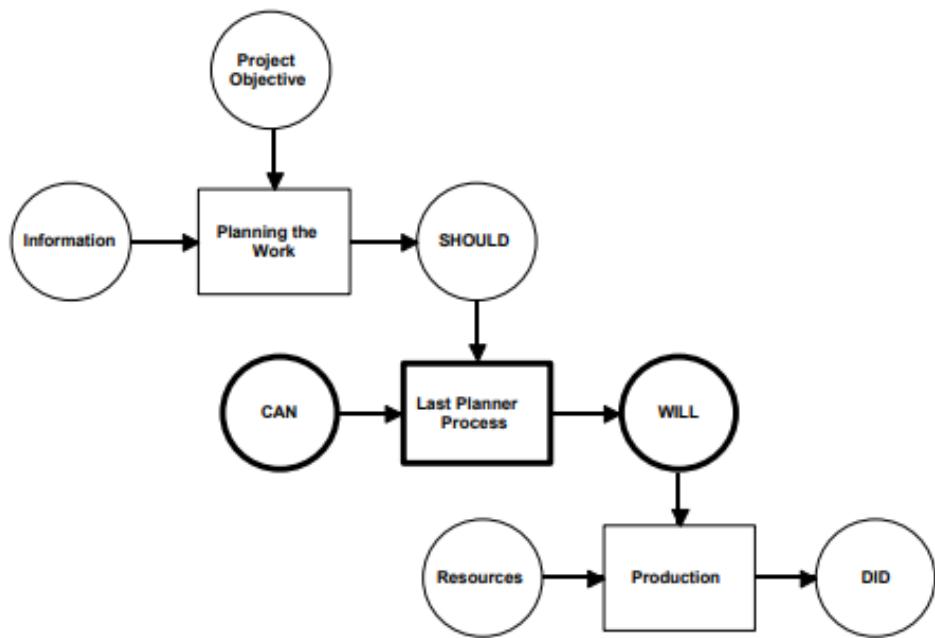
Lean er en viktig del av arbeidet med å øke produktiviteten i mange norske byggeprosjekter i dag. Gjennom Lean og et fokus på reduksjon av ikke-verdiskapende aktiviteter, kontinuerlig forbedring og involvering av mennesker kan man gjøre prosjektene mer effektive og forhåpentligvis mer verdiskapende. Mange av verktøyene som er utarbeidet innen forskningsområdet Lean Construction er også sentrale i VDC-prosjektene.

### 3.1.1 Last Planner

The Last Planner System of Production Control, heretter Last Planner, er en filosofi og et planleggingsverktøy for projektstyring av byggeprosjekter. Last Planner har til hensikt å redusere variabilitet, øke planpålighet og bedre prosjekters ytelse (Hamzeh et al. 2009). Som en kritikk til tradisjonelle, transformasjonsorienterte syn på aktiviteter og prosesser, etablerte Glenn Ballard denne prosedyren som i tillegg til å omfatte transformasjon fokuserer på flyt og verdiskapning. Ballard (2000) definerer Last Planner som:

(...) a mechanism for transforming what SHOULD be done into what CAN be done, thus forming an inventory of ready work, from which Weekly Work Plans can be formed. Including assignments on Weekly Work Plans is a commitment by the Last Planners (foremen, squad bosses) to what they actually WILL do.

Figur 3.2 illustrerer det teoretiske aspektet ved Last Planner.



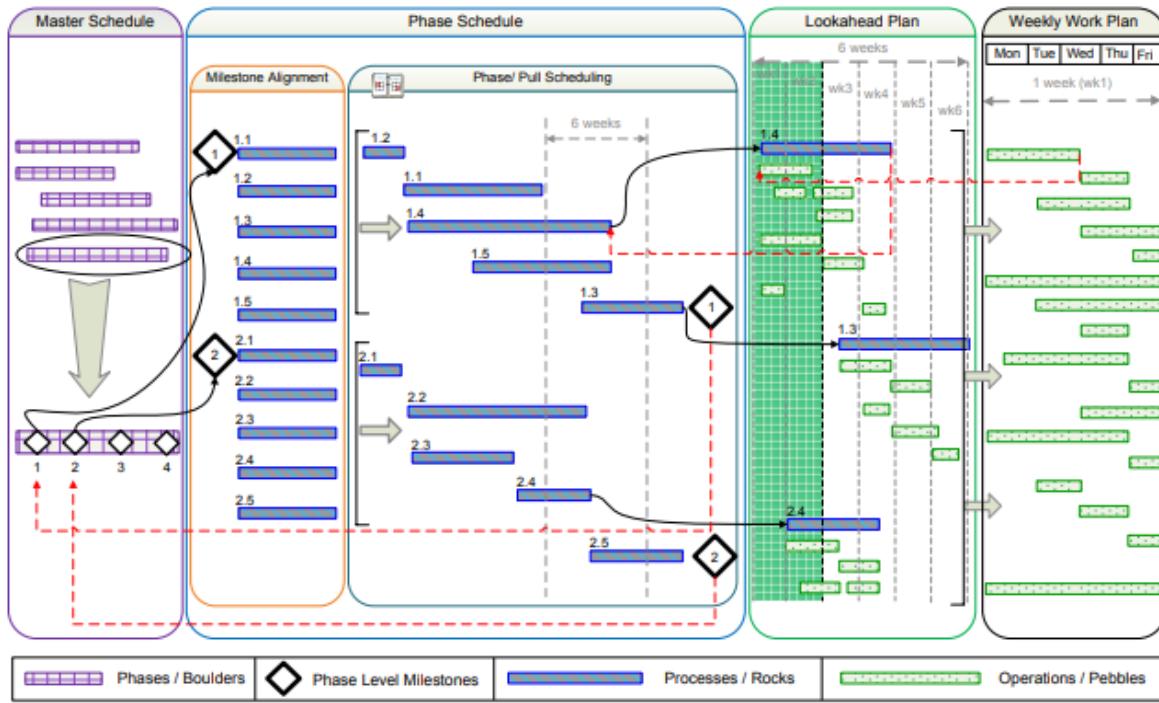
Figur 3.2: The Last Planner System (Ballard 2000)

Last Planner er en form for pull-planlegging der de utførende aktørene selv setter opp en leveranse og oppretter aktiviteter og del-leveranser basert på hva som kreves for å fullføre leveransen (Forbes & Ahmed 2010). Last Planner kan benyttes til å planlegge både produksjon og prosjektering, og involverer de ulike aktørene i større grad enn tradisjonell planlegging. Aktørene som deltar i planleggingen omtales da som "Last Planners" (Ballard 2000).

Ballard (2000) presenterer Last Planner med fire plannivåer:

- **Hovedfremdriftsplan** med milepæler
- **Faseplan** med aktiviteter basert på pull-planlegging fra hovedfremdriftsplanen
- **Utkikkssplan** som trekker ut 6-8 uker av hovedfremdriftsplanen
- **Ukeplan** med ukentlige aktiviteter fra utkikkssplanen

Jo dypere man går i nivåene desto mer detaljert blir planene. Dette illustreres tydelig i Figur 3.3. For å måle suksess i planleggingen ser man ofte på PPU (Prosent Plan Utført) som er et mål på hvor mye av planen som er oppnådd for et tidsintervall (Forbes & Ahmed 2010). I sammenheng med PPU blir da rotårsaker en sentral del av Last Planner for kontinuerlig forbedring av planleggingsprosessene (Ballard 2000).



Figur 3.3: Plannivåer i Last Planner (Hamzeh et al. 2009)

Last Planner er som regel forbundet med Lean Construction men kan også benyttes innen VDC for å planlegge og styre både produksjons- og prosjekteringsprosesser. Hovedfokuset i Last Planner er å involvere aktørene slik at de selv bidrar til å planlegge sine egne arbeider og dermed blir mer forpliktet til planen. Da får man både en bedre plan, utarbeidet av de som faktisk skal gjøre jobben, og aktørene får økt eierskap til planen, ettersom de selv planla aktivitetene sine.

Med høy involveringsgrad kreves det god koordinering av prosessen og at de som er "Last Planners" har god innsikt i hva som skal utføres. I tillegg er det viktig at behov og avhengigheter mellom aktører kommer tydelig frem. Deltakerne bør derfor ha forståelse for metodikken slik at de kan gjennomføre planleggingsprosessen på en best mulig måte.

### 3.1.2 VDC og Lean

En Lean tankegang kan ifølge forskning av Mandujano et al. (2015) hjelpe VDC-prosjekter med å redusere ikke-verdiskapende aktiviteter og effektivisere prosessene. Lean handler om å strømlinjeforme prosesser og er ofte sentralt i prosjekter som implementerer VDC. Ved implementeringen av VDC kan prosjekter oppnå Lean prinsipper, og Lean som et rammeverk kan øke effektiviteten til VDC-prosjekter. Følgelig har VDC og Lean blitt argumentert av flere forskere til å fungere godt sammen (Alarcón et al. 2013, Gerber et al. 2010, Khanzode et al. 2006, Khanzode 2010, Mandujano et al. 2015).

Lean Construction innebærer et fokus på kontinuerlig forbedring gjennom referanse måling (eng: benchmarking), rotårsaksanalyser og bruk av målinger (Fosse et al. 2017). Her er det en tydelig kobling mellom Lean og målinger i VDC-prosjekter.

Den nære koblingen mellom Lean og VDC kommer også frem i VDC-metodikkene. Last Planner og målinger er eksempler på metodikker som fortrinnsvis forbindes med Lean, men som samtidig er svært sentrale innen VDC. Last Planner er en av de mest utbredte formene for Project Production Management (PPM) i VDC-prosjekter, og målinger er viktige for kontinuerlig forbedring av prosessene for å gjøre VDC-implementeringen enda bedre.

VDC og Lean utfyller hverandre godt, selv om den ene ikke er en forutsetning for den andre. Inntrykket er likevel at VDC er en samling metodikker som fungerer best om de settes i en Lean tankegang. Dersom man klarer å utnytte både VDC og Lean kan man trolig øke effektiviteten i prosjektene enda mer.

## 3.2 Virtual Design and Construction

Virtual Design and Construction, VDC, ble først introdusert i 2001 av John Kunz og Martin Fischer via Center for Integrated Facility Engineering (CIFE) ved Stanford University. I senere tid har flere forsket på og utviklet rammeverket. VDC handler om å optimalisere prosjektene gjennom bruk av verktøy og metodikker for mer hensiktsmessig tidsbruk og best mulig måloppnåelse (Jovik 2012). Kunz & Fischer (2012) definerer VDC på følgende måte:

«Virtual Design and Construction (VDC) is the use of integrated multi-disciplinary performance models of design-construction projects to support explicit and public business objectives.»

Modellene i denne definisjonen er modeller for produkt, organisasjon og prosess (POP-modeller) (Kunz & Fischer 2012). Når disse utarbeides bør man involvere alle prosjektdeltakere og benytte modellene som hjelpeidler for beslutninger. Målet med VDC er ifølge Khanzode et al. (2006) å benytte virtuelle POP-modeller i prosjekteringsfasen for å forstå prosjektets kompleksitet og forutse og analysere fallgruvene en kan møte på. Disse modellene bør dermed utformes så tidlig som mulig, før det er investert veldig mye tid eller penger i prosjektet (Mandujano et al. 2015).

VDC er mer et rammeverkt enn én spesifikk metode og går ut på å kombinere ulike verktøy og teknikker i en Lean tankegang. Rischmoller et al. (2018) skriver at VDC er en kombinasjon av følgende integrerte elementer:

- BIM (Building Information Modelling)
- PPM (Project Production Management), for eksempel Last Planner (Lean)

- ICE (Integrated Concurrent Engineering)
- Kundens mål og prosjektets objektiver
- Målinger

I Norge har ulike bedrifter utviklet sine egne måter for å ta i bruk VDC, basert på sertifiseringen og opplæringen de har fått gjennom CIFE. Når Betonmast nå jobber med å implementerte VDC baserer de seg ikke bare på denne opplæringen men blir også påvirket av hva som har fungert bra for andre norske bedrifter og egne erfaringer med gjennomføring av prosjekter. På den måten kan de utvikle et rammeverk for VDC som er tilpasset deres egen bedrift.

På pilotprosjektet DBC valgte Betonmast å benytte Last Planner, ICE-møter, BIM med modenhetsindeks og målinger. Disse er typiske verktøy innen VDC, og trolig de verktøyene som Betonmast vil fortsette å bruke i fremtidige VDC-prosjekter. Da får de en helhetlig implementering av VDC som står i stor kontrast til prosessene i mange tradisjonelle prosjekter.

### 3.3 ICE-møter

ICE står for Integrated Concurrent Engineering og er en møtemetodikk som bringer prosjekteringsgruppa bestående av ulike fagfelt sammen i en integrert og samlokalisert prosess. ICE handler ifølge Fischer et al. (2017) om å involvere alle relevante interesser, ressurser og beslutningstagere slik at større beslutninger kan tas som et team. ICE-møter består av tre elementer: BIM, prosessdesign og målinger (Fischer et al. 2017). BIM er verktøyet for visualisering og samhandling, prosessdesign er hvordan møtene utføres, for eksempel i et "Big Room" med en satt agenda, mens målinger er evalueringen av møtene og prosjektet opp mot prosjektets mål.

Tradisjonelle prosjekteringsmøter lider ifølge Fosse et al. (2017) av uklare agendaer, dårlig forberedelse og utsydelige beslutningslogger. ICE-metodikken ble utviklet for å løse disse problemene, med en "tydelig agenda med klare mål, aktiv problemløsing, mer effektiv tidsbruk og mer forberedte prosjekteringsdeltakere" (Fosse et al. 2017). På ICE-møter tar man typisk i bruk skjermer for diskusjon og visualisering av modell eller tegninger, slik at beslutninger kan tas mens alle relevante aktører er tilstede. Fasilitatorrollen er viktig for gjennomføringen av ICE-møter, da denne skal styre agendaen og passe på at møtet er relevant og effektivt for aktørene (Kunz & Fischer 2012).

Hensikten med ICE-metodikken er å få aktørene til å projektere samtidig og levere prosjekteringsunderlag raskere, samt å minimere distraherende og ikke-verdiskapende aktiviteter i prosjekteringsarbeidet. Her kan man se tydelige likheter med en Lean tankegang. Eksempler på ikke-verdiskapende aktiviteter i prosjekteringsfasen er ifølge Kunz & Fischer (2012) "[gjentakende] tydeliggjøring av mål, metoder eller vokabular, sekundære plikter og

ventetid på svar fra andre aktører". Samlokalisering skal bidra til at ventetid på både svar og beslutninger reduseres (Kunz 2013). Mellom ICE-møtene skal deltakerne bruke tid i egne faggrupper på å løse spørsmål som kom opp i møtet. På denne måten bidrar ICE til å effektivisere evalueringen og arbeidet med prosjekteringsalternativer og dermed også beslutninger tatt i prosjekt (Fischer et al. 2017).

ICE-møter er en av de mest sentrale møtemetodikkene innen VDC, som aktivt involverer og skaper samhandling blant aktørene. Det som først og fremst skiller ICE-møter fra tradisjonelle prosjekteringsmøter er fokuset på agenda fremfor møtereferat og å få aktørene til å forberede seg bedre og tydeliggjøre egne behov. Samtidig er det viktig å koble de andre VDC-metodikkene inn i disse møtene, slik som prosjekteringsplanen som ble utarbeidet i Last Planner-sesjonene, BIM-modellen på interaktive skjermer i rommet og målinger av møtene.

### 3.4 BIM

BIM, eller bygningsinformasjonsmodell, er en digital og visuell representasjon av det som skal bygges med informasjon knyttet til bygningselementene. Samtidig er BIM et nyttig verktøy for analyse og styring i både prosjekteringen og produksjonen, og kan videre benyttes til å gi informasjon i driften av det ferdige bygget (Eastman et al. 2008). BIM i seg selv er ikke en teknologi, men støtter mange ulike teknologier som blant annet CAD (Forbes & Ahmed 2010).

Bruken av BIM er svært utbredt blant entreprenører og prosjekterende i den norske byggebransjen. Aktørene i prosjekteringen jobber som oftest i hver sin modell med ulike modelleringsverktøy. For kollisjonskontroll og for å se prosjektet i sin helhet kan modellene sammenstilles i en felles BIM-modell. Dette gir de prosjekterende en felles referanse og forståelse av prosjektet (Jovik 2012). Mandujano et al. (2015) påpeker videre at BIM er en plattform for å dele kunnskap og et nyttig verktøy for beslutningsprosesser.

Eastman et al. (2008) presenterer en rekke fordeler og utfordringer ved BIM. Fordeler inkluderer at man får en tidligere etablering av gjennomførbarhet, et tidligere og bedre samarbeid mellom aktører, mer nøyaktighet i prosjektering, økt produksjonsytelse, bedre kvalitet, økt energieffektivitet og bærekraftighet, tidligere lokalisering av feil og bedre forvaltning og drift. Samtidig kan man møte på utfordringer med samarbeidet mellom aktørene, uenighet rundt eierskap av dokumenter samt svakheter ved verktøyene som benyttes.

Det er en utbredt misforståelse at BIM er det samme som en 3D-modell. En 3D-modell er ifølge Eastman et al. (2008) ikke en BIM-modell dersom den bare er en visualisering av prosjektet og ikke knytter informasjon til objektene. Informasjons-aspektet er dermed essensielt for en riktig forståelse av BIM.

Selv om BIM allerede er i bruk i prosjekteringen på de fleste byggeprosjekter i dag, er det et svært viktig verktøy i VDC-prosjekter, der BIM benyttes både i og utenfor møtene. BIM

bidrar til å skape en felles forståelse for arbeider som skal utføres og kan benyttes til å tvinge fram samhandling og kommunikasjon mellom aktører. Samtidig kan BIM-modellen brukes til kollisjonskontroller, fremdriftsplanlegging og oppfølging i produksjonsfasen.

### 3.5 Modenhetsindeks

MMI, eller modell modenheits indeks, kan benyttes for å tilegne status til objekter eller områder i en BIM-modell og beskrive hvor utviklet modellen er (Svalestuen et al. 2018). Kodene beskriver da modningsgraden til objektene. MMI har nært slektskap til begrepene «Level of Development» og «Level of Detail» som begge forkortes LOD, og flere norske masteroppgaver har sett på effekten av LOD i prosjekteringsfasen (Grytting 2017, Nøklebye 2018). Nøklebye (2018) skriver at MMI og LOD stort sett betyr det samme, men at MMI fokuserer mer på utviklingen av prosjekteringsprosessen enn geometriske spesifikasjoner. Da det er mye usikkerhet knyttet til betydningen av disse begrepene har Entreprenørforeningen Bygg og Anlegg, EBA valgt å anbefale MMI som begrepet for modenhet i Norge (Fløisbonn et al. 2018). MMI skal være et bidrag til byggenæringen gjennom et «felles standardisert språk, en benevnelse, som kommuniserer ferdigraden av objektene på en entydig måte» (Fløisbonn et al. 2018).

EBA (2018) har i samarbeid med Arkitektbedriftene og Rådgivende Ingeniørers Forening utarbeidet et forslag til en prosess for MMI som vist i Figur 3.4. Denne kan benyttes til kommunikasjon i prosjektering og produksjon, for å etablere interne rutiner og for å sette krav til aktørene for objekter i ulike faser.



Figur 3.4: Prosess for MMI av Fløisbonn et al. (2018)

Modell modenheits indeks, kan bidra til en bedre oversikt over hva som jobbes med og hvor langt de ulike aktørene har kommet med hver sone eller hvert objekt. Dersom en sone er definert gjennom MMI som klar til bygging kan den påbegynnes uten at man må vente på at hele etasjen er ferdig prosjektert. Dette effektiviserer både prosjekteringen og produksjonen, og på den måten er MMI nyttig for prosjekter som ønsker å fokusere på kommunikasjonen mellom aktørene både internt i prosjekteringen og mellom de prosjekterende og produksjonen.

## 3.6 Målinger

### 3.6.1 Målinger generelt i byggeprosjekter

Målinger av byggeprosjekter er et stort fagfelt, med en nesten uendelig mengde forskning. Ifølge Bassioni et al. (2004) finnes det mange metoder for måling av prosjektene ytelse, slik som Balanced Scorecard, ”just-in-time” (JIT), benchmarking og aktivitet-basert ledelse. CII 10-10 er et eksempel på et system for benchmarking av prosjekters prestasjon, opp mot andre prosjekter i bransjen (Kang et al. 2014), og et eget Nordic 10-10 har blitt lansert for benchmarking i nordiske prosjekter.

Flere studier har forsøkt å utvikle gode parametere for prestasjonsmåling og evaluering av byggeprosjekter (Beatham et al. 2004, Chan & Chan 2004, Yeung et al. 2012, Haponava & Al-Jibouri 2011, Hughes et al. 2004). Basert på et omfattende litteraturstudie og tre casestudier presenterte Chan & Chan (2004) nøkkelindikatorer (KPI-er, eng: Key Performance Indicators) for prosjektsuksess. Disse indikatorene inkluderte objektive målinger som tid, kostnad og ulykker, i tillegg til subjektive målinger som kvalitet og tilfredshet. Subjektive egenskaper er viktige for å unngå at et prosjekts vurdering av suksess begrenses til objektive målinger (Hughes et al. 2004). En av hovedutfordringene for KPI-ene er deres produktorienterte fokus, og at de fleste KPI-er er ”lagging” indikatorer (Beatham et al. 2004), altså at de er brukt til evaluering og sammenlikning i ettermakt av prosjektene. Haponava & Al-Jibouri (2011) har foreslått et generisk system for mer prosessorienterte KPI-er i et forsøk på å imøtekjemme begrensningene til de eksisterende KPI-ene. Yeung et al. (2012) har kombinert ”leading” og ”lagging” indikatorer til en ”Composite Performance Index” (CPI) for benchmarking av byggeprosjekter i Hong Kong.

