



Universitetet
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

MASTEROPPGAVE

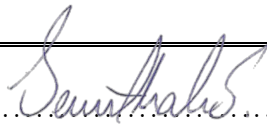
Studieprogram/spesialisering:

Industriell Økonomi

Vårsemesteret, 2020

Åpen / ~~Konfidensiell~~

Forfatter: Senthalan Sellathurai


.....
(signatur forfatter)

Veileder(e): Atle Øglend

Tittel på masteroppgaven: utfordringer og muligheter ved implementering av BIM og Lean i byggeprosjekter

Engelsk tittel: Challenges and opportunities in implementing BIM and Lean in construction projects

Studiepoeng: 30

Emneord:

Building Information Modeling (BIM)
4D-BIM
Lean Construction
Last Planner® System

Sidetall: 89

+ vedlegg/annet: 6

Stavanger, 15.07.2020
.....
dato/år

Utfordringer og muligheter ved implementering av BIM og Lean i byggeprosjekter



Universitetet
i Stavanger

Senthalan Sellathurai

15. juli 2020

Industriell Økonomi: Prosjektledelse med bygg

Institutt for sikkerhet, økonomi og planlegging

Det teknisk-naturvitenskaplige fakultet

Universitetet i Stavanger

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet ved Institutt for sikkerhet, økonomi og planlegging, under Det teknisk-naturvitenskapelige fakultet, og markerer slutten på et 2-årig masterstudium. Rapporten er et selvstendig arbeid som er skrevet i løpet av våren 2020.

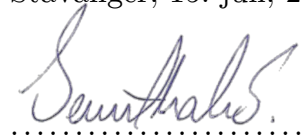
Oppgaven har et formål om å kartlegge utfordringer og muligheter ved implementering av BIM og Lean i byggeprosjekter. Det har blitt valgt å studere to byggeprosjekter, henholdsvis SUS2023 i Stavanger og Livsvitenskapsbygget i Oslo.

Jeg vil først og fremst rette en stor takk til alle intervjuobjekter som har tatt seg tid til å la seg intervju og dele sine erfaringer. En spesiell takk rettes til Even Kravik fra SV Betong og Hans Thomas Holm fra Statsbygg som har hjulpet til med koordineringen av intervjuobjekter.

Jeg vil også rette en stor takk til min veileder, Atle Øglend, for ha vært tilgjengelig når det har vært nødvendig og for nyttige innspill og tilbakemeldinger.

Til slutt vil jeg rette en takk til familie, venner og alle mennesker som har gjort studietiden i Stavanger til en utrolig opplevelse og et minne for livet.

Stavanger, 15. juli, 2020



Senthalan Sellathurai

Sammendrag

Byggebransjen har lenge prøvd å gjøre noe med produktivitetsnedgangen den har vært vitne til. Derfor har man nå introdusert bransjen til forbedringsprosesser som BIM og Lean Construction. Av den grunn er det ønskelig i denne oppgaven å utforske implementering av disse prosessene i byggebransjen. Oppgaven skal derfor forsøke å besvare følgende problemstilling: **Utfordringer og muligheter ved implementering av BIM og Lean i byggeprosjekter**. For å kunne besvare problemstillingen på en systematisk måte, har det blitt valgt å diskutere 4 forskningsspørsmål:

- Hva er premissene for implementering av BIM og Lean?
- Hva er premissene for at 4D-BIM skal bli benyttet mer aktivt, og hvilke fordeler gir det?
- Hva er premissene for å taktplanlegge grunn- og betongarbeid, og hvilke fordeler gir det?
- Hvordan benyttes BIM og Lean om hverandre, og hvilke fordeler gir det?

For å kunne besvare disse spørsmålene har det blitt gjort en litteraturstudie og gjennomført syv kvalitative intervjuer. Intervjuobjektene er innehavere av ulike roller i to forskjellige byggeprosjekter, SUS2023 i Stavanger og Livsvitenskapsbygget i Oslo, både på entreprenørsiden, prosjekteringssiden og på byggherresiden. Resultatene i oppgaven er derfor basert på en litteraturstudie og disse syv intervjuene.

BIM har nå lenge vært brukt blant aktører i byggebransjen, og beskrives som et paradigmeskift i bransjen. Verktøyet brukes i en økende grad og man begynner nå å ta i bruk flere dimensjoner av modellene. 4D-BIM gir muligheten til å digitalisere fremdriftsplaner som kan øke dens transparens ved hjelp av visualisering. Lean er et konsept som stammer ifra bilindustrien og TPS. Denne filosofien har nå blitt introdusert i byggebransjen ved navnet Lean Construction. Lean har et formål om å forbedre samarbeid, oppnå flyt og redusere sløsing. Dermed ønskes denne filosofien å

implementeres i byggebransjen med et formål om å effektivisere bransjen. BIM og Lean er altså to separate initiativ som ikke er avhengige av hverandre. Vi ser derimot at ved å implementere de samtidig, så kan man oppnå synergier som kan være med på å ytterligere forbedre informasjonshåndteringen og samarbeidet i byggeprosjektene.