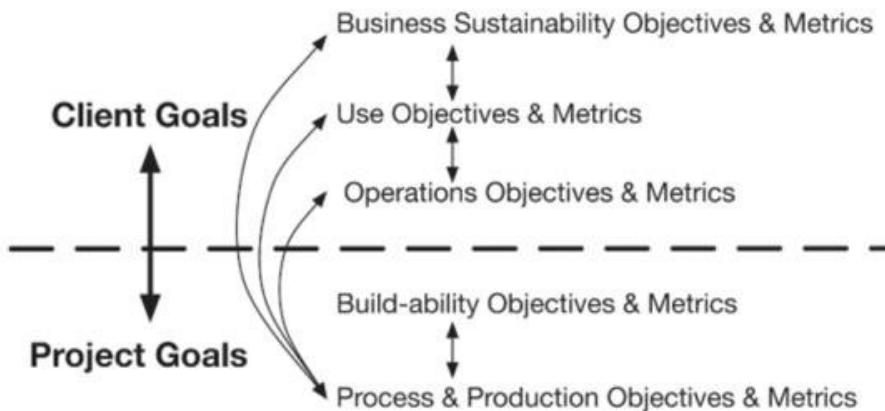
Selv om målinger er mer utbredt i produksjonsfasen, kan de også bli brukt til å styre prosjekter i prosjekteringsfasen. Ifølge Knotten et al. (2015) bør en bruke målinger for å kontrollere kvaliteten på prosjekteringsarbeid og utveksling av informasjon. I en studie av Hamzeh et al. (2009) om målinger av Last Planner er det vist hvor viktig det er å ha ”standardiserte produksjonsplanlegging- og styringspraksiser for ytelsesmåling og prosessforbedring”. Bruk av enkle målinger i prosjekteringsfasen er effektivt for å vise statusen til et prosjekt og kan gi prosjektet en indikasjon på hva som krever størst fokus (Knotten & Svalestuen 2014).

### 3.6.2 Målinger i VDC-prosjekter

Målinger er noe av det som tydelig skiller VDC fra implementeringen av andre metodikker. VDC-prosjekter har som regel et gjennomgående fokus på å styre prosjektene basert på målinger som gjøres underveis, ikke bare på slutten av prosjektet. På den måten får de et bedre resultat og kan optimalisere prosessene gjennom kontinuerlig forbedring. Da blir målinger av VDC-metodikkene et virkemiddel som settes inn i en Lean tankegang, for eksempel ved bruk av PDCA. Typiske

målinger i VDC-prosjekter har vært Prosent Plan Utført (PPU), evaluering av møter, rotårsaker, beslutningstreghet og antall endringer. Det er også viktig å måle utfallet av prosjektet, ved å se på blant annet tid, kostnad og HMS (Kunz & Fischer 2012).

Målinger kan benyttes til å kontrollere målsettinger og hvordan disse skal nås, og bør dermed være knyttet opp mot prosjektets mål og objektiver (Fischer et al. 2017). Da oppnår man bedre kontroll over resultatene og kan styre prosjektet underveis. Figur 3.5 viser forholdet mellom kundens mål og prosjektets objektiver og målinger (eng: metrics).



Figur 3.5: Målinger (Fischer et al. 2017).

Målinger bør ifølge Khanzode (2010) (1) være tydelig og transparente og (2) bli brukt til å forbedre oppførselen til prosjektdeltakere. Dette gjelder uavhengig av om prosjektet benytter VDC eller ikke. Ved å måle ytelsen på et prosjekt kan prosjektet styres bedre og man kan optimalisere prosessene med utgangspunkt i disse målingene gjennom kontinuerlig forbedring. Med målinger har man mulighet til å identifisere hva som ikke fungerer, eventuelt fungerer dårlig, og fikse det (Knotten & Svalastuen 2014). Utfordringen ligger i å definere meningsfulle målinger som kan knyttes opp mot prosjektmålene og gjøre prosjektlederne i stand til å kontrollere faktorer for å nå disse målene (Fischer et al. 2017).

### 3.6.3 Anbefalte målinger for VDC-prosjekter fra litteraturen

I arbeidet med masteroppgaven er det utført et litteratursøk som undersøker hvilke målinger som kan være gode i prosjekteringsfasen i VDC-prosjekter. Disse er basert på teori i det akademiske miljøet og ulike casestudier, særlig av norske VDC-prosjekter, som vil være mer sammenliknbare med casestudiet i denne oppgaven.

Flere studier har vist fordeler og begrensninger ved VDC (Gilligan & Kunz 2007, Grindland 2017, Husby 2017, Kam et al. 2013, Olofsson et al. 2008, Redman 2017). Likevel er det få som har foreslått eller diskutert de mest relevante målingene for kontinuerlig forbedring i VDC-prosjekter. Hovedfokuset i tidlige rapporter har vært på målinger for evaluering av implementeringen av

VDC. Til tross for den begrensede mengden litteratur om målinger i VDC-prosjekter ble noen publikasjoner funnet og satt opp mot hverandre (Fischer et al. 2017, Fosse et al. 2017, Hamzeh & Aridi 2013, Knotten & Svalestuen 2014, Kunz & Fischer 2012). Resultatet er en liste over foreslalte målinger i litteraturen for prosjekteringsfasen i VDC-prosjekter, presentert i Tabell 3.1.

Tabell 3.1: Anbefalte målinger i litteraturen

Måling	Kunz & Fischer (2012)	Hamzeh & Aridi (2013)	Knotten & Svalestuen (2014)	Fischer et al. (2017)	Fosse et al. (2017)
Prosent Plan Utført (PPU)	x	x	x	x	x
Tasks Anticipated (TA)		x		x	
Tasks Made Ready (TMR)		x		x	
Rotårsaker			x	x	x
Responstreghet	x			x	
Beslutningstreghet	x				
Evaluering av møter	x		x		x
Andel mengdeberegning utført i 3D-modell vs tegninger			x	x	
Hvor mange ganger BIM ble brukt til å vurdere alternative løsninger			x		
Mengdeberegning fra 3D-modell vs faktisk brukte mengder			x	x	
Møtedeltakelse	x			x	
Kollisjoner identifisert med 3D-modell/kollisjonstrender				x	x
Mengden omarbeid	x			x	
RFI-er (Request for information) på grunn av prosjekteringskonflikter	x			x	

RFI (eng: Request For Information) kan på norsk oversettes som forespørsel om informasjon. RFI-er på grunn av prosjekteringskonflikter blir da antall forespørsler som prosjektets ledelse mottar fra produksjonen (eventuelt andre i prosjektet) som følge av konflikter eller endringer i prosjekteringen.

Mange av målingene tar utgangspunkt i at prosjektene modelleres i 3D-BIM, utfører en form for samtidig og samlokalisert prosjektering hvor beslutningstakere er til stede (for eksempel ICE-møter) og planlegger prosjekteringsarbeidet med en prosess ala Last Planner.

Målinger er viktige av mange grunner, blant annet for evaluering av prosjekter, kontroll og styring opp mot prosjektmål og objektiver, og kontinuerlig forbedring. De anbefalte målingene fra litteraturen er presentert for å vise eksempler på målinger for kontinuerlig forbedring av prosjekteringsprosesser i VDC-prosjekter. En bedrift har ikke nødvendigvis muligheten til å benytte seg av alle målingene og dersom noen målinger skal velges, bør det utføres en analyse av hvilke som egner seg best for bedriften. Denne listen er derfor benyttet i analysen av de empiriske resultatene som er samlet inn i arbeidet med masteroppgaven, for å kunne anbefale målinger for Betonmast.

### 3.7 Kunnskapshull

Litteraturstudiet har avdekket at det er flere områder i litteraturen om VDC der det er skrevet lite eller forskningen har vært fraværende, såkalte kunnskapshull. Det er blant annet skrevet lite om hvilken effekt VDC-metodikker i prosjekteringsfasen har for produksjonsfasen, der mye av pengene i realiteten ligger. Videre er det skrevet særdeles lite om målinger i VDC-prosjekter, og hvilke målinger man bør benytte for kontinuerlig forbedring i prosjekteringsfasen.

Selv innen de temaene som flere har skrevet om er det ytterligere behov for litteratur og forskning. Mange har sett på implementeringen av og erfaringene med VDC, men færre har sett på erfaringene med VDC i prosjekteringsfasen, og særlig på bedrifter som implementerer VDC for første gang. Betonmasts første VDC-prosjekt ble derfor valgt som fokusområde i prosjektoppgaven. Etter at prosjektoppgaven avdekket utfordringen med å velge gode målinger, ble kunnskapshullet om målinger i VDC-prosjekter utforsket videre.

Det kan også virke som at mye av den såkalte «State of the art» er publisert av et begrenset antall forfattere i tilknytning til CIFE, og det er vanskelig å finne en bredde i litteraturen om VDC. Det trenger ikke være et problem at det er noen få forskere som driver utviklingen innen et forskningsområde, men jo fler som forsker og publiserer, jo mer bekreftet blir resultatene og implikasjonene av VDC. Dette tyder på at det er behov for mer forskning innen temaet VDC.

# 4. Resultat og diskusjon

I dette kapittelet besvares de tre forskningsspørsmålene ”Hvordan blir prosjekteringsprosesser målt i dag?”, ”Hva er hovedutfordringene i prosjekteringsfasen?” og ”Hva bør måles i fremtidige VDC-prosjekter?”. For de to første forskningsspørsmålene vises resultater for VDC-prosjektet og for Betonmast generelt, før resultatene diskuteres opp mot hverandre og teorien. For det siste forskningsspørsmålet presenteres eksempler på målinger som kan møte utfordringene. Deretter diskuteres disse målingene sett i lys av litteraturstudiet, og det gjøres anbefalinger for hvilke målinger som bør brukes for kontinuerlig forbedring av prosjekteringsprosesser i VDC-prosjekter.

## 4.1 Måling av prosjekteringsprosesser i dag

Følgende delkapittel beskriver resultater som er relevante for FS1. Resultatdelen av delkapitlet er delt i to: En del om prosjekteringsprosesser på VDC-prosjektet DBC og en del om prosjekteringsprosesser generelt i Betonmast, med hovedvekt på måling av prosjekteringsprosesser. Deretter diskuteres resultatene.

### 4.1.1 Prosjekteringsprosesser i VDC-prosjektet

Bakgrunnen for implementeringen av VDC ved DBC var at de ønsket å forbedre planleggings- og prosjekteringsprosessene. Ved å involvere prosjekteringsdeltakerne tidlig har motivasjonen vært å øke effektiviteten i arbeidet, redusere ventetid og oppnå bedre kvalitet i resultatet.

I forkant av prosjekteringsstart deltok aktørene på en innføring i VDC, under ledelse av den eksterne aktøren Lean Communication. Hele prosjekteringsgruppen bortsett fra BH deltok. Dette var et todagers kurs som blant annet inneholdt teoretisk bakgrunn, og som la noen føringer for implementeringen av VDC. En representant fra Lean Communication var fasilitator på det første Last Planner-møtet og det første ICE-møtet. Senere overtok en prosjektersleder rollen som fasilitator. Informantene er enige om at det har vært nyttig med innføringen i VDC men at Betonmast gjennom erfaring og evaluering av prosessen bør være i stand til å gjennomføre opplæringen av senere prosjekter på egenhånd. Da kan de også spisse metodikken og finne en egen måte å implementere VDC på.

Noe som kom fram av intervjuene er at selv om informantene har deltatt på kurs har de ulik teoretisk forankring og dermed ulikt vurderingsgrunnlag for hva VDC innebærer. Alle har benyttet BIM tidligere, og noen har deltatt på prosjekter med Last Planner eller ICE-møter, men når det kommer til VDC som en kombinasjon av de ulike metodikkene er erfaringen deres begrenset til DBC, som er deres første VDC-prosjekt.

### Last Planner

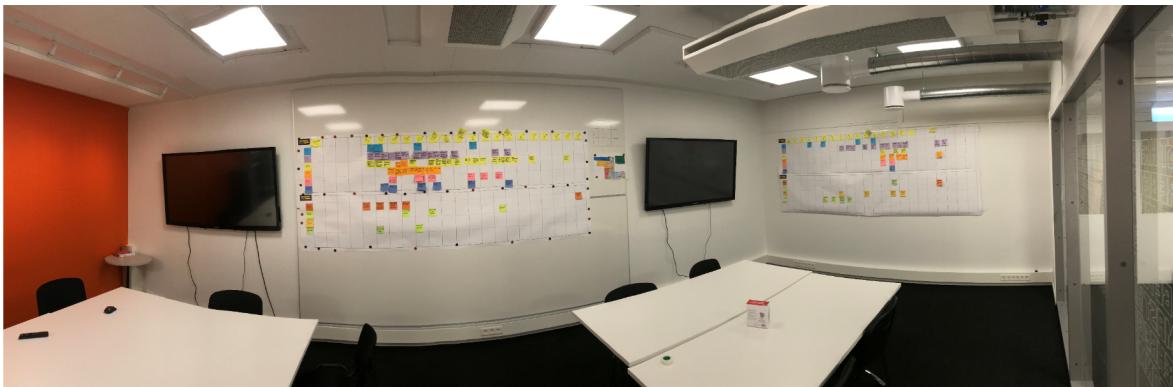
Caseprosjektet har utført tre sesjoner med Last Planner, eller bakoverplanleggingsmøter, over en periode på åtte måneder. Prosjektet har tatt i bruk metodikken for å lage en prosjekteringsplan, ved hjelp av post-it lapper. I forkant av Last Planner-møtene kartla aktørene sine egne leveranser og behov for underlag. Deretter ble alle leveransene i fellesskap plassert på prosjekteringsplanen, med innspill fra Betonmast som har hatt kontroll på milepæler og innkjøp. Prosjekteringsplanen har vært sentral i alle ICE-møtene og har vært et levende dokument som har blitt endret på og oppdatert gjennom hele prosjektet. Dette er i følge informantene en stor kontrast til tradisjonell prosjekteringsplanlegging der aktørene som regel får en ferdig plan fra prosjektersleder med frister for sine shuttleleveranser.

Prosjekteringsplanen skal kunne benyttes av aktørene for å få en oversikt over fremtidige arbeider, og målene med Last Planner har vært å avdekke avhengigheter mellom prosjekterende og å strukturere prosjekteringen. Videre skal prosessen involvere de aktørene som faktisk skal utføre oppgavene, slik at de kan bruke planen til å planlegge egen bemanning og rekkefølge på arbeider. Med Last Planner fokuserer de på hele perioden det skal prosjekteres for, ikke bare når en aktivitet skal være ferdig. En av hensiktene har da vært å skape en forståelse for at prosjekteringsunderlaget kan leveres før fristen dersom det er ferdig, og en trenger ikke avvente leveranser bare fordi en har mulighet til det. Dersom dette lykkes vil det for Betonmast være lettere å gjøre presise innkjøp.

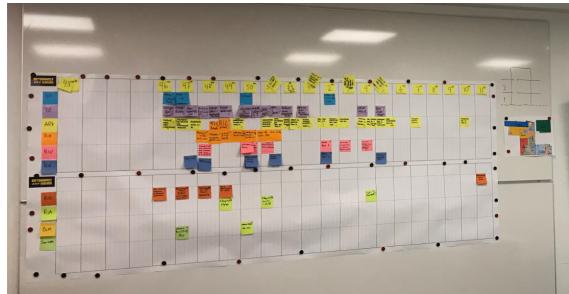
### ICE-møter

På DBC avholdes det ICE-møter annenhver uke, i stedet for tradisjonelle prosjekteringsmøter. Her deltar Betonmast med sin prosjektsleder og prosjekteringsledere samt BH, ARK, RIE, RIV og andre aktører som har arbeider pågående eller har relevante innspill til dagens agenda. De ukene det ikke er ICE-møter utarbeider prosjektsleder og prosjekteringsledere agendaen for det neste ICE-møtet, med innspill fra aktuelle aktører. Innspill kan for eksempel gå ut på at ARK har behov for å diskutere himlingsplaner under møtet, eller at BH kaller inn RIBr til gjennomgang av brannkonseptet. Agendaen legger også føringer for hva de ulike aktørene må forberede til neste møte. En av prosjekteringslederne fra Betonmast utgjør rollen som fasilitator, og styrer agendaen og de faste punktene i ICE-møtene.

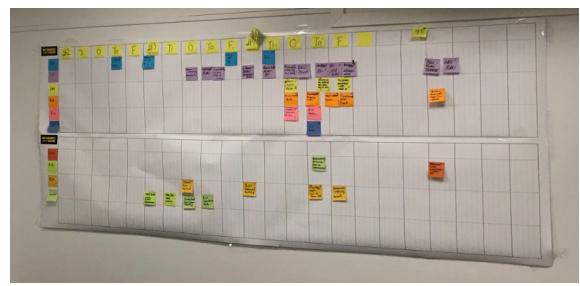
I ICE-møtene arbeides det i et "Big-room" som vist i Figur 4.1 der prosjekteringsplanen (Figur 4.2) og behovsmatrisen (Figur 4.3) henger på veggene. Agenda samt eventuelle modeller og tegninger vises på skjermer for å involvere og aktivisere aktørene.



Figur 4.1: DBC "Big-Room"



Figur 4.2: Prosjekteringsplan



Figur 4.3: Behovsmatrise

Møtene har både faste punkter og særsmøtepunkter, eller agendapunkter, på agendaen. De faste punktene inkluderer en oppdatering av status på byggeplassen og eventuelle nye HMS-aspekter, gjennomgang av behovsmatrise, avstemming av prosjekteringsplan og målinger på slutten av økta. Når planen avstemmes er det fokus på å finne rotårsaker til hvorfor punkter eventuelt ikke er utført. Dette kan være mangel på bemanning, nedprioritering av oppgaver eller at foregående oppgaver ikke er utført.

Rett før møtet starter skal aktørene henge opp lapper på behovsmatrisen der de ytrer hva slags behov de har for å komme videre med egne arbeider eller avklaringer som gruppen må ta. Enten diskuteres og avklares behovet på møtet og føres i en beslutningslogg, planlegges som et eget særsmøte eller føres som en leveranse på prosjekteringsplanen.

I forkant av ICE-møtene har aktørene blitt tildelt agendapunkter som de skal forberede seg til. De er da også ansvarlige for å lede prosessen og logge det som blir avklart eller besluttet. Disse særsmøtene splittes ofte i to, for eksempel i en "bygg-gruppe" og en teknisk gruppe, slik at aktørenes tid utnyttes mest mulig effektivt.

Det ble valgt å benytte ICE som møteform for å sørge for effektivitet i prosjekteringsmøtene og for å skape involvering. Hensikten med denne metodikken har på caseprosjektet vært å utnytte

aktørenes tid mest mulig effektivt, tvinge frem kommunikasjon og fokusere på helheten i prosjekteringen. Når de prosjekterende er samlet kan de lettere løse tverrfaglige problemstillinger og ta beslutninger sammen.

### BIM med MMI

Caseprosjektet har store ambisjoner for bruken av BIM. Det er satt et mål om 70 % tegningsløs byggeplass, noe som setter høye krav til detaljeringsgraden av modellen. Alle de store prosjekterende prosjekterer med BIM og Betonmast har satt krav til aktørene gjennom en BIM-manual. Denne instruerer aktørene til å prosjektere i 3D-modeller og legger føringer for kollisjonskontroll. Ønsket er at alle problemer skal være løst før man begynner med produksjonen og at modellen skal være så omfattende og detaljert at den kan bygges etter. Videre skal modellen kunne benyttes til bestilling og kontroll av mengder, samt KS på byggeplassen.

Dalux er den digitale plattformen som prosjektet benytter for koordinering av de ulike modellene. Samlemodellen oppdateres ukentlig og benyttes blant annet som en visualisering av modellen og et arbeidsverktøy i ICE-møtene. I tillegg er det et krav fra BH at informasjonen i modellen linkes opp mot FDV-systemet dRofus slik at den også kan benyttes i driftsfasen.

Målet med BIM på caseprosjektet er å utnytte verktøyene mest mulig. De ønsker å forbedre kommunikasjonen mellom de ansvarlige for prosjekteringen og de ansvarlige for produksjonen. I tillegg ønsker de å tydeliggjøre prioriteringsrekkefølgen på arbeidet til de prosjekterende, ta raskere beslutninger og redusere antallet revisjoner og feil under bygging.

Prosjektet har valgt å benytte modell modenheits indeks, MMI, i arbeidet med BIM-modellen. De har delt prosjektet inn i ulike soner, og alle leveranser skal føres med modenheitsindeks på lappene som henges på prosjekteringsplanen samt legges inn med MMI i modellen. Soneinndelingen skal korrespondere med måten de ønsker å bygge på, slik at man tydelig kan se hvilke soner som er klare for bygging og hvilken status de ulike sonene har. Modenhetsindeksene som prosjektet benytter er vist i Tabell 4.1.

Tabell 4.1: Modenhetsindeks på DBC

Modenhetsindeks	Beskrivelse
250	Implementert idé
300	Etter egenkontroll
350	Etter tverrfaglig kontroll
400	Etter kollisjonskontroll, klart til bygging
500	Som bygget

### Måling av prosjekteringsprosesser

På DBC utføres målinger av prosjektet først og fremst i forbindelse med ICE-møtene. Der

måles blant annet planpålighet, i form av PPU, for både prosjekteringsoppgaver og punkter på agendaen. I sammenheng med målingene av planpålighet fokuseres det på å finne rotårsaker til hvorfor oppgaver ikke ble utført i tide. Typiske rotårsaker er mangel på kapasitet, nedprioriteringer eller at foregående aktiviteter ikke er utført. Rotårsaker og PPU blir logget, mens agendapunkter markeres enten i rødt, gult eller grønt avhengig av om de henholdsvis ikke er avklart, har mindre uavklarte elementer eller er avklart. Denne fargekodingen kommer frem av referatet som sendes ut i etterkant av ICE-møtene, slik som i Figur 4.4.

AGENDAPUNKTER	ANSVARLIG	INVOLVERTE DISPLINER	AGENDA	START-TIDSPOKT	VARIGHET	RESULTAT OPPNÅDD?	KOMMENTAR
<b>For oppstart møte - Sette opp løsning behovsmatrise og henge opp leveransebeskrivelser for de neste 3 ukene</b>	ALLE						
Introduksjon (gennomgang agenda, muligheter, phasodelta forrige ICE)	Magnus	Alle		11:30	5		
HMS (nye momenter, planninnsikt om avslekk på slutten av ICE)	Magnus	Alle		11:35	5		
Overordnet status prosjekt (f.eks. milspalter, byggessak, aktiviteter på byggeplass)	Pål	Alle		11:40	5		
Planlegg	Magnus	Alle		11:45	45		
Behovsmatrise	Magnus	Alle		12:30	30		
<b>Skjerm 1: Big Room</b>							
Avtakking av ledning og føringer, samt grønnesnitt Purewater	BH	ALLE		13:00	30		ON16, ON17, ON18 Vedlegg info fra Purewater
Hamleve koordinering mot teknisk fig	Kristin	ALLE		13:30	30		ON19, ON20, ON21, Vedlegg hamleveksler, samt
Avklare detaljer fra mottatt underlag fra Skanska	Ingebjørg	ALLE		14:00	45		Sammestøt avtalt for videre koordinering iht prosjekteringsplan
Omforen leveranse fra fasadeleverandør	Ingebjørg	ARK, BH		14:45	30		
<b>Parallell sammotter møterom CORNER ROOM</b>							
Gjenomgang av RIV model for kontroll bygder med RIE	PRL tekn	PRL tekn, RIV, RIE, Anleggssleider		14:45	30		
<b>Plenum:</b>							
Eventuell:	Ingebjørg	Alle		15:15	5		Så på plasseringer av rister VVS, eget punkt på prosjekteringsplan og sammotter kalles inn iht plan
Oppsummering og evaluering	Magnus	Alle		15:20	10		Evalueringsekjema som vedlegg referat. Pluss og deler ikke gjennomført
Eventuell: Planlegging neste ICE	Tirsdager mellom økter	Neste planleggingsteam: RIB, RIE og BMHE over tilføyst					

Figur 4.4: Agendapunkter med fargekoding (DBC Referat ICE05)

Mot slutten av hvert møte diskuterer deltakerne i plenum hva som var positivt med møtet og hva som kan forbedres, i form av ”pluss” og ”delta”. Møtet evalueres også med en anonymisert Kahoot, en spørreundersøkelse på skjerm, der aktørene skal svare på tre spørsmål med en rangering fra 1 til 4 der 4 er best:

1. Hvor godt forberedt føler du de andre var til møtet?
2. Hvor effektivt var dette møtet for deg?
3. Hvor godt føler du at du selv bidro?

Deretter regnes det ut et gjennomsnitt av rangeringen, og evalueringen oppsummeres i møtereferatet. Figur 4.5 er et utklipp fra et ICE-møtereferat ved DBC og viser PPU for agenda oppnådd, evalueringen av møtet, en HMS-vurdering samt PPU for prosjekteringsoppgavene.



Figur 4.5: Evaluering av et ICE-møte (DBC Referat ICE04)

Hensikten med målingene er å få en totalkontroll over prosessene ved å evaluere dem og stadig forbedre implementeringen av VDC. Samtidig skal planpålitelighet visualisere status på prosjektet og få prosjekteringsgruppen til å forplikte seg enda mer til plan. Ved å måtte forklare seg og sette ord på årsaker til at man ikke er på plan vil det ifølge noen av informantene være lettere å løse utfordringer.

#### 4.1.2 Prosjekteringsprosesser generelt i Betonmast

Prosjekteringsprosessene i Betonmast er veldig forskjellige fra prosjekt til prosjekt, avhengig av hvilke aktører som deltar og hvem som styrer prosessene. Likevel er det ifølge informantene noen gjennomgående trender.

##### Prosjekteringsplanlegging

Prosjekteringsarbeidet i Betonmast er som regel planlagt ved bruk av leveranseplaner og beslutningsplaner, samt eventuelle hovedfremdriftsplaner. Disse planene inneholder frister for leveranser og beslutninger og blir utarbeidet av Betonmasts prosjekteringsledere for de respektive prosjektene, med ulik grad av involvering fra de prosjekterende. Prosjekteringsprosessen strekker seg ofte ut i produksjonsfasen, slik at mye av prosjekteringen utføres samtidig som det produseres på byggeplassen.

##### Prosjekteringsmøter

Prosjekteringsmøter i Betonmast gjennomføres tradisjonelt annenhver uke med de mest sentrale aktørene i prosjekteringsgruppa. I møtene følger man et fast sett med agendapunkter, og bruker mye tid på å gå gjennom punktene fra forrige møtereferat. Mye tid er også brukt på å repetere og diskutere saker som allerede har vært diskutert tidligere, med varierende fremgang på hvert punkt fra møte til møte.

Samtidig har det de siste årene vært en utvikling mot flere særsmøter, som kontrast til de store, tradisjonelle prosjekteringsmøtene. Da kan man få avklart ting med færre, men mer relevante aktører tilstede, og kan arbeide med mer spesifikke leveranser. Det varierer likevel mye fra prosjekt til prosjekt hvordan de gjennomfører prosjekteringsmøtene.

### BIM

De fleste prosjektene i Betonmast benytter BIM i prosjekteringsfasen, og særlig de store rådgiverne som ARK, RIB, RIV og RIE har mye erfaring med prosjektering i 3D-modeller. BIM-modellene er først og fremst et verktøy for visualisering av det som skal bygges og koordinering mellom de prosjekterende, i tillegg til kollisjonskontroll.

I produksjonen benyttes BIM med den digitale plattformen Dalux til kvalitetssikring, men det er også mye 2D-tegninger. Betonmast har tradisjonelt ikke knyttet BIM-modellen opp mot fremdrift.

### Måling av prosjekteringsprosesser

Betonmast har i liten grad benyttet målinger i prosjekteringsfasen i sine prosjekter. Følgelig er det ganske lite erfaringer med måling blant informantene. De målingene som har blitt gjennomført har vært fokusert på produksjonsfasen og resultatene av prosjektet. Typiske målinger har vært kostnad, fremdrift og HMS, og å finne løsninger på forsinkelser eller kostnadsoverskridelser. De har stort sett målt produkt, ikke prosess.

Flere informanter uttrykte at ansatte i Betonmast har manglet de rette verktøyene for å måle prosjekteringsfasen, samt erfaring og forståelse for prosjekteringsledelse og prosjekteringsprosesser. Som nevnt benytter de fleste prosjektene i Betonmast leverings- og beslutningsplaner for prosjekteringsfasen. Disse planene er ofte ganske grove, og inneholder i utgangspunktet bare frister for leveranser og beslutninger. Dermed kan de kun benyttes for å måle hvorvidt prosjekteringsprosessen følger planen, ikke til å styre prosessene underveis.

Noen av informantene fra VDC-gruppa hadde deltatt på kurs og opplæring i VDC. De hadde dermed en opplevelse av at målinger kunne være nyttig, men var skeptiske til om de passet inn slik prosjekteringsprosessene utføres i dag. Det ble uttrykt at med implementeringen av VDC, særlig med involverende planleggings- og møteprosesser vil målinger kunne følge mer naturlig. Andre informanter var generelt mer usikre på målinger, da de fryktet at målinger ville innebære mye byråkrati og unødvendig tidsbruk.

Noen av informantene hadde likevel noe erfaring med målinger. Én har benyttet avviksbehandling i den digitale plattformen Dalux for å følge opp prosjekteringsavvik og for å synliggjøre om noen aktører er gjengangere når det kommer til avvik. I tillegg har noen informanter referatført varigheten på prosjekteringsmøter, for å effektivisere prosjektets tidsbruk, og benyttet mer detaljerte beslutningsplaner med fargekoder og frister for å fremprovosere beslutninger. Informant 6 uttalte om beslutningsplanen i Figur 4.6 at «ved å

## KAPITTEL 4. RESULTAT OG DISKUSJON

benytte fargekoding, så fremgår det i alle fall med all tydelighet hvor effektiv byggherren er i sin beslutningsprosess». I denne planen indikerer gule celler at fristen for beslutningen nærmer seg og røde celler at fristen har utløpt.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
1	2	3	4	Byggherrens beslutningsplan			Prosjekt	Frist nært forestående Frist utgått	BETONMAST	
5	N	Beskrivelse	Fag	Underlag utarbeidet av	Frist for beslutning	Presentert	Dato faktisk besluttet	Kommentarer	Beslutning	Status
71	95	Plassering av gulvvarmeskap i plan 0	RØR	RØR	22.01.19	17.01.19	17.01.19		Plassering OK, ref mail fra Roger H	Avklart
72	80	Blåtoppen barnehage, avklare nytt uteområdet etter makebytte	LARK	LARK	25.01.19	06.12.18	23.01.19	Notat fra Lark oversendt 06.12.18. Byggherre må kalle inn barnehagen til møte for å bestemme endelig løsning.	Møte avholdt 23.01.19, m og omfang er nesten avklart. Omfang er økt noe. Løsning med inntransport ved helikopter ønskes ikke. Pris på vei og inntransport oversendt 27.03.19	
73	88	Oppvarming vinterhager	RØR	RØR	10.04.19	11.01.19	17.01.19		Byggherre ønsker oppvarming i vinterhager, bestilt i mail fra Dagfinn J 17.01.19	
74	90	Varmekabel i trapp ved Blåtoppen barnehage	EL	EL	25.01.19	10.01.19	23.01.19		Bestilt av Blåtoppen barnehage	Avklart
75	96	Kjøkkentegninger	ARK	ARK	25.01.19	12.10.18	23.01.19		Kjøkkentegninger ok. Ta inn punkt i mail fra Anni. Åpent under vask i plan 2 og 3.	Avklart
76	30	Maleri og kunst på veggene: Må avklares av BH pga dekorbelysning som ELEKTRO leverer.	ELEKTRO	IARK	01.02.19			Innkalt til møte uke 10	Det er tatt inn en rund sum på 100 000,- i endringslisten	
77	34	Toppesystem(TBM - «Technical Building Management») Er beskrevet som direkteleveranse mot Kristiansund Kommune. Leverandør må kontraheres	ITB/AUTO	BH	01.02.19			Mail fra Lena 4. mars: vi har intensjon om å inngå avtale med GK om anskaffelse av GK Cloud topsystem		
78	56	Oppsjon: LARK kapittel 772 Ustyr	LARK	LARK	01.02.19	09.10.18		Endring F031	Delvis avklart i mail fra Anni 01.02.19. Møte med LARK uke 8. Nye avklaringer oversent 07.03.19 fra Anni.	
79	89	Plassering av radiatorer	RØR	RØR	12.02.19	15.01.19		Møte tirsdag 12.02	Møte avholdt	Avklart
80	11	Monteringshøyde for trykknapper og ustyr skal avklares med byggherrens representant før montering.	ELEKTRO og Lås	ELEKTRO og Lås	15.02.19	19.12.18	06.03.19	Beslutningsgrunnlag oversendt 19.12 EL innkalte til særsmøte uke 6/17. Særmøte avholdt 06.03.19	Særsmøte avklart og høyde gjennomgått. Referat utsendt av Frode 06.03.19	Avklart

Figur 4.6: Byggherrens beslutningsplan, med fargekoder

De informantene som har hatt fokus på målinger i sine prosjekter har forsøkt å utnytte disse til å korrigere prosesser. Dette er også fokuset de ønsker å ha om de skal benytte flere målinger i prosjekteringsfasen. Målinger bør ifølge informantene gjøre prosjektene oppmerksomme på korreksjonsbehov i tide til å gjøre noe med det, og visualisere prosjektets status for alle prosjektdeltakerne. Da er det viktig å ha mål å styre mot og involvere hele prosjekteringsgruppa i målingene.

### 4.1.3 Diskusjon

Det er store forskjeller mellom prosjekteringsprosessene i VDC-prosjektet DBC og i Betonmast generelt. DBC følger en implementering av VDC som er veldig lik den Rischmoller et al. (2018) beskriver. De benytter BIM med MMI, Last Planner som PPM, ICE-møter og målinger. Det kommer ikke fram av intervjuene i hvilken grad disse målingene er satt opp mot kundens mål

og prosjektets objektiver, noe som gjør det vanskelig å vite hva som er referansene for målingene deres. Generelt i Betonmast følger de tradisjonelle prosjekteringsprosesser der prosjekteringslederen planlegger arbeidet, og saker diskuteres i prosjekteringsmøter eller særsmøter. Prosjektene benytter 3D-BIM til visualisering, kollisjonskontroll og kvalitetsstyring på byggeplass.

Prosjekteringsprosessene som benyttes på DBC er mer ”moderne” og utforskende enn prosjekteringsprosessene generelt i Betonmast. De benytter metodikker som er mer krevende å lære seg, men som potensielt vil effektivisere måten de prosjekterer på. I de tradisjonelle prosjektene er formen på prosjekteringsprosessene veldig varierende, avhengig av prosjekteringslederens erfaring, struktur og valg av metodikker. Dette kommer av at det i hovedsak er én person som planlegger og styrer prosjekteringsprosessene på tradisjonelle prosjekter.

Et resonnement som ble foreslått av informanter på DBC og som også var en hypotese i etterkant av prosjektoppgaven var at VDC først og fremst er en metodikk som gjør prosjekters ytelse likere. Prosjekter uten VDC kan også oppnå gode resultater, men suksess er personavhengig. Lederskap er en viktig del av prosjekteringsprosessene, og en god leder bør kunne oppnå gode resultater både med og uten VDC. Om dette stemmer vil prosjekters ytelse uten VDC gå mer i bølgedaler avhengig av hvor god ledelsen er, mens VDC-prosjekters ytelse blir som en jevn linje.

Særlig for planleggingsprosessene er det store forskjeller mellom VDC-prosjektet og tradisjonelle prosjekter i Betonmast. Ved bruk av Last Planner til planlegging av prosjekteringen får prosjekteringslederne på DBC spesifisert de prosjekteringsprosessene som i leveranse- og beslutningsplanene bare er en slutt dato. Informantene opplever leveranse- og beslutningsplanene i tradisjonelle prosjekter som litt for grove og unøyaktige, slik at det blir vanskelig å se sammenhengen mellom når beslutninger må tas og rekkefølgen på aktiviteter. Det er derfor interessert i en planleggingsprosess som bidrar til mer detaljerte prosjekteringsplaner, for eksempel gjennom Last Planner-metodikken. Selv om de også i tradisjonelle prosjekter forsøker å få innspill fra aktørene om avhengigheter og varighet på arbeider, skaper Last Planner en mer strukturert plattform for dette. Trolig kan det uansett oppnås bedre prosjekteringsplaner ved et generelt fokus på involvering og detaljering av prosjekteringsarbeidet, selv uten Last Planner.

VDC-prosjektet benytter Last Planner til planlegging av prosjekteringen, men går ikke dypere i plannivåene til Ballard (2000) enn en faseplan med aktiviteter basert på pull-planlegging. Denne planen er dog et svært levende dokument som blir gradvis mer detaljert, særlig når det oppdateres i ICE-møter. Det virker likevel ikke som prosjektet har etablert noe system for utkikkssplaner eller ukeplaner. Prosjekteringslederen ved VDC uttrykte at utkikkssplaner over 3 uker er noe som testes ut på et annet VDC-prosjekt Betonmast nylig har startet opp. Ved å benytte flere plannivåer kan de trolig legge til rette for enda flere målinger av

planleggingsprosessene, og ytterligere kontinuerlig forbedring av prosjektet. Dette er potensielt en mer krevende prosess, men samtidig kan målingene gjøre det lettere å verifisere effekten av metodikken.

I både tradisjonelle prosjekter og VDC-prosjekter gjennomføres prosjektering til tider samtidig som det er produksjon på byggeplassen. Selv om de starter med å projektere aktivitetene som skal produseres først, er det lite rom for ”looper” og omarbeid i prosjekteringsfasen, grunnet de overlappende fasene. Dette gjør at når prosjektering blir forsinket, eller når det kommer looper i prosjekteringsarbeidet, må produksjonen enten settes på vent eller fortsette uten det riktige underlaget.

Møtestrukturen i ICE-møter ligner på særmoøtestrukturen som flere av prosjektene generelt i Betonmast har begynt å benytte seg av. Det som i hovedsak skiller ICE-møter fra tradisjonelle prosjekterings- og særmoøter er plansjekken, behovsmatrisen og målinger. Særmoøter er mange av informantene vant til, men gjennom ICE får man integrert særmoøtene i prosjekteringsmøtene der de sentrale aktørene allerede er tilstede. Dette fører til at man kan ha færre men bedre prosjekteringsmøter.

Samtidig er det stor forskjell i hvordan møtene referatføres og detaljeringsgraden av beslutningsplaner. I tradisjonelle prosjekter bruker de som nevnt mye tid på å gjennomgå referatet fra forrige møte, noe som kan oppleves som unødvendig tidsbruk. Det er samtidig en prosess som er enkel å forstå og følge, og krever ikke samme type opplæring som for eksempel fasilitatorrollen i ICE-møtene. Beslutningsplanene i ICE-møtene på DBC kunne også vært enda mer detaljerte, med tidspunktet for når en beslutning bes om i tillegg til når noe besluttes. Da kan man for eksempel måle beslutningstreghet, noe som også foreslås av Kunz & Fischer (2012).

Det kommer tydelig fram at BIM-modeller i 3D er noe de fleste informantene bruker uansett om et prosjekt har implementert VDC eller ikke. BIM er et vanlig verktøy for prosjektering, særlig for store aktører. Bruken av BIM på caseprosjektet ser ut til å være ganske lik tradisjonelle prosjekter og de ønsker å tyne verktøyet så langt som det er hensiktsmessig. MMI derimot er nytt for de fleste prosjekterende og det er noe uklarheter rundt hvordan MMI skal løses i praksis med de ulike modelleringsverktøyene. Siden BIM er noe de fleste er vant til å benytte i prosjekteringsfasen er det trolig et av de enklere verktøyene å starte å måle i. Det krever ikke mye ny opplæring, slik noen informanter argumenterer for at man trenger for å implementere Last Planner og ICE-møter.

Bruk av BIM med MMI muliggjør flere målinger enn om BIM-modellen bare brukes til visualisering og kollisjonskontroll. Modenhetsindeksen i caseprosjektet minner om prosessen til EBA for MMI men er av en noe annen art, da den er utviklet basert på prosjekteringslederens erfaringer fra tidligere VDC-prosjekter. Selv om MMI ikke var fullstendig implementert ved DBC da intervjuene i pilotstudiet ble gjennomført, er MMI et steg på veien mot å koble

BIM-modellene med fremdriften i produksjonsfasen av prosjektene.

Blant informantene både fra pilotprosjektet og Betonmast generelt var det stor enighet om at det måles lite i prosjekteringsfasen på de fleste av deres prosjekter. Alle var vant til å ha en form for plansjekk for å følge opp prosjekteringsplanene i form av leveranse- og beslutningsplaner, men bruk av PPU virket nytt og ukjent for mange av informantene. Videre er det ikke utbredt å produsere visualiserte resultater for hvordan prosjektene ligger an, eller foreta noen form for prosessering av de eventuelle måledataene. Det virket som mange av informantene var vant til å ha målinger av produkt, men ikke av prosess, og ikke for kontinuerlig forbedring.

I VDC-prosjektet hadde de benyttet noen målinger av prosess, men heller ikke her ble de i særlig grad benyttet til kontinuerlig forbedring. Noen av informantene hadde inntrykk av at målingene ble utført for å hjelpe entreprenøren, ikke prosjekteringsgruppa. Dette var andre aktører uenige i. Uenigheten tydeliggjør hvor viktig det er å ha en felles forståelse for målingene som utføres og hvordan de skal brukes til kontinuerlig forbedring. En av de målingene som informantene uttrykte mest positivitet for var evaluering av møter. Dette kan de gjøre uavhengig av møteform, og målingene kan bidra til forbedring av prosjekteringsmøtene uten mye ressursbruk.

Noen av informantene uttrykte at ansatte i Betonmast mangler erfaring og forståelse for prosjekteringsledelse og prosjekteringsprosesser. Dette kan henge sammen med at mange er mer fokusert på produksjon enn prosjektering, og at produksjonen har en høyere ”status” og prioritet i prosjektet. Det er viktig å ha prosjekteringsledere med en interesse for faget. Samtidig er det viktig for de prosjekterende å ha en forståelse for hva som skal produseres, slik at løsninger blir byggbare. For å oppnå effektive prosjekter må prosjekteringslederne være i stand til å styre prosjekteringsprosessen i samsvar med rekkefølgen på produksjonen. Dette krever god kommunikasjon mellom prosjektering og produksjon, samt god forståelse for alle fasene i prosjektet.

## 4.2 Hovedutfordringer i prosjekteringsfasen

Følgende delkapittel beskriver resultater som er relevante for FS2. Resultatdelen av delkapittelet er delt i to: En del om utfordringer i prosjekteringsfasen i VDC-prosjekter og en del om utfordringer i prosjekteringsfasen generelt i Betonmast. Deretter diskuteres resultatene.

### 4.2.1 Utfordringer i prosjekteringsfasen i VDC-prosjekter

I pilotstudiet ble utfordringer beskrevet i sammenheng med de ulike metodikkene i VDC-prosjekter. De mest sentrale utfordringene som ble funnet knyttet til Last Planner, ICE-møter, BIM med MMI og målinger er beskrevet under.

#### Utfordringer med Last Planner

Informantene mente at Last Planner setter høye krav til de prosjekterende og deres involvering.

Aktørene må møte godt forberedt og ha kontroll på mange prosesser. Det er krevende å sette opp en god plan med riktige frister, da man ikke alltid vet hvor lang tid det tar å avklare eller utføre aktiviteter. Videre er det vanskelig å formulere presise leveranser som skal få plass på én post-it-lapp. Ofte undervurderer man det man skriver på lappen, slik at den som mottar lappen ikke forstår leveransen. Planleggingsprosessen krever også mye dialog og koordinering mellom aktørene.