Prosjektene som har blitt valgt å gå i dybden på i denne oppgaven er begge i tidligfase, det vil si at de er i grunn- eller betongarbeidet. Det har gjennom intervjuene vist seg at det er flere uforutsette ting som kan oppstå i denne fasen av et prosjekt. Dermed vil det være utfordrende å få til en taktplanlegging av fremdriften. Det krever at man er systematiske og strukturerte. Planleggingen kan øke i kvalitet ved å benytte seg av Last Planner System. I tillegg kan BIM benyttes for å visualisere og sørge for at aktiviteter blir enklere å forstå og for å minske variasjon i arbeidet.

Det viser seg at det i dag er krevende å holde en 4D-modell vedlike gjennom hele prosjektet. Fremdriftsplaner blir laget av anleggsledere, mens 4D-simuleringer blir laget av BIM-koordinatorer, følgelig vil det være både tid- og ressurskrevende å holde modellen vedlike. Av den grunn har 4D-modellen kun blitt benyttet ved noen anledninger for å kunne støtte opp i bestemmelser av byggerekkefølge og planlegging av rigg og drift.

Ved implementering av BIM og Lean vil det oppstå synergier som kan være med på å effektivisere et byggeprosjekt. Synergier som tidlig involvering av aktører, visualisering og økt samarbeid er observert i begge prosjektene. Derimot så har man ikke opplevd en større fleksibilitet eller en nevneverdig reduksjon av inventar i prosjektene.

For å få til en vellykket implementering av BIM og Lean må man høste gode erfaringer slik at aktører på alle nivåer i byggebransjen ønsker å benytte seg av både metoden og verktøyet. Erfaringer henger godt sammen med kunnskapen man har til prosessene.

Man må få til en bottom-up-bevegelse som er engasjement, motivasjon og vilje. Hvis deltakerne forstår fordelene og formålet med å benytte seg av prosessene, ønsker de også å gjøre det.

Gjennom oppgaven kommer det frem flere muligheter og utfordringer ved implementeringen av BIM og Lean. Man ser derimot at det ligger mye verdi i mulighetene som gjør at det er ønskelig å benytte seg av BIM som verktøy og Lean som metodikk i de overnevnte prosjektene og i fremtidige byggeprosjekter.

Summary

The construction industry has long been trying to counteract the productivity decline it has witnessed. Therefore, the industry has been introduced to processes such as BIM and Lean construction. For this reason, it is desirable in this thesis to explore the implementation of these processes in the industry. Thus, this thesis will try to answer the following problem: **Challenges and opportunities in implementing BIM and Lean in construction projects**. In order to be able to answer this problem in a systematic way, it has been chosen to discuss four research questions:

- What are the premises for implementing BIM and Lean?
- What are the premises for using 4D-BIM more actively, and what benefits does it offer?
- What are the premises for takt time planning of the foundation work and concrete work, and what are the benefits?
- How are BIM and Lean used together, and what are the advantages?

In order to answer these questions, a literature study was done, and seven qualitative interviews were conducted. The interview objects hold different roles in two different construction projects, SUS2023 in Stavanger and the Livsvitenskapsbygget in Oslo, both on the contractor side, the design side and the developer side. The results of the thesis are therefore based on a literature study and these seven interviews.

BIM has long been used by participants in the construction industry and is described as a paradigm shift in the industry. The tool is being used more increasingly in the construction industry and several dimensions of the models are now being used. 4D-BIM gives the opportunity to digitize the progress plan, which can increase its transparency through visualization. Lean is a concept derived from the automotive industry and TPS. This philosophy has now been introduced in the construction industry as Lean Construction. Lean aims to improve cooperation, bring about flow and reduce waste. Hence, this philosophy is

desired to be implemented in the construction industry with the aim of making the industry more efficient. BIM and Lean are two separate initiatives that do not depend on each other. On the other hand, we see that by implementing them simultaneously, synergies can be achieved, which can improve information management and cooperation in the construction projects further.

The projects that have been studied in-depth in this assignment are both in the early phase, i.e. in the foundation- or concrete work. Throughout the interviews, it has become clear that there are several unforeseen things that can occur during this phase of a project. Consequently, it will be challenging to take time plan the construction schedule. It requires a systematic and structured approach. The planning can be improved by using the Last Planner System. In addition, BIM can be used to visualize and make activities easier to understand and to reduce variation in the work done.

At this time, it has been challenging to keep a 4D-model maintained throughout the project. Construction schedules are made by construction managers, while the 4D-simulations are made by BIM-coordinators, consequently it will be both time and resource consuming to keep the model maintained. For this reason, the 4D-model has only been used on a few occasions as a reassurance in the decision of the construction order and in the planning of rig and operation.

While implementing BIM and Lean, synergies that increase the efficiency of construction projects occurs. Synergies such as early involvement of participants, visualization and increased collaboration have been observed in both projects. On the other hand, there has not been experienced an improved flexibility or a significant reduction in the inventory used in the projects.

In order to achieve a successful implementation of BIM and Lean, good experiences must be gained so that participants at all levels in the construction industry want to use both the method and the tool. Experience is well connected with the knowledge you have of the processes. One must try to create a bottom-up movement, i.e. commitment, motivation and

will. If participants understand the benefits and purpose of using the processes, they also want to do so.

The thesis presents several opportunities and challenges in the implementation of BIM and Lean. On the other hand, you see that there is a lot of value in the opportunities that encourages the use of BIM as a tool and Lean as a methodology in the projects mentioned and in future construction projects.

Innholdsfortegnelse

Forord	i
Sammendrag	iii
Summary	vi
Innholdsfortegnelse	x
Figurliste	xiv
Tabelliste	xv
Akronymer	xvi
Kapittel 1: Introduksjon	1
1.1 Formål og problemstilling	1
1.2 Avgrensninger	2
1.3 Oppgavens utforming	3
1.4 Deklarasjon	4
Kapittel 2: Metodebeskrivelse	5
2.1 Metode	5
2.1.1 Kvalitativ og kvantitativ forskningsmetode	5
2.1.2 Induktiv og deduktiv tilnærming	6
2.2 Anvendte metoder	6
2.2.1 Litteraturstudie	6
2.2.2 Kvalitative intervjuer	8
2.2.3 Intervjuobjekter	9

2.3	Metodekvalitet	9
2.3.1	Reliabilitet	10
2.3.2	Validitet	10
2.3.3	Styrker og svakheter ved metodene	11
Kapittel 3: Lean Construction		12
3.1	Historien bak Lean filosofien	12
3.2	Hovedprinsippene innen Lean filosofien	13
3.3	The seven wastes	16
3.4	Lean Construction	19
3.5	Last Planner [®] System (LPS)	20
3.5.1	Plannivåer i Last Planner System	21
3.5.2	Pull-Planning	23
3.5.3	Prosent planlagt utført (PPU)	25
3.5.4	Sunne aktiviteter	25
3.6	Taktplanlegging	27
3.6.1	Utvikling av en taktplan	28
3.6.2	Taktkontroll	31
3.6.3	Fordeler ved bruk av taktplanlegging	34
Kapittel 4: Building Information Modeling (BIM)		35
4.1	Hva er BIM?	35
4.2	Historien bak BIM	36
4.3	Lukket- og åpenBIM	37
4.4	Bruksområder til BIM	39
4.5	Hva er et BIM-prosjekt?	41
4.6	MMI – Modell Modenhets Indeks	42

4.7	BIM-kiosk	45
4.8	Fordeler og utfordringer ved bruk av BIM	46
Kapittel 5: Synergier mellom Lean og BIM		49
5.1	Visualisering	49
5.2	Fleksibilitet	50
5.3	Samarbeid	50
5.4	Tidlig involvering av aktører	50
5.5	Reduksjon av inventar	51
Kapittel 6: Prosjektbakgrunn		52
6.1	SUS2023 – Stavanger Universitetssjukehus på Ullandhaug	52
6.2	Livsvitenskapsbygget – Universitetet i Oslo	54
Kapittel 7: Resultater		55
7.1	Kunnskap og holdninger til bruken av BIM	55
7.2	Kunnskap og holdninger til bruken av Lean	56
7.2.1	Lean som pålagt gjennomføringsstrategi	57
7.2.2	Suksessfaktorer og barrierer for vellykket implementering av Lean	57
7.3	Bruk av BIM	59
7.3.1	Fordeler ved bruk av BIM	59
7.3.2	Fordeler ved bruk av 4D-BIM	61
7.3.3	Utfordringer ved bruk av BIM	62
7.3.4	Utfordringer i bruk av 4D-BIM	63
7.3.5	Tiltak som må til for at BIM skal bli benyttet mer aktivt	64
7.4	Bruk av Lean	65
7.4.1	Metoder	65
7.4.2	Fordeler og utfordringer ved bruk av taktplanlegging	66

7.4.3	Taktplanlegge grunn- og betongarbeid	68
7.5	Synergier mellom Lean og BIM	69
7.5.1	Samarbeidet mellom aktørene	70
7.5.2	Tidlig involvering av aktører	71
Kapittel 8: Diskusjon		72
8.1	Hva er premissene for implementering av BIM og Lean	72
8.2	Hvilke muligheter og utfordringer gir bruken av 4D-BIM, og hva er premissene?	73
8.3	Hva er premissene for å taktplanlegge grunn- betongarbeid, og hvilke fordeler gir det?	75
8.4	Hvordan benyttes BIM og Lean om hverandre, og hvilke fordeler gir det?	77
Kapittel 9: Konklusjon		80
9.1	Videre arbeid	83
Bibliografi		84
Vedlegg A: Intervjuguide		I