Informantene opplever at det er krevende å skape engasjement for Last Planner. De som ikke går ”all-in” eller mangler opplæring har mindre eierskap til planen. Dette setter krav til prosjekteringsledelsen for å gjennomføre en god prosess og engasjere alle deltakerne.

Det er flere av informantene som mener logging av planen er en stor utfordring. Planen oppdateres jevnlig i prosjektet og siden de bruker fysiske lapper må den logges i etterkant av hvert ICE-møte. Samtidig er det utfordrende om noe ikke blir levert til riktig tid og lappen bare blir flyttet mot sluttfristen, da dette gir mindre tid til etterfølgende arbeider. Man risikerer at aktørene får et veldig løst forhold til planen, og tror den er fleksibel, når sluttfristen egentlig er absolutt.

### **Utfordringer med ICE-møter**

For det første er det en utfordring at ikke alle agendapunktene i hvert ICE-møte er like relevante for alle aktørene. Det er viktig å lage en god agenda og holde seg til plan. Suksess avhenger av at Betonmast klarer å legge press på prosessen og at lederne er gode. Det er også en risiko for at man mister oversikten over helheten når man utfører møtene punktvis. Møtene fungerer godt til å avklare spesifikke punkter, men mer generelle arbeidsprinsipper og konsepter må utarbeides sammen over tid.

Videre gjør ulik grad av forberedelse og innsats at tilgang på underlag samt kvaliteten på underlaget varierer. Alle har ansvar for egen læring av metodikken og flere ICE-møter bærer preg av at noen er flinkere enn andre. På den ene siden må aktørene bruke mer tid på forberedelse, men de får samtidig mer ut av møtet om de er forberedt.

Slik som i Last Planner-sesjoner er loggføring en utfordring også i ICE-møter. Siden tradisjonelle møtereferater utgår er man nødt til å passe på at alle avklaringer enten havner i beslutningsloggen eller i et notat på skjerm fra särmøtene. Det er ofte tydelig hva som er ment når man sitter i møtet, men ikke like tydelig i etterkant dersom det ikke loggføres ordentlig.

Informantene opplever også at selve gjennomføringen av ICE-møtene er en treningsak. I starten tok særlig prosessen med behovsmatrice og å flytte lapper veldig lang tid, men etterhvert har dette gått raskere. Det er utfordrende å beskrive behov presist, slik at man får svar på det man faktisk lurer på og den som skal svare forstår behovet. Noen uttrykte også at møterommet er litt trangt, og at teknikken lugger litt.

### Utfordringer med BIM og MMI

Informantene opplever at begrenset erfaring og kunnskap om MMI er en utfordring. Denne manglende erfaringen, både blant de prosjekterende og i Betonmast, gjør det uklart hvordan man skal definere elementer som ligger i grensen mellom to MMI-soner. Noen fag er også vanskeligere å definere på grunn av avhengigheter. Her er det et ønske fra aktørene om tydeligere retningslinjer. Foreløpig oppleves MMI av noen mer som et krav enn et hjelpemiddel i prosjekteringen.

Samtidig har aktørene ulik motivasjon for å benytte BIM, noe som også er en utfordring. Det er ikke alle aktører, særlig de mindre fagene, som er vant til å prosjektere i BIM. Videre er det mer krevende for noen fag enn andre å benytte BIM på byggeplass og det eksisterer motstand for dette hos enkelte, ofte eldre håndverkere og anleggsledere.

Informantene opplever også at det er krevende å utnytte teknologi og opprettholde effektivitet samtidig. Et høyt ambisjonsnivå for BIM krever mer nøyaktighet og omtenkshet tidlig, samt god koordinering av de ulike fagene. Det er lite effektivt om man bare får gjort småting i modell for å hjelpe andre, og må vente lenge før man selv kan jobbe effektivt. Software tvinger også fram en viss arbeidsrekkefølge som kanskje strider imot prosjekteringsplanen og MMI-sonene.

### Utfordringer med målinger

En utfordring med målinger er at de ikke alltid blir like prioritert. Noen ICE-møter kan spore litt av slik at målinger får mindre fokus, og det er ikke alltid tid til å gjøre målingene ordentlig. Dersom ICE-agendaen ikke er relevant for alle aktørene kan de oppleve det som unødvendig å bli sittende til slutten av møtet, kun for å gjøre målinger.

En annen utfordring er at målingen av planpålighet, PPU, sier lite om kvalitet. Planpålighet er fint å måle men gir kun en prosentverdi som resultat. PPU sier ikke noe om det som er planlagt er riktig eller godt utført. Samtidig går PPU på felles prosent for hele prosjekteringsgruppa, ikke hvor mye hver enkelt aktør har utført.

Videre er det en utfordring at målingene loggføres med varierende innsats. Dette gjør det vanskelig å finne åpenbare trender i målingene, og benytte dem for kontinuerlig forbedring av prosjektet. Det er mer interessant å analysere målingene om det finnes større mengder resultater.

Informantene mener at det er vanskelig å finne de riktige måleparametre for VDC-prosjektene. Det tar tid å måle, og det er vanskelig å vite om målingene faktisk er gode, eller har noen effekt. Informantene ønsker ikke å bruke tid på målinger dersom det ikke kan vises at de er nyttige.

### Oppsummering

Utfordringene med de fire VDC-metodikkene i prosjekteringsfasen på VDC-prosjektet DBC er oppsummert i Tabell 4.2.

Tabell 4.2: Utfordringer med de fire VDC-metodikkene i prosjekteringsfasen på DBC

Utfordringer med Last Planner	Utfordringer med ICE-møter
1. Setter høye krav til de prosjekterende	1. Ikke alltid like relevant agenda
2. Krevende å skape engasjement	2. Ulik grad av forberedelse og innsats
3. Logging av planen	3. Loggføring
	4. Prosessen er en treningsak

Utfordringer med BIM med MMI	Utfordringer med målinger
1. Begrenset erfaring med MMI	1. Målingene blir ikke alltid like prioritert
2. Ulik motivasjon for å benytte BIM	2. Planpålighet sier lite om kvalitet
3. Krevende å utnytte teknologi og opprettholde effektivitet samtidig	3. Målingene loggføres med varierende innsats
	4. Vanskelig å finne gode måleparametere

#### 4.2.2 Utfordringer i prosjekteringsfasen generelt i Betonmast

I intervjuer med prosjekteringsledere beskrev informantene utfordringer i prosjekteringsfasen generelt i Betonmast. Følgende ti utfordringer er identifisert som hovedutfordringer fra disse intervjuene.

En av de største utfordringene i prosjekteringsfasen er mangel på beslutninger, underlag eller avklaringer. Dersom man må begynne å prosjektere før det er tatt beslutninger, må løsningene ofte gjøres om i etterkant. Endringer i prosjekteringsarbeidet fører ofte med seg en kjedreaksjon av forsinkelser og ombygginger. Det er vanskelig å få byggherren til å forstå hvorfor han må beslutte, da konsekvensene av manglende beslutninger ikke er synlige nok.

En annen utfordring er prosjektersleveranser med lav byggbarhet eller kvalitet, noe som kan ha flere årsaker. Et av hovedelementene er kommunikasjon mellom aktører, og særlig mellom prosjektering og produksjon. Om de prosjekterende ikke kommuniserer med de som produserer er det en stor risiko for at løsningene blir veldig teoretiske, og vanskelige å gjennomføre i praksis. En annen utfordring knyttet til kvalitet er varierende kompetanse, som avhenger av kapasitet og ressurser hos de prosjekterende.

En typisk utfordring i prosjekteringsfasen er ”looper” i prosjekteringen med unødvendig omarbeid som følge av mangel på, sene eller endringer i beslutninger, eller uidentifiserte avhengigheter mellom fag og aktører. Looper er bortkastede ressurser, der man har brukt tid på å prosjektere før alle krav er undersøkt og beslutninger er tatt. En loop kan også forstås som omarbeid i prosjekteringen, som påvirker produksjonen dersom de allerede har produsert etter en tidligere prosjektert løsning. Dermed blir det en utfordring at looper kan få konsekvenser både for prosjekteringsfasen og for produksjonsfasen.

Videre uttrykker informantene at en utfordring i prosjekteringsfasen er dårlig forberedelse til

prosjekteringsmøter. Møtemetodikken som i dag benyttes setter varierende krav til aktørenes forberedelse til møtene. I utgangspunktet blir de bedt om å lese gjennom referatet fra forrige møte, men forbereder seg ikke noe særlig utover dette. Det at aktørene ikke er forberedt kan henge sammen med at det ikke tydelig nok kommuniseres hva som forventes av de prosjekterende til enhver tid.

Det blir en utfordring for hele prosjektet om prosjekteringsleveransene blir forsinket. Det er også en risiko for at prosjekteringen havner bak produksjonen, og at man må produsere basert på et uferdig produksjonsunderlag. Dette kan igjen føre til behov for å bygge om. Mange prosjekter sliter med at produksjonen blir forsinket av manglende produksjonsunderlag fra de prosjekterende. Det er viktig at prosjekteringsoppgaver og utfordringer er løst tidlig nok til at produksjonen får underlag av riktig kvalitet til riktig tid.

Begrenset forståelse og respekt for andre aktørers behov og avhengigheter mellom fagene er også en utfordring. Mange aktører og fag involveres i byggprosjektene samtidig, og det er viktig at de forstår hvordan deres leveranser påvirker andre, og at de kommuniserer godt med hverandre. Når aktørene ikke tar andres behov alvorlig eller avtaler ikke overholdes får dette konsekvenser for flere aktører. Alle ønsker å vente lengst mulig med å starte sin egen prosjektering da dette kan oppleves som mest effektivt for dem selv, til tross for at det ikke er effektivt for prosjektet som helhet.

Informantene mener kommunikasjon via epost er en stor utfordring, og at det til tider er mangel på respons. I dag foregår det meste av kommunikasjonen på prosjektene via epost, og beslutninger forsvinner i lange eposttråder. Når aktørene skal håndtere mange epost daglig er det en risiko for at de ikke rekker å svare på alle henvendelser. Flere informanter savner derfor en mer effektiv kommunikasjonsplattform, og at det settes krav til respons på eposter. Det kunne også vært lettere om de prosjekterende hadde sittet mer sammen utenom møtene og arbeidet tettere med prosjekteringen.

En annen utfordring går på møteeffektivitet. Prosjekteringsmøtene består stort sett av å gjennomgå møtereferatet fra forrige møte, og det brukes tid på å diskutere saker som har vært diskutert tidligere. Det brukes dermed mindre tid på å løse problemer og møtene kan oppleves som lite effektive for deltakerne.

Videre opplever informantene at det er utfordrende med prosjekterende som prioriterer andre prosjekter. De fleste prosjekterende jobber på flere prosjekter samtidig, da det ikke er nok ressurser i bransjen og aktørene ikke ønsker å se nei til oppdrag. Dersom et prosjekt da setter høyere krav til tilstedeværelse enn andre, eller et prosjekt har en mer pressende tidsfrist, skjer det at aktørene prioriterer noen prosjekter over andre. Dette får konsekvenser for de nedprioriterte prosjektene. Som regel har man ikke de samme sanksjonene i prosjekteringen som man har i produksjonen, noe som gjør det vanskeligere å ”straffe” prosjekterende om de nedprioriterer et prosjekt.

Flere informanter mener det er vanskelig å lage planer for prosjekteringsfasen. Denne utfordringen henger sammen med at det er vanskelig å forstå kompleksiteten og omfanget av prosjekteringsarbeidet. Mye av dette løses naturlig med erfaring, men kan også hjelpes med verktøy for prosjekteringsplanlegging og styring. Ofte blir fremdriftsplaner for prosjekteringsfasen veldig grove, og mer detaljerte og nøyaktige planer vil gjøre det lettere å styre prosjekteringen. Planene bør også utformes slik at det prosjekteres i en rekkefølge som samsvarer med produksjonen.

### Oppsummering

Hovedutfordringene generelt i prosjekteringsfasen i Betonmast, slik de er presentert av informantene, er oppsummert i Tabell 4.3.

Tabell 4.3: Utfordringer i prosjekteringsfasen generelt i Betonmast

#	Utfordring
1	Mangel på beslutninger, underlag eller avklaringer
2	Prosjektering med lav byggbarhet eller kvalitet
3	"Looper" i prosjekteringen
4	Dårlig forberedelse til prosjekteringsmøter
5	Forsinkede prosjekteringsleveranser som forsinke produksjonen
6	Begrenset forståelse og respekt for andre aktørers behov og avhengigheter mellom fagene
7	Kommunikasjon via epost, og til tider mangel på respons
8	Tiden på møtene brukes til å diskutere problemer, ikke løse dem
9	Prosjekterende som prioriterer andre prosjekter
10	Vansklig å lage planer for prosjekteringsfasen

### 4.2.3 Diskusjon

Resultatene viser at det er noen forskjeller, men samtidig store likheter mellom utfordringene i VDC-prosjekter og tradisjonelle prosjekter i Betonmast.

Der informantene fra VDC-prosjektet presenterer utfordringer knyttet til metodikkene ved VDC, presenterer prosjekterslederne fra tradisjonelle prosjekter mer generelle utfordringer i prosjekteringsfasen. Disse utfordringene er særlig knyttet til prosjekteringsmøter og har da mye til felles med utfordringene i ICE-møter. Dette gjelder blant annet forberedelse til møter, som alle ser på som en utfordring uavhengig av VDC. Informantene uttrykker likevel at VDC-prosjekter har verktøy som gjør forberedelsen bedre, slik som målinger.

Andre utfordringer henger sammen med møteeffektivitet. Som følge av implementeringen av VDC vil mange av prosjektene i Betonmast benytte ICE som møtemetodikk i prosjekteringsfasen, der aktører tar beslutninger og utarbeider løsninger i fellesskap. Disse møtene kan måles, for eksempel ved å se på antall beslutninger eller oppgaver løst i løpet av et

møte. I tillegg kan man evaluere aktørenes deltagelse, forberedelse og effektiv tidsbruk i møtene.

Prosjektdeltakerne i VDC-prosjektet uttrykker at relevansen av agendaen i ICE-møtene varierer. Dette er en utfordring som påvirker tidsbruken i møtene, som ikke er like effektiv for alle aktørene. I de tradisjonelle prosjektene er det også utfordringer knyttet til tidsbruken i prosjekteringsmøtene. Der brukes mye tid på å gjenta saker og diskutere problemer, i stedet for å løse dem.

I tradisjonelle prosjekter er beslutninger en av de største utfordringene i følge informantene. Å få beslutninger fra byggherren og andre beslutningstakere er essensielt for å unngå forsinkelser og looper i prosjekteringen. Dersom de prosjekterende blir bedt om å begynne å prosjektere uten de rette forutsetningene blir de nødt til å gjøre sine egne antakelser, noe som ofte fører til dobbeltarbeid enten for dem selv eller andre aktører.

I VDC-prosjektet har de benyttet en mer detaljert beslutningsplan. De har likevel utfordringer med at loggføringen er av varierende grad, og de får dermed ikke fullt utbytte av beslutningsplanen. Ved å være mer konsekvente med bruk av beslutningsplan i fremtidige VDC-prosjekter vil de trolig møte utfordringen med beslutninger.

Flere informanter forteller om utfordringer knyttet til planleggingsprosessen. Last Planner innebærer involvering av aktørene i planleggingen av prosjekteringsarbeidet og informantene opplever at denne prosessen setter høye krav til de prosjekterende. Samtidig er prosessen krevende for prosjekterslederen som skal styre prosessen og engasjere prosjektdeltakerne. I de tradisjonelle prosjektene har prosjekterslederen vært ansvarlig for å utarbeide prosjektersplanen selv, men også her har det vært vanskelig å lage gode planer. Dette tyder på at uansett hvem som involveres i planleggingsprosessene vil de oppleves som utfordrende, og krever både erfaring og opplæring.

Mange av informantene er opptatt av utfordringer knyttet til kvalitet. I VDC-prosjektet har de utført målinger som sier lite om kvalitet av resultatene. I de tradisjonelle prosjektene har de utfordringer med at prosjekteringen har lav byggbarhet eller kvalitet. De ønsker derfor målinger som kan si noe om kvaliteten i prosjekteringen.

Informantene fra VDC-prosjektet nevner mange utfordringer knyttet til loggføring, både av prosjektersplanen, i ICE-møtene og av målingene. I tradisjonelle prosjekter har loggføringen vært av en annen art, og informantene ser ikke på dette som en hovedutfordring i prosjektersfasen.

I tradisjonelle prosjekter er kommunikasjon en stor utfordring. Det er utfordrende å få respons på saker, og noen aktører har vanskelig for å forstå andres behov og avhengigheter. Om kommunikasjonen mellom de prosjekterende og produksjonen er dårlig, kan leveransene ha lav

byggbarhet og forårsake videre ”looper” i prosjekteringsprosessen. Da informantene i VDC-prosjektet ikke nevner tilsvarende utfordringer kan det tyde på at VDC-metodikkene har hatt suksess i å forbedre kommunikasjonen mellom prosjektdeltakerne. Dette er en hypotese som ikke har blitt utforsket videre.

At målinger ikke prioriteres i VDC-prosjekter er svært lik situasjonen i tradisjonelle prosjekter. Som nevnt i forrige delkapittel har ansatte i Betonmast lite erfaring med målinger av prosess, eller for kontinuerlig forbedring. Noen få informanter har benyttet seg av målinger, da særlig de informantene med størst interesse for VDC.

I dag blir utfordringer i prosjekteringsfasen i følge informantene løst over tid, og etter hvert som nye utfordringer dukker opp har de prøvd å finne løsninger for de aktuelle utfordringene. Ofte kan utfordringer bli møtt med prisdiskusjoner, for eksempel om byggherren ikke har tatt en beslutning han skulle ha tatt. Noen utfordringer har blitt møtt med å følge leveranse- og beslutningsplanene, men det har vært vanskelig å kontrollere og styre kvaliteten på leveransene innen hver milepål.

Generelt er det en utfordring at prosjektene ikke kan benytte de samme sanksjonene i prosjekteringsfasen som i produksjonsfasen. Dette gjør at oppgaven med å løse utfordringer også blir en utfordring. I produksjonen kan aktørene gis dagmulkter for forsinkelser eller konsekvenser for kvalitetsavvik som faktisk samsvarer med kostnaden av avviket. Dette henger sammen med at de faktisk betales verdien av det de produsere. De prosjekterende derimot utfører en jobb som har en mye større sluttverdi enn kostnaden av deres eget arbeid, og dermed vil det være vanskelig å belaste en rådgiver for hele konsekvensen av en forsinkelse. Det er heller ingen kultur for å gjøre dette i den norske byggebransjen, eller et ønske om å ha det.

### 4.3 Målinger i fremtidige VDC-prosjekter

Følgende delkapittel presenterer resultater som er relevante for FS3. Resultatdelen av delkapittelet er delt i to: En del om hvilke utfordringer som kan møtes ved å måle prosjekteringsprosesser og hvordan disse kan møtes, og en del med forslag til målinger i VDC-prosjekter. Deretter diskuteres resultatene.

#### 4.3.1 Hvilke utfordringer kan møtes ved å måle prosjekteringsprosesser?

Informantene ble spurta hvilke utfordringer de mente kunne møtes ved å måle prosjekteringsprosesser, og hvordan de i så fall foreslo at disse kunne møtes.

For å møte utfordringen med mangel på beslutninger, underlag eller avklaringer mente informantene at det kan lages en grundigere beslutningsplan, der beslutninger loggføres og tiden på hver beslutning kommer fram.

Informantene var usikre på hvordan målinger kan bidra til høyere byggbarhet eller kvalitet, men trodde at det kanskje var mulig å måle. Noen har tidligere telt antall kvalitetsavvik og ønsket å avdekke hvilke av aktørene som er gjengangere når det kommer til å levere dårlig kvalitet. Dette er noe de ønsker å fortsette med, men er usikre på om det defineres som en måling.

For å møte utfordringen med looper i prosjekteringen foreslo informantene å se på årsak og konsekvens av looper. Dette kan være en måling som går på å telle antall looper, varigheten av dem, eller kostnaden.

Informantene foreslo å møte utfordringen med dårlig forberedelse til prosjekteringsmøtene ved å evaluere prosjekteringsmøtene og synliggjøre aktørenes forberedelse. Det kan også settes krav til forberedelse gjennom bedre utarbeidede agendaer, og gis konsekvenser for mangel på forberedelse.

Informantene foreslår å se på konsekvensen av prosjekteringsforsinkelser på produksjonen, både i form av tid og kostnad. Da kan man synliggjøre utfordringen med at forsinkede prosjektersleveranser forsinke produksjonen.

Informantene er usikre på om utfordringen med begrenset forståelse og respekt for andre aktørers behov og avhengigheter mellom fagene kan møtes med måling. De nevner evaluering av møter, og behovsmatrisen (Figur 4.3) som ble brukt ved DBC for å synliggjøre behov og avhengigheter mellom fagene som potensielle løsninger.

To løsninger ble foreslått for å møte utfordringen med kommunikasjon via mail, og til tider manglende respons: Bedre kommunikasjonsplattformer, som da er et verktøy og ikke en måling, og måling av tiden for å få respons på en henvendelse.

For å møte utfordringen med at tiden på møtene brukes til å diskutere problemer, ikke løse dem foreslo informantene å gjøre agendaen bedre, uten å komme med noe konkret eksempel på hva som er en bedre agenda. I tillegg ønsket de å måle tidsbruk samt antall oppgaver løst i prosjekteringsmøtene. Jo fler saker man jobber med, jo lengre varer møtene, og ambisjonen bør være å korte ned på møtetiden og ha mer konkrete møter. Samtidig foreslår de å måle konsekvensen av møter, for eksempel kostnaden av hvert møte.