Figurliste

Figur 2.1: Strategi for litteratursøk	8
Figur 3.1: Hovedprinsippene innenfor Lean (Do, 2017)	14
Figur 3.2: «The seven wastes» (Skhmot, 2017)	16
Figur 3.4: The Last Planner System (Ballard G. , 2000)	20
Figur 3.5: Elementene i Last Planner System (Richert, 2017).	21
Figur 3.6: Pull-planning ved hjelp av Post-it lapper (Cnstrctr, u.d.)	23
Figur 3.7: De syv forutsetningene for en sunn aktivitet, basert på (Koskela, 2000).	26
Figur 3.8 Illustrasjon av takttoget (Khattak & Sarwar, 2014).	27
Figur 3.9 Fremgangsmåte for taktplanleggingen, basert på (Frandsen et al., 2013)	30
Figur 4.1: Eksempel på en BIM-modell (BIM4ALL, 2020)	36
Figur 4.2: Illustrasjon av BIM-trekanten, basert på (Statsbygg, 2010).	38
Figur 4.3: Oversikt over dimensjonene i BIM, basert på (Hengsberger, 2019).	39
Figur 4.4: Informasjons- og kommunikasjonsutveksling i tradisjonelle prosjekter vs. BIM-prosjekter, basert på (buildingSMART, 2013).	42
Figur 4.5 Prosjekteringsaktiviteter med gitt MMI-verdi (Fløisbonn et al, u.d.)	42
Figur 4.6 BIM-kiosk bygget i en innkassing montert på hjul (Statsbygg & KHiB team, 2018)	45
Figur 6.1 Stavanger Universitetssjukehus prospekt (Aktiv HMS, u.d.)	52
Figur 6.2 Livsvitenskapsbygget prospekt (uio.no, 2018)	54
Figur 7.1 Eksempel på armeringstegning i 3D og 2D, tilsendt av intervjuobjekt.	59

Tabelliste

Tabell 1.1 Forskningsspørsmålene i oppgaven	2
Tabell 1.2 Oppgavens utforming	3
Tabell 2.1: Oversikt over treff i litteratursøk gjennomført i Oria og Google Scholar	7
Tabell 2.2: Oversikt over intervjuobjekter	9
Tabell 3.1: Beskrivelse av de fem prinsippene, basert på (Womack et al., 1990)	14
Tabell 3.2: Beskrivelse av de åtte kildene for sløsing, basert på (Skhmot, 2017)	16
Tabell 3.3: Beskrivelse av de fem elementene, basert på (Richert, 2017).	21
Tabell 3.4: Beskrivelse av elementene i Pull-planning.	24
Tabell 3.5: Beskrivelse av de syv forutsetningene som omtegner en sunn aktivitet, basert på (Koskela, 2000).	25
Tabell 3.6 Fremgangsmåte for taktplanlegging, basert på (Frandsen et al., 2013)	28
Tabell 3.7 Korrektive tiltak, basert på (Frandsen, 2017)	31
Tabell 3.8 Fordeler ved bruk av taktplanlegging funnet i litteraturen	34
Tabell 4.1: Hovedelementene i BIM-trekanten, basert på (buildingSMART, u.d.)	38
Tabell 4.2: Beskrivelse av dimensjonene	40
Tabell 4.3 Beskrivelse av MMI-status, basert på Fløisbonn et al, (u.d.)	43
Tabell 4.4: Fordeler ved innføring av BIM	46
Tabell 4.5: utfordringer ved innføring av BIM	47

Akronymer

BIM	Building Information Modeling
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method
IDM	Information Delivery Manual
IFC	Industry Foundation Classes
IFD	International Framework for Dictionaries
LCI	Lean Construction Institute
LPS	Last Planner System
MMI	Modell Modenhets Indeks
RIB	Rådgivende ingeniør bygg
TPS	Toyota Production System

Kapittel 1: Introduksjon

BIM og Lean er dagsaktuelle temaer i byggebransjen og etterspørres i større grad enn tidligere. Større aktører krever bruk av BIM på deres prosjekter og stadig flere velger Lean som gjennomføringsstrategi i sine prosjekter. Derfor vil det være nyttig å se på hvilke muligheter og utfordringer en kan oppnå ved implementering av BIM og Lean i byggeprosjekter.

SUS2023 og Livsvitenskapsbygget er muligens to av de største pågående byggeprosjektene i Norge i dag. Begge prosjektene har valgt å benytte Lean som gjennomføringsstrategi og bruker BIM aktivt. Dermed vil det være spennende å se hvordan implementeringen blir gjort i disse to prosjektene. Selv om svarene i oppgaven baserer seg på resultater fra to spesifikke prosjekter, kan disse funnene grovt sett overføres til andre prosjekter som ønsker eller benytter seg av de samme metodene. Dermed kan andre også ta lærdom av funnene i denne oppgaven.

1.1 Formål og problemstilling

Formålet i oppgaven er å bruke funn fra litteraturstudie og kvalitativ metode til å evaluere utfordringer og muligheter ved implementering av BIM og Lean. Problemstillingen til oppgaven lyder som følger:

Utfordringer og muligheter ved implementering av BIM og Lean i byggeprosjekter.