Informantene uttrykker at prosjekterende som prioriterer andre prosjekter ikke er en utfordring som løses med målinger, men heller ved å sette press på aktørene og kreve at de prioriterer prosjektet. Dette bør gjøres fra starten av prosjektet, ved inngåelse av kontrakt. En informant foreslår også å be om aktørens bemanningsplan og få et bevis på kompetanse og kapasitet som aktøren kommer til å ha på prosjektet.

Vanskiligheten med å lage planer for prosjekteringsprosesser er heller ikke en utfordring som informantene mener kan måles. De mener denne heller kan møtes med bedre styringsverktøy, opplæring og erfaring.

Informantenes forslag til hvordan utfordringene kan møtes er oppsummert i Tabell 4.4. Nummereringen samsvarer med de generelle utfordringene i Betonmast, fra delkapittel 4.2.2.

Tabell 4.4: Hvilke utfordringer kan møtes med målinger?

#	Måling?	Type måling, evt. annen løsning
1	Ja	Loggføre beslutninger og tid på beslutninger
2	Ja	Telle kvalitetsavvik
3	Ja	Årsak og konsekvens av looper
4	Ja	Evaluering av prosjekteringsmøter, synliggjøre aktørenes forberedelse
5	Ja	Konsekvens av forsinkelser
6	Kanskje	Behovsmatrice, evaluering av møter
7	Nei/Ja	Finne andre kommunikasjonsplattformer/Måle responstid
8	Ja	Tidsbruk, antall oppgaver løst i møtet og møtekostnad
9	Nei	Fokus på å sette krav til aktører for prioritering av prosjektet
10	Nei	Styringsverktøy, opplæring og erfaring

#### 4.3.2 Forslag til målinger i VDC-prosjekter

Fra antagelsen om at Betonmast er interessert i en liste over målinger for kontinuerlig forbedring av prosjekteringsprosesser i deres fremtidige VDC-prosjekter produserte informantene noen forslag til mulige målinger. Enheten på hver måling er oppgitt i klammeparentesene.

##### 1. PPU, Prosent Plan Utført [%]

PPU er hvor mange oppgaver som er utført av planlagte oppgaver, i prosent, og beregnes etter formel 4.1. PPU kan beregnes for prosjekteringsoppgaver i forbindelse med ICE-møter, eller for modenhetsnivåer i BIM-modell. Målet med PPU er å bedre oppfølgingen av de prosjekterende, både i planlegging og utførelse av eget arbeid, samt øke kontrollen over prosjektersplanen.

$$PPU = \frac{Utførte\ oppgaver}{Planlagte\ oppgaver} * 100\% \quad (4.1)$$

##### 2. TA, Tasks Anticipated [%]

TA går ut på å beregne hvor mange av neste ukes oppgaver som allerede var forutsett og planlagt for på forrige ukes utkikkssplan, i prosent. TA kan beregnes for prosjekteringsoppgaver i ICE-møter, etter formel 4.2. TA skal tvinge aktørene til å kontinuerlig tenke fremover og planlegge sitt eget arbeid, synliggjøre avhengigheter og behov, og øke planpålitelighet.

$$TA = \frac{Planlagte\ oppgaver\ for\ neste\ uke\ på\ forrige\ ukes\ utkikkssplan}{Totalt\ antall\ oppgaver\ for\ neste\ uke} * 100\% \quad (4.2)$$

##### 3. TMR, Tasks Made Ready [%]

TMR er hvor mange av de planlagte oppgavene for neste uke som allerede er klargjort, slik at de

kan gjennomføres i tide. TMR kan i likhet med PPU og TA beregnes for prosjekteringsoppgaver i ICE-møter, etter formel 4.3 og måles i prosent. TMR skal bidra til bedre fremoverplanlegging og økt planpålitelighet.

$$TMR = \frac{\text{Klargjorte oppgaver for neste uke}}{\text{Totalt antall oppgaver for neste uke}} * 100\% \quad (4.3)$$

#### 4. Målinger knyttet til modenhetsnivåer (MMI) i BIM-modellen

Forslag fra informantene for målinger knyttet til MMI i BIM-modellen inkluderer

- Antall tegningsrevisjoner etter et modenhetsnivå [#]
- Antall konflikter i BIM ved hvert modenhetsnivå [#]
- Hvorvidt BIM-modellen er tverrfaglig kontrollert [Ja/Nei]
- Prosent av prosjekteringsunderlag som samsvarer med produksjonsplan [%]

Disse målingene kan i følge informantene bidra til å øke kvalitet og tidligere avdekke avvik i BIM-modellene.

#### 5. Rotårsaker til forsinkelser eller manglende leveranser [#]

Informantene uttrykte at rotårsaker bør måles for å synliggjøre årsaker til omarbeid, forsinkelser eller manglende leveranser. Da kan man se trender, få økt innsikt og kunnskap, og kontinuerlig forbedre prosesser. Man kan for eksempel kartlegge antall rotårsaker av hver "type" rotårsak for hver aktør.

#### 6. Kostnad av omarbeid/prosjekteringslooper [NOK]

Informantene ønsket å måle kostnaden av omarbeid eller looper i prosjekteringsarbeidet. Det er mulig å måle både kostnaden av prosjekteringsarbeidet for å gjennomføre en loop, og produksjonskostnaden som følger av en loop i prosjekteringen.

#### 7. Mengden endringer/omarbeid i løpet av prosjekteringsfasen [# eller timer]

Antall endringer per fag kan føres, eventuelt den totale tiden hvert fag bruker på å prosjektere på nytt som følge av en loop, eller i løpet av hele prosjekteringsfasen.

#### 8. Møtekostnad [NOK]

Kostnaden av hvert møte kan måles for å vurdere om agendaen kan løses på en annen måte, eventuelt billigere. Kostnaden blir da den totale kostnaden av alle aktørene eller ressursene som skulle til for å gjennomføre møtet.

#### 9. Evaluering av møter

Flere informanter mente at det enkleste grepene for forbedring av prosjekteringsprosessen vil være evaluering av møter. Da kan man få tilbakemeldinger og kontinuerlig forbedre

prosjekteringsmøtene. Dette vil ikke kreve noen ytterligere opplæring av aktørene, og kan utføres uavhengig av om prosjektet tar i bruk ICE, Last Planner eller andre VDC-metodikker. Informantene mente det ville være nyttig å se på følgende:

- Aktørenes forberedelse til møter
- Relevans av agenda
- Mengde effektiv eller ineffektiv tidsbruk
- Pluss/Delta

Pluss/Delta ble brukt til å evaluere ICE-møtene i pilotprosjektet. Her defineres ”pluss” som positive aspekter ved møtet, og ”delta” som forbedringsområder. Møtene kan også evalueres anonymt ved at aktørene svarer på en spørreundersøkelse og rangerer ulike spørsmål, for eksempel ”Hvor godt forberedt føler du de andre var til møtet?” på en skala fra 1 til 4. Dette var en måling som flere av informantene ønsket å benytte.

### **10. Kostnad av løsninger vs budsjettet kostnad [NOK]**

Denne målingen blir et forholdstall mellom hva de prosjekterte løsningene faktisk kostet og hva som var budsjettet eller estimert at de kom til å koste. Målingen gir informasjon om kvaliteten på estimatet, og om prosjekteringsgruppa var i stand til å levere en billigere løsning innenfor kvalitets- og funksjonskravene.

### **11. Beslutningstreghet [timer] og beslutningsklissethet [#]**

Beslutningstreghet og beslutningsklissethet kan begge implementeres i form av en mer detaljert beslutningsplan. Denne beslutningsplanen blir da et verktøy for å visualisere beslutningsprosesser.

Beslutningstreghet er hvor lang tid som går fra det bes om en sak til den aktuelle aktøren tar en beslutning. Dette er foreslått for å synliggjøre utfordringen med å få beslutningstakere til å ta beslutninger til riktig tid.

Beslutningsklissethet er hvor mange endringer som tas på samme beslutning. For eksempel om byggeren gjør en beslutning på hvor mange mennesker et område skal ha kapasitet til, er dette viktig for ventilasjonsbehovet, noe som potensielt påvirker prosjekteringsarbeidet til flere aktører. Dersom de gjør endringer på den samme beslutningen kan det føre med seg unødvendige looper i prosjekteringen. Det er derfor nyttig å synliggjøre beslutningsklissethet overfor byggeren og andre beslutningstakere.

En informant uttrykte et ønske om å se på forholdet mellom beslutningsklissethet og konsekvens av looper, da dette videre kan konkretisere konsekvensen av trege eller manglende beslutninger.

## 12. Responstid på saker [timer]

Responstid, eller responstreghet, likner på beslutningstreghet og er tiden som går fra et spørsmål eller et behov til det besvares. Responstid kan for eksempel være tiden fra en epost med et spørsmål blir sendt ut til vedkommende får svar på eposten.

### Oppsummering

Informantenes forslag til målinger er oppsummert i Tabell 4.5

Tabell 4.5: Informantenes forslag til målinger

#	Måling
1	PPU, Prosent Plan Utført
2	TA, Tasks Anticipated
3	TMR, Tasks Made Ready
4	Målinger knyttet til modenheitsnivåer (MMI) i BIM-modellen
5	Rotårsaker til forsinkelser eller manglende leveranser
6	Kostnad av omarbeid/prosjekteringslooper
7	Mengden endringer/omarbeid i løpet av prosjekteringsfasen
8	Møtekostnad
9	Evaluering av møter
10	Kostnad av løsninger vs budsjettet kostnad
11	Beslutningstreghet og beslutningsklissethet (eng: decision stickiness)
12	Responstid på saker

### 4.3.3 Diskusjon

Da informantene ble spurta hvilke utfordringer som kan løses med målinger, var det mange som uttrykte en tvilsom holdning til effekten av målinger. Prosjektdeltakerne i VDC-prosjektet rapporterte også at målinger for kontinuerlig forbedring av prosjekteringsprosesser var et av de mest utfordrende aspektene med VDC, og at det å velge de rette målingene for kontinuerlig forbedring var vanskelig. De var generelt skeptiske til målinger, da de fryktet at målinger ville være ineffektive eller kreve for mye ressurser. Det har blitt vist av Chan & Chan (2004) at det å ha for mange og for komplekse målinger potensielt kan være tid- og ressurskrevende. Dette er derfor noe som må tas hensyn til når målinger skal vurderes for VDC-prosjektene. Dersom det fantes systemer som automatisk kunne utføre målingene ville det vært mer interessant. Forslag til målinger som informantene mente både kunne og burde automatiseres var tiden fra en sak åpnes til den lukkes, og antall kvalitetsavvik.

Hensikten med målinger burde i følge noen av informantene være å bidra til at all nødvendig prosjektering for ett spesifikt område er utført før produksjonen begynner, for å unngå unødvendig arbeid, og spare både tid og ressurser. Dette krever likevel at prosjekteringen planlegges og utføres i en rekkefølge som samsvarer med produksjonen, og setter høye krav til styringen av prosjekteringsfasen. Målinger vil være verktøyet som kan synliggjøre hvorvidt denne prosessen utføres mest hensiktsmessig.

Om målinger skal benyttes er det viktig at de brukes flittig, og at de til en viss grad er standardiserte for bedriften slik at prosjekter kan sammenliknes med hverandre. Med målinger kan også implementeringen av VDC forankres i bedriften, særlig om VDC-prosjektene kan vise til gode resultater. Målinger bør være en motiverende faktor for prosjektdeltakere, og bidra til kontinuerlig forbedring av prosjektene gjennom gode evalueringer av måleresultatene.

Informantene uttrykte ulike forventninger til målinger i prosjekteringsfasen. Noen sa de bare ville benyttet målinger dersom de ble tvunget til det, eventuelt overbevist om fordelene med målinger. Andre så på målinger som veldig viktige for kontinuerlig forbedring av prosjekteringsprosessene. Det vil derfor være viktig for Betonmast å lage en strategi for implementeringen av VDC som inkluderer målinger uten at det fremstår som veldig ressurskrevende eller komplisert å benytte seg av dem.

Et utfordrende aspekt ved målinger er å sørge for at løsninger er av god kvalitet, samtidig som målinger visualiserer hver aktørs ytelse. Målinger vil være noe negativt dersom aktørenes forsøk på gode måleresultater går på bekostning av kvaliteten på leveransene deres.

Det er viktig å sette ambisjoner eller mål (eng: targets) for hver måling. Dette samsvarer med teorien, slik som i Fischer et al. (2017) der det står «if we avoid setting targets based on objectives, don't make as good a plan as possible, don't measure, don't compare results to predictions, and don't adjust our plans based on measurements, then we leave project outcome to chance». Derfor bør alle målingene ha et mål, slik at aktørene ser hvor godt de presterer og utfallet av prosjektet ikke etterlates til tilfeldighetene.

*Målingene som ble foreslått av informantene virker som nyttige og logiske målinger, og flere av dem samsvarer med målinger som er anbefalt i litteraturen. Videre diskuteres noen av målingene som ble foreslått av informantene, hvordan de møter utfordringene i prosjekteringsfasen, og settes opp mot anbefalingene fra litteraturstudien. Underveis presenteres de foreslalte målingene i "bokser".*

### **1. PPU, Prosent Plan Utført**

PPU er en av de mest brukte målingene i VDC-prosjekter. Denne målingen kan bidra til å holde prosjektet i rute og visualisere hvilke aktører som forsinke prosjektene. PPU måles typisk i forbindelse med hvert prosjekteringsmøte eller ICE-møte, og handler om å kartlegge hvor mange aktiviteter som er utført satt opp mot planlagte aktiviteter. En høy prosentverdi indikerer at prosjektersgruppa utfører det som er planlagt til riktig tid, og at prosessene er i rute (Knotten & Svalestuen 2014). PPU blir da en nøkkelindiktator for ytelsen til prosjektet (Fischer et al. 2017).

PPU kan enten måles for planlagte aktiviteter på en prosjekterings- eller produksjonsplan, for planlagte oppgaver i et ICE-møte, planlagte oppgaver mellom møtene eller for prosjekteringsleveranser (Knotten & Svalestuen 2014). Selv om PPU er et nyttig mål på ytelse

sier det lite om hvor godt aktivitetene var planlagt, eller konsekvensene av at en oppgave ikke er utført i tide. PPU sier heller ikke noe om kvaliteten av løsningene som ble prosjektert.

En studie utført av Knotten & Svalestuen (2014) viser at et godt planlagt møte gir en høyere PPU-verdi for de planlagte oppgavene i ICE. Planleggingen av agenda og forberedelse blant aktørene blir da sentrale virkemidler for å kontinuerlig øke ytelsen til prosjekteringsgruppa. Ved å bruke PPU til å fremprovosere effektivitet i møtene og synliggjøre om agendaen ikke oppnås, blir PPU en måling som imøtekommmer utfordringen med at tiden på møtene brukes til å diskutere problemer, ikke løse dem.

*PPU i møter, og for modenhetsnivåer i BIM [%]* foreslås som enkle målinger for alle VDC-prosjekter.

## 2. TA, Tasks Anticipated, og 3. TMR, Tasks Made Ready

Måling av TA og TMR vil forbedre utkikksplanleggingen, ved å tvinge aktørene til å forutse sine behov og avhengigheter i forkant av oppgavene. Trolig vil dette være en måling som møter utfordringen «Begrenset forståelse og respekt for andre aktørers behov og avhengigheter mellom fagene», da behovene kommer fram tidligere. Informantene foreslo å bruke behovsmatrise for å synliggjøre behov og avhengigheter. Dette er dog ikke en måling, men mer et verktøy i ICE-møter.

Ved å forbedre målingene av TA og TMR vil man trolig øke kontrollen over prosjekteringsplanen og påliteligheten til leveransene. Dette kan både imøtekommе utfordringen med forsinkede prosjekteringsleveranser, og looper i prosjekteringen. TA og TMR er målinger som kan bidra til at man planlegger og styrer arbeidet bedre, og sørger for at de prosjekteres i riktig rekkefølge.

Last Planner med PPU, TA og TMR tvinger frem involvering av aktører og bedre kontroll på utkikksplanlegging. Dermed vil det være lettere å planlegge prosjekteringsprosessene.

*TA og TMR i møter [%]* foreslås som enkle målinger for alle VDC-prosjekter.

## 4. Målinger knyttet til modenhetsnivåer i BIM-modellen

Informantene foreslår målinger knyttet til modenhetsnivåer, men kommer ikke med eksempler på hvilke utfordringer disse målingene kan møte. De foreslalte målingene kan likevel knyttes til noen utfordringer.

- Måling av antall tegningsrevisjoner etter et modenhetsnivå kan bidra til at prosjekteringen blir mer forutsigbar og man opplever færre endringer, dermed mindre omarbeid. Trolig vil man da møte utfordringen med looper i prosjekteringen, noe som igjen vil ha bidra til å unngå forsinkelser i produksjonen.

- Antall konflikter i BIM ved hvert modenhetsnivå foreslås både i litteraturen og av informantene. Denne målingen vil synliggjøre hvor viktig det er å prosjektere i riktig rekkefølge og gjøre gode kollisjonskontroller før hvert modenhetsnivå. Da møter man utfordringene med kommunikasjon mellom aktørene, looper i prosjekteringen og potensielt prosjekteringsforsinkelser som fører til forsinkelser i produksjon. Telling av antall konflikter samt å finne trender for konflikter per aktør er enkle målinger å gjennomføre ved hvert modenhetsnivå.
- Hvorvidt BIM-modellen er tverrfaglig kontrollert blir mer et kontrollspørsmål enn en måling. Ved hvert modenhetsnivå bør alle aktørene oppnå krav til både interne og tverrfaglige kontroller. At en tverrfaglig kontroll gjennomføres er avhengig av at aktørene forstår behov og avhengigheter mellom fagene. Samtidig må man sette krav som gjør at de prosjekterende ser viktigheten og alvoret i å prioritere prosjektet over andre prosjekter.
- Prosenten av prosjekteringsunderlaget som samsvarer med produksjonsplanen handler om hvor mye av underlaget som er klar til den dato den skal begynne å produseres. Ved å forbedre denne målingen vil man ha færre forsinkelser i produksjonen og færre looper i prosjekteringen.

*Antall konflikter i BIM ved hvert modenhetsnivå [#]* foreslås som en enkel måling for alle VDC-prosjekter.

### 5. Rotårsaker

Rotårsaker er viktige for identifisere og evaluere trender for ikke utførte aktiviteter, forsinkelser, avvik og looper. Rotsårsaker er sentrale innen lean, og kan blant annet identifiseres ved hjelp av metodikker som "5WHYs" (Forbes & Ahmed 2010). Med rotårsaker kan man kartlegge de ulike årsakene til forsinkelser og synliggjøre ansvar for dem.

Mange av utfordringene kan møtes ved å måle rotårsaker, blant annet «forsinkede prosjekteringsleveranser som forsinke produksjonen», «looper i prosjekteringen» og «prosjektering med lav byggbarhet og kvalitet». Ved å finne rotårsakene til en loop eller et kvalitetsavvik, er det lettere å gjøre noe med dem.

*Rotårsaker [#]* foreslås som en enkel måling for alle VDC-prosjekter.

### 6. Kostnad av omarbeid/prosjekteringslooper

De fleste informantene opplever store utfordringer når det kommer til looper i prosjekteringen. De ønsket derfor å måle kostnaden av prosjekteringslooper for å møte denne utfordringen. Dette kan være vanskelig å måle, da de må samle inn informasjon om ressursbruk fra mange ulike aktører. Likevel anses det som en nyttig måling dersom de får det til, for å kontinuerlig forbedre

prosessene ved å gjøre konsekvensene av looper svært synlige.

*Kostnad av prosjekteringslooper [NOK]* foreslås som en supplerende måling i VDC-prosjekter.

Looper kan føre til omarbeid både i prosjekteringsfasen og i produksjonen. Derfor foreslo informantene å se på hvilke konsekvenser prosjekteringsforsinkelser/looper får på produksjonen. Da møter målingen utfordringen med at forsinkelser i prosjekteringen forsinker produksjonen, ved å synliggjøre konsekvensen av å ikke prosjektere til riktig tid eller kvalitet. Siden dette er en ganske omfattende måling som går på prosjektet som helhet, og fokuset i denne oppgaven er målinger for kontinuerlig forbedring av prosjekteringsprosesser, prioriteres den ikke i denne anbefalingen.

Noen av loopene kan unngås ved å planlegge prosjekteringen bedre, mens andre looper er nødvendige som en del av modningsprosessen i prosjekteringen. På grunn av sistnevnte bør det legges inn noen buffere i prosjekteringsplanen.

## **7. Mengden endringer/omarbeid i prosjekteringfasen**

Mengden endringer/omarbeid i prosjekteringen er en måling som i likhet med kostnaden av omarbeid/looper viser konsekvensen av en loop. Dette er en måling som også ble anbefalt i litteraturen. Mengden omarbeid kan enten være en måling av antall eller tidsbruk. Antallet er trolig enklere å finne enn tidsbruken av omarbeid, men tidsbruken er likevel en måling som sier mer om størrelsesordenen og den faktiske konsekvensen av hver loop. Dersom det måles per fag kan man videre synliggjøre hvilke aktører som er ”syndebukker”.

*Mengden omarbeid per fag [timer]* foreslås som en supplerende måling i VDC-prosjekter.

Mengden omarbeid er en måling som møter utfordringen med looper i prosjekteringen, da den viser konsekvensen av loopene. Samtidig kan målingen løse utfordringen med lav byggbarhet, for eksempel ved å telle prosjekteringsavvik. Dette er en måling som vil gjøre mengden endringer mulig å sammenlikne mellom aktørene, da den er kvantifisert.

## **8. Møtekostnad**

En utfordring i mange prosjekter er at tiden i møter brukes til å diskutere problemer, ikke løse dem. Å måle kostnaden av møtene kan tydeliggjøre hvor viktig det er å gjennomføre møtene effektivt, ettersom det å bruke tid på å repete saker er sløsing med tid og ressurser. Da kan man også gjøre vurderinger av hvilke agendapunkter som er relevante, og om alle aktørene trenger å være tilstede.