For å kunne besvare problemstillingen i oppgaven på en systematisk måte, så har det blitt utarbeidet fire forskningsspørsmål som blir presentert i påfølgende tabell (**Tabell 1.1**).

Tabell 1.1 Forskningsspørsmålene i oppgaven

FS1:	Hva er premissene for implementering av BIM og Lean?
FS2:	Hva er premissene for at 4D-BIM skal bli benyttet mer aktivt, og hvilke fordeler gir det?
FS3:	Hva er premissene for å taktplanlegge grunn- og betongarbeid, og hvilke fordeler gir det?
FS4:	Hvordan benyttes BIM og Lean om hverandre, og hvilke fordeler gir det?

1.2 Avgrensninger

Begrensninger i oppgaven vil være blant annet tidsperspektivet til oppgaven. Da en er nødt til å begrense antall casestudier og intervjuer for å få et håndterbart omfang. Det har blitt valgt ut to spesifikke byggeprosjekter som man går i dybden på. Det burde her vært en bedre balanse med like mange intervjuobjekter i de samme stillingene fra begge prosjektene. Dessuten vil interne ressurser i et prosjekt eller entreprenører i et prosjekt ikke nødvendigvis fortelle den fulle sannheten hvis det setter bedriften eller prosjektet i et dårlig lys. Dermed vil svarene muligens ikke gi det beste grunnlaget å sammenligne prosjektene opp mot hverandre. Det har heller ikke vært mulig opparbeide erfaringer ved fysiske befaringer av byggeprosjektene grunnet Covid-19.

1.3 Oppgavens utforming

Oppgaven består av ni kapitler og avsluttes med en bibliografi og vedlegg. Tabellen nedenfor vil beskrive innholdet i hvert kapittel.

Tabell 1.2 Oppgavens utforming

Kapittel	Kapittelets kontekst
1. Introduksjon	Dette kapittelet gir en introduksjon til bakgrunnen, tema for oppgaven, samt dens avgrensninger, oppbygning og til slutt en deklarasjon.
2. Metode	I dette kapittelet vil det bli gjort rede for vanlige forskningsmetoder. Videre vil det bli beskrevet hvilke metoder som anvendes i denne oppgaven og vurderingene som ligger til grunn for valg av metoder.
3. Lean Construction	I dette kapittelet vil det bli presentert hvordan byggindustrien har tatt i bruk prinsippene i produksjonssystemet Toyota Production System og omgjort prinsippene til filosofien i Lean Construction. Det vil i tillegg blitt presentert grunnleggende prinsipper i Lean og to forskjellige Lean metodikker.
4. Building Information Modeling (BIM)	I dette kapittelet vil definisjonen av BIM bli presentert, samt historien bak og bruksområder til BIM. Til slutt vil det bli gitt en oversikt over fordeler og ulemper ved bruk av BIM.
5. Synergier mellom Lean og BIM	I dette kapittelet vil det bli trukket frem synergier mellom Lean og BIM som har blitt funnet i de to foregående kapitlene.
6. Prosjektbakgrunn	Her vil de to valgte prosjektene bli presentert med både bakgrunn og faktaopplysninger.

7. Resultater	I resultatkapittelet vil det bli presentert funn fra intervjuene. Intervjuobjektene består av ulike aktører fra begge prosjektene.
8. Diskusjon	Her vil forskningsspørsmålene i oppgaven bli drøftet med bakgrunn i litteraturen i teorikapitlene og funnene fra resultatkapittelet.
9. Konklusjon	I dette kapittelet vil oppgavens konklusjon bli presentert. Konklusjonen oppsummerer oppgaven og besvarer oppgavens problemstilling. I tillegg vil det bli gitt et forslag til videre arbeid.
Bibliografi	Her vil en oversikt over all litteratur benyttet i oppgaven bli presentert.
Vedlegg	Det vil kun være ett vedlegg til denne oppgaven: intervjuguiden som ble benyttet under intervjuene.

1.4 Deklarasjon

Funnene gjort i casestudiet og i litteraturstudiet er basert på undertegnede tolkninger. Derfor vil innholdet i resultat-, diskusjons-, og konklusjonsdelen være basert på disse tolkningene. Det kan derfor hende at det har blitt gjort feiltolkninger av de empiriske dataene som er opparbeidet gjennom litteraturstudie og intervjuene. Dermed kan ikke intervjuobjektene som har vært med i studien stilles ansvarlig for innholdet i oppgaven.

Kapittel 2: Metodebeskrivelse

2.1 Metode

I dette kapitlet vil metodene som er benyttet i denne masteroppgaven bli beskrevet. Formålet er å fremme forskningsmetodene som blir brukt til informasjonsinnhenting for å kunne besvare på problemstillingen. Leseren skal da kunne vurdere grunnlaget som resultatet er utformet på. Det vil også bli gjort beskrivelser av andre metoder som ikke har blitt brukt og vurderinger vedrørende dette.