Informantene er enige om at integrerte møter er viktige, men ønsker ikke å bruke unødvendig tid på involvering av aktører. Dersom de skal bruke for eksempel ICE-metodikken ønsker de å optimalisere den slik at den blir mest mulig effektiv. Da kan de vurdere kostnaden av møtene opp mot hva det alternativt kunne kostet med en annen prosjekteringsprosess. Dette blir da en måling som både kan brukes til kontinuerlig forbedring av møtene, og til forbedring fra prosjekt

til prosjekt.

*Møtekostnad [NOK]* foreslås som en supplerende måling i VDC-prosjekter.

### 9. evaluering av møter

Flere av informantene uttrykte et ønske om å benytte målingen ”Pluss/Delta” der hvert møte evalueres med hva som var positivt og forbedringsområder. Dette er også noe som ble gjort ved DBC og Betonmast har dermed noe mer erfaring med denne evalueringsmetoden enn andre metoder. Pluss/Delta kan finnes igjen i Forbes & Ahmed (2010), og beskrives som en evaluering som kan gjennomføres blant annet i møter relatert til Last Planner. Dermed passer den godt inn i evaluering av ICE-møter som benytter en Last Planner - plan i VDC-prosjekter. Denne målingen er samtidig noe informantene vurderte som relativt enkelt å implementere for å forbedre prosjekteringsprosesser, uavhengig av VDC.

Prosjekteringsmøter bør evalueres med tanke på kostnad, relevans og effektivitet. I ICE-møtene kan man blant annet undersøke i hvilken grad møtedeltakerne opplevde møtet som effektivt, nyttig bruk av deres tid, hvor godt forberedt de ulike aktørene var, og hvor fornøyd de var med agendaen. En utfordring som ble nevnt av informantene var dårlig forberedelse til prosjekteringsmøter. Derfor bør de synliggjøre både hvordan aktørene opplever egen og andres forberedelse, samt sette krav til forberedelse.

Ifølge Knotten & Svalestuen (2014) er det mer sannsynlig at fornøyde aktører bidrar i møtene enn aktører som er misfornøyde og føler at det er sløsing av deres tid. En fordel med en anonymisert spørreundersøkelse er at aktørene kan svare mer ærlig på spørsmålene uten at de andre vet hvem som står bak svaret. Samtidig er det vanskeligere å vite hvem som eventuelt opplever møtene som ineffektive eller om dette varierer mellom ulike aktører fra møte til møte.

*Evaluering av møter [skala 1-4]* med ”Pluss/Delta” foreslås som en enkel måling for alle VDC-prosjekter.

### 10. Kostnad av løsninger vs budsjettert kostnad

Sammenlikningen av løsningers faktiske kostnad med budsjettert kostnad kan brukes til jobbe mot bedre løsninger til samme pris, eventuelt samme løsning til billigere pris. Så lenge løsningen er innenfor kvaliteten som er forventet av byggeren er det et stort potensiale for å projektere billigere løsninger. Med denne målingen kan man kontinuerlig sette innkjøp opp mot budsjett og vurdere hvordan valg i prosjektering påvirker prosjektkostnad.

*Faktiske vs budsjetterte kostnader [NOK]* foreslås som en supplerende måling i VDC-prosjekter.

## 11. Beslutningstreghet og beslutningsklissethet

Byggherrebeslutninger ser ut til å være en gjentakende utfordring og flaskehalsen i mange prosjekter. Derfor er er beslutningstreghet og beslutningsklissethet foreslått som målinger for å evaluere byggherrebeslutninger. Beslutningstreghet er en måling som er nevnt i litteraturen, men ikke beslutningsklissethet.

*Beslutningstreghet [timer] og Beslutningsklissethet [#]* foreslås som enkle målinger for alle VDC-prosjekter.

Både beslutningstreghet og beslutningsklissethet er ”enkle” målinger som bør være gjennomførbare på alle VDC-prosjekter for å fremprovosere beslutninger. Det kan også være interessant å se på forholdet mellom beslutningsklissethet og konsekvensen av looper, selv om dette vil være en noe mer utfordrende måling. Da kan man synliggjøre for byggherren hvor mye det har å si for kostnaden av bygget at det gjøres endringer på beslutninger, som er årsaken til en prosjekteringsloop.

*Forholdet mellom beslutningsklissethet og kostnad av looper [%]* foreslås som en supplerende måling i VDC-prosjekter.

Informantene foreslo å lage en grundigere beslutningsplan for å møte utfordringen med mangel på beslutninger, underlag og avklaringer. Denne beslutningsplanen kan brukes til å logge beslutninger, hvor mange ganger det er gjort endringer på beslutninger, når beslutningen ble bedt om og når den ble besluttet. Sporbarheten i beslutningene gjør det trolig lettere å forplikte byggherren og andre beslutningstakere til å ta beslutninger til riktig tid og av riktig kvalitet.

## 12. Responstid

En annen utfordring i prosjekteringsfasen er i følge informantene at det til tider kan være vanskelig å få respons på epost, da eposter hoper seg opp og epost er et dårlig verktøy for kommunikasjon. Rischmoller et al. (2018) mener at det å benytte ICE-møter med BIM og Lean prinsipper i VDC-prosjekter trolig har stort effekt på responstiden, noe som gjør det interessant å se på den faktiske effekten på responstiden av å implementere VDC. For kontinuerlig forbedring av prosjekteringsprosessene kan det likevel være en noe tidkrevende måling. Noen informanter uttrykte at måling av responstid risikerer å bli veldig byråkratisk, og at de kanskje ikke har mulighet til å sette av nødvendig tid til å måle dette. Dersom responstid kunne blitt målt automatisk og digitalt ville responstid likevel vært en veldig nyttig måling for å redusere ventetiden på tilbakemeldinger fra ulike aktører.

Ineffektiv kommunikasjon er noe de fleste informantene uttrykte som en stor utfordring, og responstid er en måte å visualisere hvor lenge man faktisk venter på tilbakemeldinger. Dersom det settes et mål, eventuelt et krav på en maksimal responstid i prosjektet vil man samtidig ha noe å måle responstiden opp mot.

*Responstid [timer]* foreslås som en supplerende måling i VDC-prosjekter.

### Målinger som foreslås i litteraturen, men ikke av informantene

Blant de nevnte målingene er det noen som foreslås i litteraturen men ikke av informantene, særlig målinger knyttet til BIM-modellen, og bruken av BIM til mengdeberegninger. Knotten & Svalstuen (2014) viste i sin studie at man kan redusere tidsbruken på mengdeberegninger av overflater med 90 % om de gjøres i BIM i stedet for i todimensjonale tegninger. Dette forutsetter at modellen er riktig og detaljeringsgraden er høy nok, men viser fordelen av å prosjektere i modell og hvordan man kan spare tid nedstrøms i et prosjekt om BIM er benyttet. Det kan dermed være nyttig å måle hvor stor nytte man har av BIM-modellen ved å se på tidsbesparinger under mengdeberegninger.

*Tid brukt på mengdeberegninger [timer]* foreslås som en supplerende måling i VDC-prosjekter.

Bruk av BIM til å vurdere alternative løsninger og til kollisjonskontroll vil føre til færre RFI-er på byggeplassen. Samtidig sier noen av informantene at de allerede benytter BIM-en til kollisjonskontroll, men at de har ikke noe system for måling av kollisjonstrenger eller visualisering av mengden kollisjoner. Det foreslås i litteraturen å telle antall RFI-er men dette kan virke som en veldig tidkrevende oppgave, særlig om det ikke automatiseres.

# 5. Konklusjon

Masteroppgaven har gått i dybden av målinger i VDC-prosjekter. Det ble presentert og diskutert likheter og forskjeller mellom målinger av prosjekteringsprosesser i tradisjonelle prosjekter og VDC-prosjekter, samt utfordringer i prosjekteringsprosesser hos Betonmast. Målinger for kontinuerlig forbedring av prosjekteringsprosesser ble diskutert og analysert. I denne konklusjonen besvares de tre forskningsspørsmålene, og det presenteres en liste over anbefalte målinger for kontinuerlig forbedring av prosjekteringsprosesser i VDC-prosjekter. Til slutt inkluderes et delkapittel med forslag til videre arbeid innen temaet måling i VDC-prosjekter.

## 5.1 Måling av prosjekteringsprosesser i dag

Generelt i Betonmast er det i dag ikke utbredt med målinger av prosjekteringsprosesser. Gjennom implementering av VDC-metodikker som Last Planner, ICE-møter og BIM med MMI har Betonmast lagt til rette for mer bruk av målinger, men også på DBC har målingen vært begrenset og av varierende grad. Det er et stort rom for å ta i bruk flere målinger, slik at evaluering og kontinuerlig forbedring av prosessene kan være i fokus i flere av prosjektene.

Tabell 5.1 viser prosjekteringsprosesser i VDC-prosjektet DBC og generelt i Betonmast.

Tabell 5.1: Prosjekteringsprosesser

	VDC-prosjekt	Generelt i Betonmast
Prosjekteringsplanlegging	Last Planner	Leveranse- og beslutningsplan
Prosjekteringsmøter	ICE-møter	Tradisjonelle prosjekteringsmøter med møtereferat som agenda, og særmøter
Prosjekteringsverktøy	3D BIM med MMI	3D BIM
Målinger av prosess?	Ja, i ICE-møter	Nei, lite målinger av prosess

VDC-prosjektet har benyttet seg av mer integrerte prosesser og et større fokus på målinger enn det tradisjonelt sett har vært i Betonmasts prosjekter. De har hatt gode forutsetninger for å utnytte målinger til forbedring av prosjekteringsprosesser, men av ulike årsaker som stramt tidsskjema og ulik motivasjon for å måle har målinger til tider vært nedprioritert. Både litteraturen og erfaringer funnet i denne studien viser at målinger av prosjekteringsprosesser kan være nyttige for kontinuerlig forbedring og dermed noe som bør være i fokus i fremtidige prosjekter.

## 5.2 Hovedutfordringer i prosjekteringsfasen

Studien har vist at det både er likheter og forskjeller mellom utfordringene i prosjekteringsfasen i VDC-prosjektet og tradisjonelle prosjekter i Betonmast. Dette kan til en viss grad henge sammen med at informanter fra VDC-prosjektet presenterte utfordringer knyttet til de fire metodikkene Last Planner, ICE-møter, BIM med MMI og målinger, mens prosjekteringslederne generelt i Betonmast presenterte utfordringer for prosjekteringsfasen som helhet.

Alle informantene opplever utfordringer knyttet til møteeffektivitet. Uansett om det går på forberedelse til møtene, effektiv tidsbruk eller loggføring av agendapunkter, er prosjekteringsmøtene en prosess med mange utfordringer. Dette gjør møtene til et godt emne for kontinuerlig forbedring. Vet å forbedre prosjekteringsmøtene kan man luke ut mange utfordringer som både eksisterer i ICE-møter og generelt i Betonmast.

På VDC-prosjektet var det i hovedsak prosessene i seg selv som fremsto som utfordrende. Informantene opplevde at VDC-metodikkene satte høye krav til de prosjekterende og deres involvering, og at innsatsen og engasjementet derfor varierte. Dette gjør at det også varierer hvor mye de får ut av de ulike prosessene. Metodikkene legger likevel til rette for en mer effektiv prosjekteringsfase, noe flere informanter har påpekt. Med tid og erfaring vil utfordringene trolig være færre. Det er da viktig å skape gode rammer for opplæring, basert på bedriftens egne opplevelser av VDC-implementeringen.

Generelt i Betonmast var det et større fokus på utfordringer knyttet til beslutninger, looper i prosjekteringen og kommunikasjon mellom aktørene. Dette er utfordringer som VDC har til hensikt å møte, gjennom målinger, involvering av aktørene og optimalisering av prosjekteringsprosessene. Særlig beslutninger virker som en flaskehals i mange prosjekter, da suksessen av et prosjekt ofte avhenger av gode beslutninger til riktig tid. Informantene er opptatt av at prosjekteringen må gjøres riktig første gang slik at looper ikke får store konsekvenser for produksjonen, der de største kostnadene påløper. Dette krever da god kommunikasjon både innad i prosjekteringsgruppa og mellom aktørene i prosjekteringen og produksjonen.

## 5.3 Målinger i fremtidige VDC-prosjekter

De anbefalte målingene for fremtidige VDC-prosjekter er vist i Tabell 5.2. Målingene bør knyttes opp mot prosjektmål og objektiver, som bør utvikles tidlig og brukes som referanse måling for prosess- og prosjektytelse. De fleste VDC-prosjektene vil være interessert i målinger for kontinuerlig forbedring av prosjektene. Seks slike målinger er listet i kolonnen "Enkle målinger for alle VDC-prosjekter". Ytterligere syv målinger er foreslått i kolonnen "Forslag til supplerende målinger" for prosjekter som har ressursene til å utvide evalueringen og ta den kontinuerlige forbedringen av prosjektet et steg videre. De anbefalte målingene er

basert på litteratursøket ("L") og intervjuer ("I") med prosjekteringsledere hos Betonmast, og er målinger som møter Betonmasts mest sentrale utfordringer i prosjekteringsfasen.

Tabell 5.2: Anbefalte målinger

<b>Enkle målinger for alle VDC-prosjekter</b>	<b>Forslag til supplerende målinger</b>
PPU, TA og TMR i møter [%] (L+I)	Tid brukt på mengdeberegninger [timer] (L)
PPU for modenhetsnivåer i BIM [%] (L+I)	Kostnad av prosjekteringslooper [NOK] (I)
Antall konflikter i BIM ved hvert modenhetsnivå [#] (L+I)	Faktiske vs budsjetteterte kostnader [NOK] (I)
Rotårsaker [#] (L+I)	Møtekostnad [NOK] (I)
Evaluering av møter [skala 1-4] (L+I)	Mengden omarbeid per fag [timer] (L+I)
Beslutningstreghet [timer] og beslutningsklissethet [#] (L+I)	Forholdet mellom beslutningsklissethet og kostnad av looper [%] (I)
	Responstid [timer] (L+I)

Selv om det bare er erfaringer hos Betonmast som er studert vil resultatene trolig være overførbare til andre entreprenører som implementerer VDC på sine prosjekter.

Bruk av en modenhetssindeks med BIM-modellen er en forutsetning for noen av målingene. Dersom prosjektet ikke benytter modenhetssindekser kan målingene knyttes opp mot milepæler på prosjekteringsplanen og BIM-basert informasjonsutveksling.

**PPU** (Prosent Plan Utført) bør måles for oppgaver i hvert møte og for planlagte leveranser ved hvert modenhetsnivå i BIM-modellen. Som en videreføring av PPU bør **TA** (Tasks Anticipated) og **TMR** (Tasks Made Ready) måles for å øke kontrollen over planleggingsprosessen og bidra til en mer detaljert prosjekteringsplan. TA er prosentandelen av neste ukes planlagte oppgaver som allerede var planlagt for i forrige ukes utkikkssplan, mens TMR er andelen av de planlagte oppgavene som er klare for neste uke, også målt i prosent.

**Antall konflikter i BIM ved hvert modenhetsnivå** bør måles for å indikere og kontrollere kvaliteten på prosjekteringen. Dette antallet vil visualisere viktigheten av å prosjektere i riktig rekkefølge og å gjøre grundige kollisjonskontroller før hvert modenhetsnivå.

**Rotårsaker** for mangel på eller forsinkede oppgaver eller beslutninger, i tillegg til konflikter i BIM, bør loggføres og følges opp. Antall opptredener av hver rotårsak bør også måles, for å evaluere og finne trender for rotårsakene. Typiske rotårsaker kan være mangel på underlag, dårlig kapasitet eller nedprioriteringer.

**Evaluering av møter** bør gjøres på slutten av hver ICE-sesjon for å evaluere hvor effektivt aktørene opplevde møtet, deres egen og andres forberedelse og agendaens relevans. Evalueringen

kan utføres med en anonym spørreundersøkelse der hvert spørsmål rangeres på en skala fra 1 til 4, der 4 er best. I tillegg bør møtet avsluttes med en diskusjon av ”Pluss/Delta”. ”Pluss” er da positive aspekter ved møtet og ”delta” er forbedringsområder. Evalueringen kan benyttes til å kontinuerlig forbedre prosjekteringsmøtene.

**Beslutningstreghet** (tiden fra det bes om en beslutning til byggherren eller den aktuelle aktøren tar en beslutning) og **beslutningsklissethet** (antall endringer på den samme beslutningen) forplikter byggherren til å ta beslutninger. Disse målingene vil oppfordre til at byggherren involverer seg i prosjekteringsprosesser og evaluering av ulike løsninger. Beslutningsklissethet er også en måling for å unngå tvetydige beslutninger.

Supplerende målinger inkluderer tid brukt på mengdeberegninger, kostnad av prosjekteringslooper, faktiske vs budsjetterte kostnader, møtekostnad, mengden omarbeid per fag, forholdet mellom beslutningsklissethet og kostnad av looper, og responstid. Disse målingene er noe vanskeligere å utføre og er mer ressurskrevende. Det er usikkert hvorvidt fordelene ved disse målingene er verdt innsatsen, men de er ansett å være fordelaktige for kontinuerlig forbedring. Mange av dem, slik som kostnad av prosjekteringslooper og mengde omarbeid per fag visualiserer det økonomiske potensialet i å ha gode prosjekteringsprosesser.

### 5.4 Videre arbeid

De empiriske resultatene i masteroppgaven har kommet fra å studere erfaringene med prosjekteringsfasen hos én norsk entreprenør, og ett VDC-prosjekt. For å gjøre de foreslårte målingene mer generaliserte og aktuelle for flere aktører, bør det studeres flere entreprenører og flere prosjekter. Det bør også vurderes å se på målinger fra perspektivet til andre aktører i prosjekteringsfasen, slik som byggherren og rådgivere.

Denne studien fokuserte kun på prosjekteringsfasen i byggeprosjekter, med særlig fokus på prosjekteringsprosesser. Det kan være interessant å se på målinger i flere faser av byggeprosjekter for å identifisere målinger som passer for VDC-prosjektenes totale varighet.

Det kan også være interessant å se på andre entrepriseformer. I denne studien har entrepriseformen vært totalentreprise, mens andre entrepriseformer slik som samspill eller delte entrepriser kan ha andre fokusområder og følgelig andre målinger som er mer nyttige.

Grunnet begrenset med tid ble det bare utført ett intervju med hver av informantene. For videre verifisering av resultatene kunne det vært interessant å ha flere intervjuer med de samme informantene, og for eksempel utføre en tidsstudie der man ser på ett case over lengre tid.

Hovedfokuset i masteroppgaven har vært enkle målinger for kontinuerlig forbedring av prosjekteringsprosesser. Et interessant aspekt for videre arbeid er hvilke målinger som har mest betydning for å oppnå kundens mål. Dette henger sammen med oppnåelse av god

kundeverdi. Da kan det være interessant å se på om det finnes gode kundemål som sier mer om verdien av produktet enn de vanlige målingene kostnad, tid og HMS. Har kunden noen gode eksempler på konkrete mål? Kan disse målene oppnås gjennom målinger av prosess?

Videre arbeid kan også gå i dybden av målinger for å se på effekten av VDC-implementeringen. Målinger for kontinuerlig forbedring kan til en viss grad synliggjøre effekter av VDC, men dette har ikke vært fokuset i studien. Det vil være interessant å se videre på den faktiske effekten av VDC-implementeringen, både for entreprenører og andre aktører. Da kan man for eksempel se på om implementeringen av VDC har noen konkrete, kvantitative effekter å vise til som gjør det verdifullt å velge denne metodikken over andre metodikker.

# Bibliografi

- Alarcón, L., Mandujano, R., Maria, G. & Mourgues, C. (2013). Analysis of the implementation of vdc from a lean perspective: Literature review, *Proceedings of the 21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*, Fortaleza, Brazil, pp. 781–790.
- Ballard, H. G. (2000). *The last planner system of production control*, PhD thesis, University of Birmingham.
- Bassioni, H. A., Price, A. D. & Hassan, T. M. (2004). Performance measurement in construction, *Journal of management in engineering* **20**(2): 42–50.
- Beatham, S., Anumba, C., Thorpe, T. & Hedges, I. (2004). Kpis: a critical appraisal of their use in construction, *Benchmarking: an international journal* **11**(1): 93–117.
- Bicheno, J. & Holweg, M. (2000). *The lean toolbox*, Vol. 4, PICSIE books Buckingham, Buckingham, England.
- Bowen, G. A. (2009). Document analysis as a qualitative research method, *Qualitative research journal* **9**(2): 27–40.
- Brinkmann, S. & Tanggaard, L. (2010). *Kvalitative metoder: en grundbog*, Hans Reitzels Forlag, København.
- Busch, T. (2013). *Akademisk skriving for bachelor- og masterstudenter*, Fagbokforlaget, Bergen.
- Chan, A. P. & Chan, A. P. (2004). Key performance indicators for measuring construction success, *Benchmarking: an international journal* **11**(2): 203–221.
- Clark, D. M., Silvester, K. & Knowles, S. (2013). Lean management systems: creating a culture of continuous quality improvement, *Journal of clinical pathology* **66**(8): 638–643.
- Costa, D. B., Formoso, C. T., Kagioglou, M., Alarcón, L. F. & Caldas, C. H. (2006). Benchmarking initiatives in the construction industry: lessons learned and improvement opportunities, *Journal of Management in Engineering* **22**(4): 158–167.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R. & Liston, K. (2008). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*, Wiley Publishing, Hoboken, N.J.
- Fischer, M., Aschcraft, H., Reed, D. & Khanzode, A. (2017). *Integrating project delivery*, John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, N.J.
- Fløisbonn, H. W., Skeie, G., Uppstad, B., Markussen, B. & Sunesen, S. (2018). Mmi - modell modenheits indeks, Online publikasjon. (Hentet 04.06.19).
- URL:** <http://eba.no/globalassets/dokumenter/mmi-utvalget/mmi-modell-modenhets-indeks.pdf>
- Forbes, L. H. & Ahmed, S. M. (2010). *Modern construction: lean project delivery and integrated practices*, Crc Press, Boca Raton, FL.
- Fosse, R., Ballard, G. & Fischer, M. (2017). Virtual design and construction: Aligning bim and lean in practice, *LC3 2017 Volume II - Proceedings of the 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*.