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

2.1.1 Kvalitativ og kvantitativ forskningsmetode

Metodene som benyttes kan enten være kvalitative eller kvantitative. Kvalitative metoder brukes når hensikten er å studere eller gå i dybden av en idé, en case eller en teori (Holme, Solvang, & Nilsson, 1997). Ved bruk av kvalitative metoder er målet å tilegne seg en god helhetsforståelse. Dette oppnås ved å undersøke og analysere data fra intervjuer, observasjoner, dokumentanalyser og casestudier.

Kvantitativ forskning tar utgangspunktet i store mengder data som ofte presenteres i tabeller, figurer og statistikk. Denne metoden kan benyttes dersom det eksisterer store mengder forskningsdata, sekundærdata eller empirisk data man samler inn selv (ettikom, 2010). Kvantitative metoder er avhengig av gode tolkninger da dataen kun blir presentert gjennom dataanalyser av tall og statistikk. Kvantitative studier kan være vanskelig å gjennomføre på byggeprosjekter, da ingen prosjekter er like.

Kvantitativ forskningsmetode vil ikke bli benyttet i denne oppgaven fordi det ikke er nok tilgjengelig data innenfor temaet for å kunne besvare forskningsspørsmålet.

2.1.2 Induktiv og deduktiv tilnærming

Vitenskapelig metode er en kontinuerlig prosess, og måten man velger å besvare hypotesene sine på avhenger av hvor godt dataene henger sammen med forutsigelsene. Det skilles derfor mellom uttrykkene induksjon og deduksjon. Begrepene forteller hvordan slutninger blir tatt på bakgrunnen av en logisk analyse (Tranøy, 2019). I en deduktiv metode går man ut ifra en teori og gjør tilnærminger for å teste holdbarheten til den teorien.

Induktiv fremgangsmåte er at man forsøker å samle inn kunnskap ved å gå fra empirisk data ved f.eks. undersøkelser, til å opparbeide seg en teori. Denne rapporten vil ta for seg en induktiv tilnærming da konklusjoner vi bli trukket på grunnlag av et begrenset datagrunnlag.

2.2 Anvendte metoder

I denne oppgaven er det valgt å bruke kvalitative forskningsmetoder for å besvare problemstillingen. Det vil ved bruk av kvalitative metoder først bli gjort et litteraturstudium, hvor man kan tilegne seg kunnskap om temaene fra flere hold. Det vil så bli gjennomført intervjuer for å supplere informasjonen til litteraturen. Dette vil bli gjort ved å spørre intervjuobjektene om det man spesifikt lurer på. Følgelig vil det være mulig å diskutere problemstillingen ved hjelp av teori i litteraturen og erfaringer fra aktører i norsk byggebransje.

2.2.1 Litteraturstudie

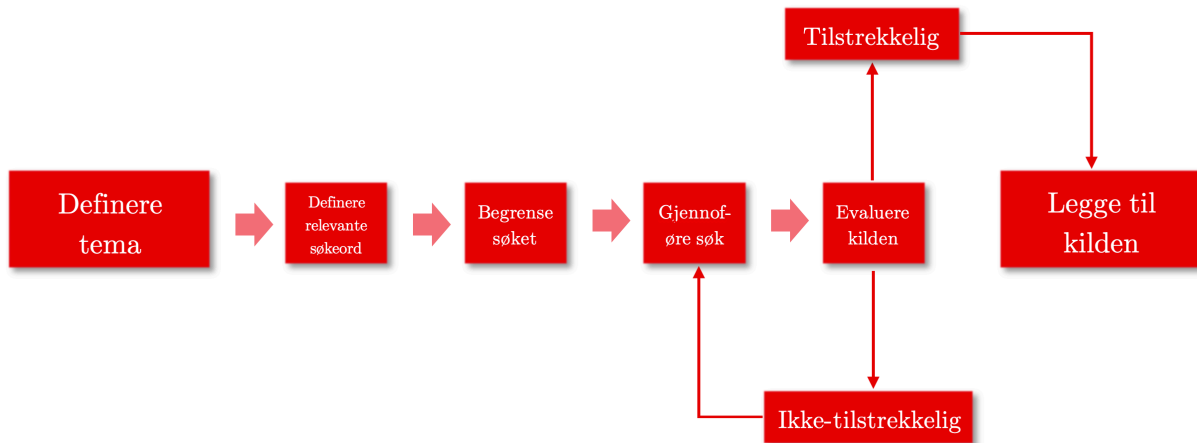
Informasjonen som danner det teoretiske grunnlaget for oppgaven er innhentet gjennom et litteraturstudium. Det finnes flere måter å finne relevant litteratur på. Før selve

søket påbegynte, ble det kartlagt hvilke søkemotorer som skulle bli benyttet. Valget falt på Oria og Google Scholar. Oria er Universitetsbibliotekets søkemotor og har tilgang på det meste av artikler, bøker og masteroppgaver. Google Scholar supplerer Oria veldig godt ved å besitte store mengder internasjonal akademisk litteratur. Oppsummeringen av valgte søkeord presenteres i **Tabell 2.1**.