- Garcia, A. C. B., Kunz, J., Ekstrom, M. & Kiviniemi, A. (2004). Building a project ontology with extreme collaboration and virtual design and construction, *Advanced Engineering Informatics* **18**(2): 71–83.
- Gerber, D. J., Becerik-Gerber, B., Kunz, A. et al. (2010). Building information modeling and lean construction: Technology, methodology and advances from practice, *Proceedings of the 18th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*, Haifa, Israel, pp. 683–693.
- Gilligan, B. & Kunz, J. (2007). Vdc use in 2007: significant value, dramatic growth, and apparent business opportunity, *Technical report, tr171*, Center for Integrated Facility Engineering (CIFE).
- Grindland, O. (2017). *Virtual design and construction - implementering og effekter*, Master's thesis, NTNU.
- Grytting, I. (2017). *Bruk av lod-beslutningsplan i prosjekteringa på bim-prosjekt*, Master's thesis, NTNU.
- Hamzeh, F. & Aridi, O. Z. (2013). Modeling the last planner system metrics: A case study of an aec company, *Proceedings of the 21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*, Fortaleza, Brazil, pp. 599–608.
- Hamzeh, F. R., Ballard, G. & Tommelein, I. D. (2009). Is the last planner system applicable to design?—a case study, *Proceedings of the 17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*, Taipei, Taiwan, pp. 165–176.
- Haponava, T. & Al-Jibouri, S. (2011). Proposed system for measuring project performance using process-based key performance indicators, *Journal of management in engineering* **28**(2): 140–149.
- Howell, G. A. (1999). What is lean construction - 1999, *Proceedings of the 7th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*, Berkeley, California.
- Hughes, S. W., Tippett, D. D. & Thomas, W. K. (2004). Measuring project success in the construction industry, *Engineering Management Journal* **16**(3): 31–37.
- Husby, H. (2017). *Virtual design and construction i prosjekteringsprosessen - videreutvikling og forbedring*, Master's thesis, NTNU.
- Jovik, L. T. (2012). *Tilrettelegging for god ice-prosjektering*, Master's thesis, NTNU.
- Kam, C., Senaratna, D., McKinney, B., Xiao, Y. & Song, M. (2013). The vdc scorecard: Formulation and validation, *Center for Integrated Facility Engineering: Stanford University*.
- Kang, Y., Dai, J., Mulva, S. & Choi, J. (2014). The 10-10 performance assessment campaign: New theories regarding the benchmarking of capital project performance, *Construction Research Congress 2014: Construction in a Global Network*, Atlanta, GA, pp. 2335–2344.
- Khanzode, A. (2010). An integrated, virtual design and construction and lean (ivl) method for coordination of mep, *Technical report 187*, Center for Integrated Facility Engineering (CIFE), Stanford University.
- Khanzode, A., Fischer, M., Reed, D. & Ballard, G. (2006). A guide to applying the principles of virtual design & construction (vdc) to the lean project delivery process, *Working paper 093*, Stanford University.

- Knotten, V. & Svalestuen, F. (2014). Implementing virtual design and construction (vdc) in veidekke—using simple metrics to improve the design management process, *Proceedings of the 22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*, Vol. 3, Oslo, Norway.
- Knotten, V., Svalestuen, F., Hansen, G. K. & Lædre, O. (2015). Design management in the building process—a review of current literature, *Procedia Economics and Finance* **21**: 120–127.
- Kunz, J. (2013). Integrated concurrent engineering. CEE 143/243 Agenda: Jan 13.  
**URL:** <https://web.stanford.edu/~kunz/Chalmers/W2ICEOverview.pdf>
- Kunz, J. & Fischer, M. (2012). Virtual design and construction: themes, case studies and implementation suggestions, *Center for Integrated Facility Engineering (CIFE), Stanford University, Stanford, California, United States*.
- Mandujano, R., Maria, G., Alarcón, L., Kunz, J. & Mourgues, C. (2015). Use of virtual design and construction, and its inefficiencies, from a lean thinking perspective, *Proceedings of the 23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*, Perth, Australia, pp. 836–845.
- Nøklebye, A. (2018). *Enabling lean design with management of model maturity*, Master's thesis, NTNU.
- Olofsson, T., Lee, G., Eastman, C., Reed, D. et al. (2008). Benefits and lessons learned of implementing building virtual design and construction (vdc) technologies for coordination of mechanical, electrical, and plumbing, *Journal of Information Technology in Construction (ITCon)*, Vol. 13, Citeseer.
- Redman, A. (2017). *Bruk av vdc og 4d i skanska-prosjekter - innføring av 4d-modellering i eksisterende vdc-rammeverk*, Master's thesis, NTNU.
- Rischmoller, L., Reed, D., Khanzode, A. & Fischer, M. (2018). Integration enabled by virtual design & construction as a lean implementation strategy, *Proceedings of the 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*, Chennai, India, pp. 240–249.
- Salem, O., Solomon, J., Genaidy, A. & Minkarah, I. (2006). Lean construction: From theory to implementation, *Journal of management in engineering* **22**(4): 168–175.
- Saunders, M., Lewis, P. & Thornhill, A. (2009). *Research methods for business students*, 5th edn, Pearson, Harlow.
- Svalestuen, F., Knotten, V., Lædre, O. & Lohne, J. (2018). Planning the building design process according to level of development, *Lean Construction Institute Journal 2018* pp. 16–30.
- Wohlin, C. (2014). Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering, *Proceedings of the 18th international conference on evaluation and assessment in software engineering*, Citeseer, p. 38.
- Yeung, J. F., Chan, A. P., Chan, D. W., Chiang, Y. & Yang, H. (2012). Developing a benchmarking model for construction projects in hong kong, *Journal of construction engineering and management* **139**(6): 705–716.
- Yin, R. K. (2014). *Case Study Research and Applications: Design and Methods*, 5th edn, SAGE Publications, USA.

# Vedlegg

## Vedlegg A - Vitenskapelig artikkel

Belsvik, M.R., Lædre, O., and Hjelseth E. (2019). "Metrics in VDC projects." In: *Proc. 27<sup>th</sup> Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC), One person and two person.* (ed.), Dublin, Ireland, pp. xx–xx. DOI: <https://doi.org/10.24928/2018/0167>. Available at: <www.iglc.net>.

# METRICS IN VDC PROJECTS

Matilde Reinholdt Belsvik<sup>1</sup>, Ola Lædre<sup>2</sup>, and Eilif Hjelseth<sup>3</sup>

## ABSTRACT

The Norwegian construction industry is far behind other industries when it comes to productivity. To improve productivity several contractors take advantage of methodologies such as Virtual Design and Construction (VDC). VDC is about streamlining projects in a Lean context with tools like Last Planner, ICE, BIM and metrics. Although few studies have been found on metrics in VDC projects, it appears evident that metrics are important for continuous improvement. However, selecting adequate metrics is challenging, as they can require more than they give in return.

The study answers three research questions; (1) "How are building design processes measured?" (2) "Which main design phase challenges can be resolved with metrics?" and (3) "Which metrics should be used in future VDC projects?"

The methods used have been a qualitative case study of a Norwegian contractor's first implementation of VDC, as well as personal interviews with experienced design managers.

The implication of the study is a list with six basic metrics for the building design processes of VDC projects, based on challenges in Norwegian construction projects. Seven additional metrics for continuous project improvement are also presented.

## KEYWORDS

VDC, Metrics, Design management, Continuous improvement, Lean construction

## INTRODUCTION

The Norwegian construction industry has seen a decrease in productivity of 10 % since year 2000 (Thodesen 2018). In response, several methodologies have been introduced to solve this issue.

VDC and metrics are two of these and many Norwegian contractors have begun implementing VDC in their projects to improve project efficiency (Fosse et al. 2017; Knotten and Svalestuen 2014). VDC is defined as "the use of integrated multi-disciplinary performance models of design-construction projects to support explicit and public business objectives" (Kunz and Fischer 2009). Metrics is also suggested as a methodology to

---

<sup>1</sup> M.Sc student, NTNU - Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway, +47 982 07 858, matildeb@stud.ntnu.no

<sup>2</sup> Professor, dr.ing., NTNU - Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway, +47 911 89 938, ola.ladre@ntnu.no

<sup>3</sup> Professor, PhD, NTNU – Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway, +47 952 66 100, eilif.hjelseth@ntnu.no

improve productivity. Not only are metrics important to evaluate project success but can be utilized for continuous improvement (Fischer et al. 2017).

In the literature there is a large amount of published material on metrics and measurements of construction projects (Chan and Chan 2004; Costa et al. 2006; Haponava and Al-Jibouri 2011; Hughes et al. 2004; Kang et al. 2014; Yeung et al. 2012). There is also a decent amount on VDC (Alarcón et al. 2013; Fosse et al. 2017; Garcia et al. 2004; Kam et al. 2013; Khanzode 2010; Khanzode et al. 2006; Kunz and Fischer 2009). However, an apparent knowledge gap exists on the topic of metrics and VDC combined. Within VDC, metrics is one of the main tools yet only a few papers have been published about it.

Contractors want to effectively include metrics in their implementation of VDC and need a list of standard metrics applicable to all VDC projects. A case study of a Norwegian contractor has therefore been conducted with the purpose of making a list of recommended metrics, based on the main design phase challenges of construction projects as well as suggested metrics from published literature.

In order to find metrics that can be used to continuously improve design processes in VDC projects, the following three research questions were developed and answered:

- RQ1: How are building design processes measured?
- RQ2: Which main design phase challenges can be resolved with metrics?
- RQ3: Which metrics should be used in future VDC projects?

Due to the limited time frame, this research has been limited to one Norwegian contractor, Betonmast, and their experiences with VDC and metrics. The focus has been on finding metrics for the design phase of construction projects.

## METHOD

The research design of this report has been a qualitative case study of Norwegian contractor Betonmast and their implementation of VDC.

First a pilot case study was conducted, involving Drammen station Business Center (DBC), to document Betonmast's first implementation of VDC. Data was collected through five personal interviews and an observation in an ICE-meeting to get an understanding of the different elements of VDC and typical challenges with the implementation. Informants were selected from the design group, as they had the most hands-on experience with VDC from the DBC project. During the pilot case study, it was found that one of the biggest challenges in VDC projects is defining meaningful metrics, which laid the foundation for further research on metrics and VDC.

Following the pilot case study, six design managers of the same contractor were interviewed to identify challenges in the design phase of more traditional construction projects and to review a list of suggested metrics for future VDC projects. These suggested metrics were obtained through a literature review about metrics and VDC. The interviews were personal semi-structured interviews, with a goal of understanding how metrics are used today and how a Norwegian contractor can use metrics in their future projects. The informants were chosen for their involvement in Betonmast's VDC development work and also for their interest in learning and testing out new ideas and methodologies.

## THEORETICAL FRAMEWORK

The theoretical framework is presented in three parts. The first part is about Virtual Design and Construction, with a paragraph about its relation to Lean Construction and common tools within VDC. The second part is about metrics, with general theory on metrics in construction projects followed by the third part, on metrics in VDC projects.

### VIRTUAL DESIGN AND CONSTRUCTION

Virtual Design and Construction (VDC) was first introduced in 2001 by John Kunz and Martin Fischer through the Center for Integrated Facility Engineering (CIFE) at Stanford University. The framework is about project optimization by taking advantage of different time-efficient tools to achieve project goals and objectives (Jovik 2012). Kunz and Fischer (2009) define VDC as “the use of integrated multi-disciplinary performance models of design-construction projects to support explicit and public business objectives.” The goal of VDC in the building design phase is to use these models to understand the complexity of a project and predict potential challenges before a large commitment of time or money is made to the project (Khanzode et al. 2006).

With the implementation of VDC a project can achieve Lean principles, and Lean as a framework can increase the effectiveness of VDC projects. Thus VDC and Lean have been argued by several researchers to go well together (Alarcón et al. 2013; Gerber et al. 2010; Khanzode 2010; Khanzode et al. 2006; Mandujano et al. 2015). Lean Construction with its background in Toyota’s Lean Production is about adding value, reducing wasteful activities, improving flow and focusing on continuous improvement through benchmarking and metrics (Fosse et al. 2017).

Common tools used within and in combination with VDC include The Last Planner System of Production Control (hereafter Last Planner), Integrated Concurrent Engineering (ICE), Building Information Modelling (BIM), Model Maturity Index (MMI) and Metrics. Last Planner is a planning tool for project control with focus on stakeholder involvement, work flow control and value adding activities through pull planning and lookahead processes (Ballard 2000). ICE sessions are integrated and co-located meeting processes where different disciplines collaborate and make decisions as a team (Fischer et al. 2017), while BIM is the digital and visual representation of what the team is working on with information tied to each building object. BIM is important in ICE sessions to create communication and collaboration between stakeholders, and maturity indexes can be used to attach status to areas or objects in a BIM-model (Svalestuen et al. 2018).

### METRICS

According to Bassioni et al. (2004) there are many performance measurement methods coexisting in the construction industry, such as Balanced Scorecard, just-in-time (JIT), benchmarking and activity-based management. Several studies have suggested parameters and models for performance indicators and benchmarking (Beatham et al. 2004; Chan and Chan 2004; Haponava and Al-Jibouri 2011; Hughes et al. 2004; Yeung et al. 2012). Based on a comprehensive literature review and three case studies Chan and Chan (2004) presented Key Performance Indicators (KPIs) for project success. The KPIs included objective measures like time, cost and accidents but also subjective measures like quality

and satisfaction. Subjective attributes are important to avoid limiting a projects' success assessment to objective metrics (Hughes et al. 2004). A major challenge of KPIs is their product oriented focus, and that most KPIs are "lagging" indicators (Beatham et al. 2004), meaning they are used for post-project evaluation and comparison. Haponava and Al-Jibouri (2011) have proposed a generic system for more process-oriented KPIs in an attempt to address the existing KPIs' main shortcomings. Yeung et al. (2012) have compiled leading and lagging KPIs into a composite performance index (CPI) for benchmarking of construction projects in Hong Kong.

## METRICS IN VDC PROJECTS

Metrics in VDC projects should not only be used to measure project outcome, but should be utilized throughout the whole project duration for continuous improvement of project processes (Knotten and Svalestuen 2014). According to Ahmad et al. (2016) lagging KPIs "are of no or limited use to the concurrent construction projects". Thus the metrics for VDC projects should mainly be active, or "leading", indicators.

Although metrics are more commonly seen in the construction phase, they can also be used to manage projects during the building design phase. Knotten et al. (2015) argue that metrics should be set up to control the quality of design and exchange of information. In a study by Hamzeh et al. (2009), on the Last Planner System metrics in design, it is shown how important it is to have "standardized production planning and control practices as proxies for performance measurement and process improvement". Using simple metrics in the design phase is effective to show the status of a project and can give an indication of where a project needs to pay attention (Knotten and Svalestuen 2014).

Fischer et al. (2017) claim that it is through metrics a project can achieve the project objectives. If put in a Lean framework, for example by the use of PDCA (Plan, Do, Check, Act), metrics can be used to continuously improve project performance. Typical metrics in VDC projects have been PPC (Percentage Plan Complete), meeting satisfaction, decision latency and amount of changes, as well as the project results in terms of cost and duration. However, the challenge is to define meaningful metrics that relate to the project goals and objectives (Fischer et al. 2017).

Several studies have reported on the advantages and limitations of VDC (Gilligan and Kunz 2007; Grindland 2017; Husby 2017; Kam et al. 2013; Olofsson et al. 2007; Redman 2017), yet few have suggested or discussed the most relevant metrics for continuous improvement in VDC projects. The main focus in previous reports has been on metrics for evaluation of the VDC implementation.

The existing literature on metrics in VDC projects is limited, but a small literature review has been conducted of sources related to metrics and VDC combined (Fischer et al. 2017; Fosse et al. 2017; Hamzeh and Aridi 2013; Knotten and Svalestuen 2014; Kunz and Fischer 2009). This paper assumes that the implementation of VDC includes modelling in 3D BIM, some sort of concurrent, co-located design process and a planning tool of the design process similar to Last Planner. The result is a list of suggested metrics for the building design phase of VDC projects, as presented in Table 1. This list is used for the analysis of the empirical results gathered in this study.

Table 1: Design phase metrics from the literature

Metric	Kunz and Fischer (2009)	Hamzeh and Aridi (2013)	Knotten and Svalestuen (2014)	Fischer et al. (2017)	(Fosse et al. 2017)
Percentage Plan Complete (PPC)	X	X	X	X	X
Tasks Anticipated (TA)		X		X	
Tasks Made Ready (TMR)		X		X	
Root causes			X	X	X
Response latency	X			X	
Decision latency	X				
Evaluation of meetings	X		X		X
Amount of quantity take-off (QTO) done in 3D-model vs drawings			X	X	
How many times the BIM was used to review alternative solutions			X		
QTO from 3D-model vs spent materials			X	X	
Meeting participation	X			X	
Clashes identified using 3D- model/clash trends				X	X
Amount of rework	X			X	
Requests for information (RFIs) on site due to design clashes	X			X	

## RESULTS AND DISCUSSION

### METRICS IN THE PILOT CASE STUDY

The case studied has implemented VDC in four elements; Last Planner, ICE, BIM with MMI and metrics, however the metrics were generally only apparent during the ICE sessions. These sessions were held every other week and involved all relevant stakeholders for the agenda. Usually this would include the contractor (Betonmast), client, architect and MEP-engineers. A representative from the contractor functioned as the facilitator.

During the ICE sessions the metrics used were PPC, meeting agenda achieved and root causes of absent or delayed design deliveries/tasks. The root causes were generally lack of capacity, priorities or unfinished tasks upstream that affected the present task. At the end of each session the design team would participate in a “plus/delta” discussion of positive elements of the meeting as well as “elements that could be improved”. They would also answer an anonymous survey about their own and other stakeholders’ preparation for the session, meeting effectiveness and relevance of the agenda.

The metrics were logged, but with varying effort. As a result, it was hard to find apparent trends to the measurements and to use them for future improvements. It would be more interesting to analyze the metrics if more results existed. The informants had different opinions on the value and purpose of metrics, as it was something new to most of them.

Project participants reported that metrics was one of the most challenging aspects of VDC, and selecting the correct metrics for continuous improvement of design processes was difficult. They were skeptical of metrics in general, as they feared the metrics could potentially be ineffective or require too much resources. Having too many and too complex metrics have been shown to potentially be time- and resource-consuming (Chan and Chan 2004). A further analysis on metrics in VDC projects was therefore requested.

## METRICS IN BETONMAST

### RQ1: How are the building design processes measured?

The building design processes have generally not been measured in Betonmast and consequently their experience with measurements is limited. Most measurements that have been done are focused on the construction phase and general project results. This includes measuring cost, schedule and HSE (Health, Safety and Environment), and finding solutions for occurring delays or expenses that exceed the budgeted cost. Thus they are mainly measuring product, not process.

Some informants have participated in other measurements, such as the counting of quality deviations, evaluation of meetings and time spent on meetings, and the use of simple actions like color-coding to emphasize lack of decisions.

Building design meetings have traditionally been conducted based on the report from each previous meeting, with no clear agenda other than to go through the bullet points on the report. This has led to little or no development on each task during meetings.

Several informants expressed that they lack the right tools to measure the building design processes. Presently they have “delivery plans” and “decision plans”. These are plans for the last possible moment to deliver or decide something, and can mainly be used to measure whether or not the design process is on schedule. As seen in the theoretical framework there is a lot of literature on measurements. It is therefore unclear whether the informants lack the time to read published literature or the tools are not the kind of tools they are looking for.

Some of the informants also express that the Betonmast employees to an extent lack experience and understanding of the building design management and design processes. This could be related to many employees being more focused on production than design. However, to produce good design deliveries their understanding of the buildability and what is to be constructed is crucial. They emphasize the importance of managing the design process in an order that corresponds to the construction phase. If they are to use metrics in the design processes, they want simple metrics that contribute to continuous improvement.

### RQ2: Which main design phase challenges can be resolved with metrics?

Based on several interviews the following challenges have been identified as the main challenges in the building design phase for the contractor:

- Lack of decisions, prerequisites or clarifications

- Designing with low buildability or low quality
- “Loops” in the design process with unnecessary rework because of lack of, late or changes in decisions, or unidentified interdependencies
- Stakeholders are not prepared for meetings
- Delayed design deliveries which delay construction
- Minimal understanding of, and respect for other stakeholders needs and/or interdependencies between disciplines
- Communication through email, and sometimes lacking responses
- Tasks at meetings are just discussed, not solved
- Designers prioritizing other projects
- Hard to make schedules for the building design process

These challenges are per now usually solved over time in Betonmast. They let time pass and find solutions as new challenges appear. Some challenges are solved by giving consequences to the stakeholder responsible for a delay or cost overrun, for example to the client for late or changed decisions. Other challenges have been met by following the delivery and decision plans, but it is hard to control and manage the quality of the design work before deadlines.

Most of the challenges are challenges that lead to rework. If designers are asked to start designing without the correct prerequisites they will have to make their own assumptions, which often leads to rework for themselves and other stakeholders. Additionally, if the designers are not communicating with the construction teams, they will potentially design with low buildability and cause loops in the design process.

Other challenges are related to meeting efficiency. Through the implementation of VDC there will be ICE-meetings (or something similar) where stakeholders make decisions and work to develop solutions together. These meetings can be measured, for example by looking at the amount of decisions made or tasks solved. Additionally, one can evaluate each stakeholder’s participation, preparation and efficient time spent in the meeting.