Tabell 2.1: Oversikt over treff i litteratursøk gjennomført i Oria og Google Scholar

Søkeord	Oria	Google Scholar
BIM	54 356	Omtrent 700 000
4D BIM	4 414	30 200
BIM prosjekt	4	784
BIM triangle	898	9 130
Lean	565 066	Omtrent 2 970 000
Lean construction	62 679	Omtrent 1 400 000
The seven wastes	39 293	Omtrent 656 000
Lean Project Delivery	27 679	Omtrent 366 000
Last Planner System	40 468	Omtrent 345 000
Synergier Lean BIM	4	87
Effektivisering Lean BIM	4	462

Disse tallene viser at det er publisert mange verk innenfor de store hovedtemaene som BIM og Lean. Ved mer spesifikk søking ser vi at et stort antall faller bort. Hver for seg finnes det veldig mange artikler om både BIM og Lean, men kombinert finnes det veldig få artikler. Det ble derfor valgt å se på avhandlinger og store publikasjoner ved hovedtemaene for så å sjekke referansene deres. Da var det mulig å kontrollere og sikre kvaliteten til litteraturen. **Figur 2.1** viser en veldig oversiktlig fremgangsmåte for litteratursøket.



Figur 2.1: Strategi for litteratursøk

2.2.2 Kvalitative intervjuer

Det ble valgt å holde intervjuer for å få en direkte oppfatning fra personer i bransjen om deres tanker og meninger om implementeringen av BIM og Lean. Det finnes flere måter å gjennomføre kvalitative intervjuer på, men det i denne oppgaven ble det valgt en semistrukturert tilnærming.

I semistrukturerte intervjuer er spørsmålene forhåndsbestemte og de samme spørsmålene blir stilt til samtlige intervjuobjekter. Oppfølgingsspørsmål og mer detaljerte spørsmål blir stilt ut ifra det kandidaten forteller (Academic Work, u.d.). Dette gir intervjuobjektet muligheten til å både konkretisere og utdype det som blir sagt. Ulempen med semistrukturerte intervjuer er at svarene kan variere avhengig av intervjuobjekt.

Det ble utarbeidet en intervjuguide for å holde de semistrukturerte intervjuene. Spørsmålene er basert på problemstillingen til oppgaven. Intervjuguiden ble i forkant av intervjuene sendt ut til intervjuobjektene. Dette ga intervjuobjektene muligheten til å få en kort oversikt av masteroppgaven og samtidig få en oppfatning av hva slags

spørsmål som skulle bli stilt. På denne måten fikk intervjuobjektene forberede seg før intervjuet og intervjuene ville bli utført på en effektiv måte.

2.2.3 Intervjuobjekter

Intervjuobjektene ble valgt med utgangspunktet i deres bakgrunn og stilling i organisasjonen.

Tabell 2.2: Oversikt over intervjuobjekter

Navn	Firma	År i bransjen	Rolle	Prosjekt
Ørjan Sedeniussen	COWI	17 år	Prosjektleder	SUS2023
Even Kravik	SV Betong	2 år	Digital samhandlingskoordinator	SUS2023
Torbjørn Stensland	Norconsult AS	14 år	Digital samhandlingskoordinator	SUS2023
Therese Øvernes	Helse Stavanger HF	13 år	Prosjektleder	SUS2023
Hans Thomas Holm	Statsbygg	25 år	Assisterende prosjektdirektør	Livsvitenskap
Henrik Bakke	HENT AS	11 år	BIM-ansvarlig	Livsvitenskap
Yassir Fayyaz	C3 BIM AS	16 år	BIM-rådgiver	Livsvitenskap

For å kunne få analysert og vurdere det som ble sagt i intervjuene, ble intervjuene tatt opp. Intervjuobjektene ble informert om dette i intervjuguiden, slik at de fikk muligheten til å samtykke til dette. Intervjuene ble så transkribert og analysert slik at informasjonen kunne brukes i oppgaven.

2.3 Metodekvalitet

Det er metodene som blir valgt i oppgaven som legger grunnlaget for kvaliteten. For å sikre seg troverdighet av informasjonen som er innhentet må man vurdere reliabiliteten og validiteten til informasjonen. Det er denne informasjonen som skal anvendes for å trekke slutninger, det er derfor viktig å være kritisk til informasjonen.

2.3.1 Reliabilitet

Reliabilitet eller pålitelighet gir en indikasjon om troverdigheten til det som undersøkes. Reliabiliteten konstaterer om oppnådde resultater gir et tilstrekkelig grunnlag til å kunne besvare problemstillingen. Har en kilde lav reliabilitet, vil ikke kilden egne seg til å benyttes til å besvare problemstillingen. Har derimot en kilde høy reliabilitet kan flere benytte seg av samme kilde og samtidig få de samme resultatene (Larsen, 2017).