When asked about which of the challenges can be solved through metrics, the informants often expressed a lack of belief in the effect of metrics. They were also worried that metrics would be very time consuming. However, if systems could automatically make measurements it would be beneficial. According to the informants, any implemented metric should contribute to making sure that all necessary design is decided before construction begins, to avoid rework on site and save both time and resources.

If metrics are to be used it is important that they are used diligently, and that they are in some ways standardized within the company so that projects can be compared.

## RQ3: Which metrics should be used in future VDC projects?

The informants expressed different expectations for metrics in the building design phase. Some said they would not use metrics unless they were forced to or had been convinced of the advantages of metrics. Others already saw metrics as very necessary to continuously improve design processes.

From the assumption that Betonmast is interested in a standardized list of metrics for their future VDC projects, the informants produced suggestions of what they considered to be possible metrics. The most frequent suggestions were:

- PPC, Percentage Plan Complete
- TA, Tasks Anticipated
  - How many upcoming tasks were already anticipated and scheduled for the next week on the previous work plan?
- Metrics related to maturity levels of the BIM
  - Number of drawing revisions after maturity levels
  - Whether or not BIM is coordinated across trades
  - % of design that actually corresponds with the construction phase
- Root causes of delays or lack of deliveries
- Consequence (cost or time) of rework/loops
- Amount of changes or rework during building design
- Cost of meetings
  - Could the agenda have been solved differently or for less money?
- Evaluation of meetings
  - Questionnaire to evaluate stakeholder preparation and relevance of agenda
  - Plus/Delta
  - Time spent efficiently/inefficiently
- Cost of solutions vs budgeted cost
- Decision and response latency and decision stickiness

PPC and metrics related to maturity levels can all contribute to keep the project on track and visualize which stakeholders are delaying the project. Improving these metrics will increase design schedule control and delivery reliability. Evaluating TA will improve look ahead planning, by forcing stakeholders to anticipate their needs and interdependencies before upcoming tasks. Root causes are important to identify the trends in delays and loops, and each meeting should be evaluated on cost, relevance and efficiency.

Decisions from the client seems to be a reoccurring challenge and a bottle neck in many projects, thus decision latency and decision stickiness were suggested as metrics to evaluate client decisions.

Several of the suggested metrics correspond to metrics presented in the literature. The informants have suggested a few additional metrics to the ones found in the literature, such as Plus/Delta in meetings and decision stickiness. At the same time some metrics are missing, especially related to the BIM. QTO from 3D-models, using BIM to review alternative solutions and identifying clashes in BIM will all lead to fewer RFIs on site.

A challenging aspect of metrics is to encourage high quality solutions at the same time as metrics are visualizing each stakeholder's performance. Metrics will be a negative if the stakeholders compromise with quality of their work to achieve good metrics results. Nearly

all the suggested metrics are related to productivity or efficiency of process, and do not directly take into account quality of the product. Therefore, it is important to align the metrics with client and project objectives.

## CONCLUSION

Although only experiences from Betonmast have been researched, the results should be transferable to other contractors implementing VDC in their projects.

The recommended metrics for VDC projects are shown in Table 2. The metrics should correspond to project goals and objectives. Most of the VDC projects will be interested in simple metrics that continuously improve their project. These are listed in the column “Basic metrics for all VDC projects”. Seven additional metrics are recommended for projects that have the resources to extend their evaluation and further project improvement, listed in the “Suggestions for supplementary metrics”. The recommended metrics are based on the literature review (“L”) and interviews (“I”) with design managers from the contractor Betonmast.

The use of a model maturity index on the BIM is a prerequisite for some of the metrics. However, if a maturity index is not implemented, these metrics can relate to milestones in the design schedule and BIM based information exchange.

Table 2: Recommended Metrics

Basic metrics for all VDC projects	Suggestions for supplementary metrics
PPC, TA and TMR in meetings [%] (L+I)	Time spent doing QTO [hours] (L)
PPC for each maturity level [%] (L+I)	Cost of design loops [\$] (I)
Number of clashes in BIM after reaching each maturity level [#] (L+I)	Construction cost due to design rework or delay [\$] (I)
Evaluation of meetings [scale 1-4]	Cost of meetings [\$] (I)
Root causes [#] (L+I)	Cost of solutions vs budgeted cost [\$] (I)
Decision latency [hours] and stickiness [#] (L+I)	Correlation between decision stickiness and number and impact of design loops [%] (I)
	Amount of rework per discipline [hours] (L+I)

**PPC** (Percentage Plan Complete) should be measured for tasks at each meeting and for planned deliveries at each maturity level. As a continuation of PPC, **TA** (Tasks Anticipated) and **TMR** (Tasks Made Ready) should be measured, to improve control of the scheduling process and provide a more detailed look ahead plan. TA is the percentage of planned tasks for the next week that were already on the previous work plan, while TMR is the amount of planned tasks that are ready for the next week (Fischer et al. 2017). PPC and TA should be measured in correspondence to the formulas shown in Figure 1.

$PPC = \frac{\text{Completed tasks}}{\text{Planned tasks}} * 100\%$	$TMR = \frac{\text{Tasks ready for next week}}{\text{Total tasks for next week}} * 100\%$
$TA = \frac{\text{Tasks planned for next week on previous work plan}}{\text{Total tasks for next week}} * 100\%$	

Figure 1: Formulas for PPC, TMR and TA

**Number of clashes in BIM after reaching each maturity level** should be measured to indicate and control the quality of the design. This number will visualize the importance of designing in correct order and doing proper controls before each maturity level.

**Evaluation of meetings** should be done after each ICE session to evaluate the stakeholders' perceived efficiency of the meeting, their preparation and the relevance of the agenda. This could be done using an anonymous questionnaire rating each question on a scale from 1-4, with 4 being the best score. Additionally, a discussion should be conducted of "plus/delta". Pluses are positive aspects of the meeting and deltas are areas of improvement. This metric can be used to improve meetings.

**Root causes** for lack of or delayed deliveries or decisions, as well as clashes in BIM should be tracked. The number of appearances of each root cause should also be tracked. Typical root causes could be lack of prerequisites or work capacity.

**Decision latency** (the time from a decision is requested until the client or relevant stakeholder makes a decision) and **decision stickiness** (the number of changes on the same decision) commit the client to making efficient decisions. These metrics require the client to be involved in design processes and evaluations of design. Decision stickiness is also a metric to avoid ambiguity in decisions.

Other suggested metrics include time spent doing QTO (Quantity Take-Off), cost of design loops, construction cost due to design rework or delay, cost of meetings, cost of solutions vs budgeted cost, correlation between decision stickiness and number and impact of design loops and amount of rework per discipline. These metrics are more difficult to measure and require more resources. It is uncertain whether the benefits are worth the effort, but these metrics are believed to be beneficial for continuous improvement. Many of them, such as cost due to design rework and cost of design loops visualize the economic potential of having good design processes.

The empirical results come from researching one Norwegian contractor's experiences with the building design phase and one VDC project. To make the list of suggested metrics more generalizable, more contractors and more projects can be studied. A study of metrics used in the following phases of construction projects can be done to identify metrics suitable for the full VDC project duration.

## REFERENCES

- Ahmad, S. B., Svalestuen, F., Andersen, B., and Torp, O. (2016). "A review of performance measurement for successful concurrent construction." *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 226, 447-454.

- Alarcón, L., Mandujano, R., Maria, G., and Mourges, C. "Analysis of the implementation of VDC from a lean perspective: Literature review." *Proc., IGLC*.
- Ballard, H. G. (2000). "The last planner system of production control." PhD-thesis, University of Birmingham.
- Bassioni, H. A., Price, A. D., and Hassan, T. M. (2004). "Performance measurement in construction." *Journal of management in engineering*, 20(2), 42-50.
- Beatham, S., Anumba, C., Thorpe, T., and Hedges, I. (2004). "KPIs: a critical appraisal of their use in construction." *Benchmarking: an international journal*, 11(1), 93-117.
- Chan, A. P., and Chan, A. P. (2004). "Key performance indicators for measuring construction success." *Benchmarking: an international journal*, 11(2), 203-221.
- Costa, D. B., Formoso, C. T., Kagioglou, M., Alarcón, L. F., and Caldas, C. H. (2006). "Benchmarking initiatives in the construction industry: lessons learned and improvement opportunities." *Journal of Management in Engineering*, 22(4), 158-167.
- Fischer, M., Khanzode, A., Reed, D., and Ashcraft, H. W. (2017). *Integrating project delivery*, John Wiley & Sons Inc., Hoboken, N.J.
- Fosse, R., Ballard, G., and Fischer, M. "Virtual design and construction: Aligning BIM and lean in practice." *Proc., 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC 2017, July 9, 2017 - July 12, 2017*, The International Group for Lean Construction, 499-506.
- Garcia, A. C. B., Kunz, J., Ekstrom, M., and Kiviniemi, A. (2004). "Building a project ontology with extreme collaboration and virtual design and construction." *Advanced Engineering Informatics*, 18(2), 71-83.
- Gerber, D. J., Becerik-Gerber, B., and Kunz, A. "Building information modeling and lean construction: Technology, methodology and advances from practice." *Proc., Proc. 18th Int'l Group for Lean Const*, Citeseer.
- Gilligan, B., and Kunz, J. (2007). "VDC use in 2007: significant value, dramatic growth, and apparent business opportunity." *TR171*, 36.
- Grindland, O. (2017). "Virtual Design and Construction - Implementering og effekter." NTNU.
- Hamzeh, F., and Aridi, O. Z. "Modeling the last planner system metrics: A case study of an AEC company." *Proc., Proceedings of the 21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction IGLC, Fortaleza, Brazil*, 599-608.
- Hamzeh, F. R., Ballard, G., and Tommelein, I. D. "Is the Last Planner System applicable to design?—A case study." *Proc., Proceedings of the 17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC*, 13-19.
- Haponava, T., and Al-Jibouri, S. (2011). "Proposed system for measuring project performance using process-based key performance indicators." *Journal of management in engineering*, 28(2), 140-149.
- Hughes, S. W., Tippett, D. D., and Thomas, W. K. (2004). "Measuring project success in the construction industry." *Engineering Management Journal*, 16(3), 31-37.
- Husby, H. (2017). "Virtual Design and Construction i prosjekteringsprosessen - Videreutvikling og forbedring." NTNU.

- Jovik, L. T. (2012). "Tilrettelegging for god ICE-prosjektering." *Facilitation for improved ICE design*, F. O. Drevland, ed., Institutt for bygg, anlegg og transport, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- Kam, C., Senaratna, D., McKinney, B., Xiao, Y., and Song, M. (2013). "The VDC scorecard: Formulation and validation." *Center for Integrated Facility Engineering: Stanford University*.
- Kam, C., Senaratna, D., Xiao, Y., and McKinney, B. (2013). "The VDC scorecard: evaluation of AEC projects and industry trends." *CIFE, Maharashtra, India*.
- Kang, Y., Dai, J., Mulva, S., and Choi, J. "The 10-10 performance assessment campaign: New theories regarding the benchmarking of capital project performance." *Proc., Construction Research Congress 2014: Construction in a Global Network*, 2335-2344.
- Khanzode, A. (2010). "An integrated, virtual design and construction and lean (IVL) method for coordination of MEP." *Unpublished Technical Report*, 187.
- Khanzode, A., Fischer, M., Reed, D., and Ballard, G. (2006). "A guide to applying the principles of virtual design & construction (VDC) to the lean project delivery process." *CIFE, Stanford University, Palo Alto, CA*.
- Knotten, V., and Svalestuen, F. "Implementing Virtual Design and Construction (VDC) In Veidekke—Using Simple Metrics To Improve The Design Management Process." *Proc., IGCLC*.
- Knotten, V., Svalestuen, F., Hansen, G. K., and Lædre, O. (2015). "Design management in the building process—a review of current literature." *Procedia Economics and Finance*, 21, 120-127.
- Kunz, J., and Fischer, M. (2009). "Virtual design and construction: themes, case studies and implementation suggestions." *Center for Integrated Facility Engineering , Stanford University*.
- Mandujano, R., Maria, G., Alarcón, L., Kunz, J., and Mourges, C. (2015). "Use of virtual design and construction, and its inefficiencies, from a lean thinking perspective."
- Olofsson, T., Lee, G., Eastman, C., and Reed, D. (2007). "Benefits and lessons learned of implementing building virtual design and construction (VDC) technologies for coordination of mechanical, electrical, and plumbing."
- Redman, A. (2017). "Bruk av VDC og 4D i Skanska-prosjekter - Innføring av 4D-modellering i eksisterende VDC-rammeverk." F. O. Drevland, and R. Fosse, eds., NTNU.
- Svalestuen, F., Knotten, V., Lædre, O., and Lohne, J. (2018). "Planning the building design process according to Level of Development."
- Thodesen, S. (2018). "Produktivitetsfall i bygg og anlegg." <<https://www.ssb.no/bygg-bolig-og-eiendom/artikler-og-publikasjoner/produktivitsfall-i-bygg-og-anlegg>>. (11.02, 2019).
- Yeung, J. F., Chan, A. P., Chan, D. W., Chiang, Y., and Yang, H. (2012). "Developing a benchmarking model for construction projects in Hong Kong." *Journal of construction engineering management*, 139(6), 705-716.

# Intervjuguide

## Generelt

Mitt navn er Matilde Reinholdt Belsvik og jeg er masterstudent på Bygg- og Miljøteknikk ved NTNU i Trondheim. Dette semesteret skal jeg skrive en prosjektoppgave innen prosjektledelse og anleggsteknikk, om VDC i byggebransjen. Prosjektoppgaven har et omfang på 7,5 studiepoeng, og vil mest sannsynlig videreføres i en masteroppgave våren 2019.

## Bakgrunn for intervjuet

Bruk av VDC er en stadig økende trend i den norske byggebransjen for å effektivisere prosjektene. En bedrift som implementerer VDC for første gang kan møte mange utfordringer som følge av implementeringen. Det vil være interessant å se på hvordan bedrifter bruker VDC og hvordan bruken kan utvikles og forbedres.

Oppgaven skal omhandle implementeringen av VDC i prosjekteringsfasen på caseprosjektet Drammen stasjon. Det er ønsket å kartlegge erfaringer fra sentrale personer knyttet til denne fasen av prosjektet, både prosjektdeltakere fra BetonmastHædre og eksterne prosjekterende.

Formålet med intervjuet er å få svar på følgende problemstillinger:

1. Hvordan implementeres VDC på caseprosjektet Drammen stasjon?
2. Hvilken effekt har bruken av VDC fått på caseprosjektet?
3. Hvordan bør BetonmastHædre implementere VDC ved senere prosjekter?

## Detaljer rundt intervjuet

For å få mest mulig ut av intervjuet og unngå mistolkninger blir samtalen tatt opp, samtidig som det noteres. Lydopptaket vil transkriberes i etterkant av samtalen. Deretter vil en sammenfatning av samtalen sendes på mail til intervjudeltaker for eventuelle kommentarer.

Intervjuet vil være semi-strukturert, og spørsmålene er kun et hjelpemiddel for å besvare problemstillingene. Det kan hende noen spørsmål ikke stilles eller at nye spørsmål kommer til avhengig av hvordan samtalen flyter.

# Vedlegg B – Intervjuguide pilotstudie

## Intervjuspørsmål

*Generelt:*

1. Hvorfor ble det valgt å benytte VDC på prosjektet?
2. Har du erfaring med VDC fra tidligere prosjekt?
3. Fikk du en god innføring i VDC før prosjekteringsstart?

*Last Planner:*

1. Hvordan implementerer dere Last Planner i prosjekteringen?
  - i. Hva er målene ved implementeringen av Last Planner?
  - ii. Hvordan opplever du Last Planner-møtene? I forhold til tradisjonelt?
  - iii. Hvilke aktører anser du som en viktig del av Last Planner?
2. Hvilken effekt har bruken av Last Planner fått for prosjektet?
  - i. Hvordan har bruken av Last Planner påvirket ditt arbeid?
  - ii. Hva er fordelene med Last Planner i prosjekteringen?
  - iii. Hvilke utfordringer har du opplevd med Last Planner?
  - iv. Hvordan påvirker Last Planner din egen arbeidsmengde?
  - v. I hvilken grad gir Last Planner en bedre oversikt over prosjekteringsfasen?
3. Er det noe du mener bør endres?

*ICE:*

1. Hvordan implementerer dere ICE-møter i prosjekteringen?
  - i. Hva er målene ved implementeringen av ICE?
  - ii. Hvordan opplever du ICE-møtene? I forhold til tradisjonelle p-møter?
  - iii. Hvilke aktører anser du som en viktig del av ICE-møtene?
2. Hvilken effekt har bruken av ICE-møter fått for prosjektet?
  - i. Hvor effektive er ICE-møtene for deg?
    - a. Oversikt over eget arbeid?
    - b. Input på egne arbeid?
    - c. Tilgang på underlag fra andre aktører?
    - d. Påvirkning på andre prosesser?
  - ii. I hvilken grad har arbeid utenom ICE-møtene blitt påvirket? Arbeidsmengde?
  - iii. Hvor godt forberedt er du til ICE-møtene?
  - iv. Hvor godt forberedt opplever du at de andre deltakerne er?
  - v. Hva har vært fordeler og ulemper knyttet til ICE-møtene?

## Vedlegg B – Intervjuguide pilotstudie

3. Er det noe du mener bør endres?

*BIM:*

1. Hvordan implementerer dere BIM-modellen i prosjekteringsfasen?
  - i. Hva er målene ved bruk av BIM?
  - ii. Hvordan har implementeringen av VDC påvirket bruken av modellen?
2. Hvilken effekt har bruken av BIM fått for prosjektet?
  - i. Hvordan påvirker bruken av BIM i ICE-møter koordinering og samhandling mellom aktørene? Kollisjonskontroll?
  - ii. I hvilken grad føler du at prosjektet utnytter mulighetene med BIM?
  - iii. Hvordan opplever du bruken av modenhetsindeksen, MMI?
3. Er det noe du mener bør endres?

*Metrics:*

1. Hvordan måler dere prosjektet?
  - a. Hvordan er bruken av målinger annerledes enn i tradisjonelle prosjekter?
2. Hvilken effekt har bruken av Metrics fått for prosjektet?
  - a. Fordeler/Ulempor?
  - b. I hvilken grad motiverer målingene deg i prosjekteringsprosessen?
3. Er du noe du mener bør endres?

*Avslutning:*

1. Har bruken av VDC endret kulturen i prosjektgruppen? Hvordan?
2. Mener du VDC omfatter mer enn de 4 metodikkene vi har snakket om?
3. Noe annet du ønsker å snakke om?

# Intervjuguide

## Generelt

Mitt navn er Matilde Reinholdt Belsvik og jeg er masterstudent på Bygg- og Miljøteknikk ved NTNU i Trondheim. Dette semesteret skriver jeg en masteroppgave om målinger i VDC-prosjekter, med et omfang på 30 studiepoeng.

## Bakgrunn for intervjuet

Implementering av Virtual Design og Construction (VDC) er en stadig økende trend i den norske byggebransjen, og målinger er et sentralt aspekt ved VDC for å optimalisere og effektivisere prosjektene. Samtidig er målinger lite utbredt i tradisjonelle prosjekter, og det er vanskelig å definere målinger som både er gjennomførbare og tilfører prosjektene verdi.

Denne masteroppgaven omhandler målinger av prosjektering i Betonmast og baserer seg på et pilotstudium om implementeringen av VDC på caseprosjektet Drammen stasjon Business Center (DBC). Oppgaven skal kartlegge erfaringer med målinger fra sentrale personer knyttet til prosjekteringsfasen, både prosjektdeltakere i caseprosjektet og øvrige i Betonmast, samt komme med en anbefaling om hva som bør måles i VDC-prosjekter.

Formålet med intervjuene er å få svar på følgende forskningsspørsmål:

1. Hvordan måles prosjektering i Betonmast?
2. Hva er erfaringer med målinger i Betonmast?
3. Hvilke hovedutfordringer kan møtes ved å måle prosjektering?
4. Hva bør måles i fremtidige VDC-prosjekter?

## Detaljer rundt intervjuet

For å få mest mulig ut av intervjuet og unngå mistolkninger blir samtalet tatt opp, samtidig som det noteres. Lydopptaket vil transkriberes i ettermåltidet. Deretter vil en sammenfatning av samtalet sendes på mail til intervjudeltaker for eventuelle kommentarer.

Intervjuet vil være semi-strukturert, og spørsmålene er kun et hjelpemiddel for å besvare forskningsspørsmålene. Det kan hende noen spørsmål ikke stilles eller at nye spørsmål kommer til avhengig av hvordan samtalet flyter.

## Vedlegg C – Intervjuguide masteroppgave

### Intervjuspørsmål

1. Hvordan måles prosjektering i Betonmast i dag?
  - i. Hva måles?
  - ii. Hvor mye tid brukes på målinger?
  - iii. Hvilke aktører legger ned innsats i målingene?
  - iv. Hvem har nytte av målingene? (Betonmast/andre aktører?)
2. Hvordan oppleves målingene?
  - i. Hva som måles
  - ii. Tidsbruk
  - iii. Aktørenes innsats
  - iv. Hva er fordeler med å måle i prosjektene?
  - v. Hva er ulemper, eller utfordringer, med å måle?
3. Hva er hovedutfordringene i prosjekteringsfasen?
  - i. Hvordan håndterer dere disse utfordringene?
  - ii. Hvilke utfordringer kan møtes ved å måle prosjektene?
4. Hvordan bør prosjekteringsarbeidet i VDC-prosjektene måles?
  - i. Hva bør måles?
  - ii. Hvor mye tid bør brukes på målinger?
  - iii. Hvor mye innsats bør de ulike aktørene legge i målingene?
  - iv. Hvem skal ha nytte av målingene? (Betonmast/andre aktører?)
  - v. I hvilke faser er det nyttig å måle? Hvorfor?