Det har i denne oppgaven blitt forsøkt å oppnå høy reliabilitet til kildene som er benyttet. I litteratursøket har kildene blitt vurdert etter utgivelsesdato, publiseringskanal og kredibiliteten til forfatteren. En kilde som blir benyttet i flere avhandlinger er en god indikasjon på dette. Ved bruk av kvalitative intervjuer kan reliabiliteten være utfordrende. Intervjuobjektene kan være påvirket av faktorer som subjektivitet og personlig erfaring. Dette må man være bevisst på når man bestemmer seg for hvilke personer som skal intervjues, hvordan spørsmålene stilles og hvordan svarene tolkes. Hvis flere av intervjuene tilsier den samme informasjonen vil reliabiliteten øke.

2.3.2 Validitet

Validitet eller gyldighet gir en indikasjon om hvor relevant og anvendelig informasjonen som innhentes er for problemstillingen. Hvis en studie har ytre validitet kan resultatene av et begrenset omfang generaliseres. Ved god indre validitet eller definisjonsvaliditet gis en kontroll over mulige bias. Den indre validiteten vurderer om en valgt indikator faktisk måler det som er ønsket å måle.

For å sikre validitet til kildene brukt i oppgaven har man gått gjennom introduksjon, sammendrag og konklusjon til kildene. Det er enklere å sikre validitet til de kvalitative intervjuene da fleksibiliteten er høyere. Ved intervju kan man endre spørsmål eller stille oppfølgingsspørsmål. Man kan dermed sikre at man får den informasjonen som ønskes

(Larsen, 2017). Intervjuobjektene har en stilling eller rolle som omhandler bruken av BIM og/eller Lean. Dette gir et bredt spekter av kunnskap innenfor de respektive temaene, og dermed kan man sørge for høyere validitet. Intervjuguide som ble tilsendt intervjuobjektene på forhånd er også med på å sikre høy validitet da de fikk muligheten til å forberede seg.

2.3.3 Styrker og svakheter ved metodene

Ved litteraturstudiet er det en klar styrke av at det finnes et stort utvalg av litteratur innenfor hovedtemaene BIM og Lean. Man kan dermed sammenligne litteraturen opp mot hverandre. Det ble valgt litteratur med mange siteringer. Å bruke anerkjente forskere gir et bedre grunnlag for diskusjon av de empiriske dataene. En svakhet kan være at noen av kildene bygger på hverandre, man kan dermed få en ensidig fremstilling av temaene. De aller fleste kildene er også internasjonale, da det finnes kulturforskjeller i byggebransjen mellom landene, kan det være noen forskjeller som påvirker fremstillingen. Det skal dog sies at BIM og Lean er internasjonale fenomener som har blitt implementert i Norge fra utlandet og at det derfor ikke burde være store forskjeller.

Ved bruk av kvalitative intervjuer, er som sagt den store styrken utformingen av intervjuguiden. Dette fører til at intervjuobjektene får komme forberedt til intervjuet, og dermed kan man unngå misforståelser. Bruken av semistrukturert intervju gir muligheten for å konkretisere påstander. Hvis intervjuobjektene er på vei til å spore av kan man også lede de tilbake til spørsmålet. En annen svakhet er den manglende erfaringen i å gjennomføre intervju. F.eks. kunne det være vanskelig å komme med gode oppfølgingsspørsmål til riktig tidspunkt.

Kapittel 3: Lean Construction

I dette kapitlet vil filosofien Lean Construction bli presentert og hvordan byggindustrien har tatt i bruk prinsippene i produksjonssystemet Toyota Production System (TPS). For å forklare begrepet er det nødvendig å først forklare teorien om den originale produksjonsfilosofien som Lean Construction har sitt opphav fra.

3.1 Historien bak Lean filosofien

Lean stammer fra produksjonsfilosofien til Toyota Motor Company (TMC) kalt Toyota Production System (TPS) som oppsto på 1950-tallet i Japan (Koskela, 1992). I etterkrigstiden var Japan et land med manglende ressurser som kapital, naturareal og kvalifisert arbeidskraft (Liker, 2004). For å kunne konkurrere internasjonalt i bilverdenen måtte Toyota utvikle nye og innovative teknikker for å drive bilproduksjonen. Toyota dro derfor på en såkalt studietur til USA for å hente inspirasjon fra etablerte Ford Motor Company som allerede var kjent for sin produksjonseffektivitet.

Ford Motor Company hadde standardiserte arbeidsprosesser og utviklet verktøy som gjorde det mulig å oppnå en tilfredsstillende flyt. De hadde spesiallagde maskiner som kunne masseprodusere de samme delene. Dette førte til en reduksjon i arbeidstid, og samtidig skapte reduserte kostnader per enhet. Ulempen var at masseproduksjonen var låst til én modell. Når etterspørselen etter andre modeller økte, måtte maskinene omstilles. Dette førte til en stopp i produksjonen. En slik stopp innebar lang ventetid og tapte inntekter. Dette var en av grunnene til at Henry Ford holdt seg til samme produksjon over lengre tid (McCraw & Childs, 2009).

Ingeniørene i Toyota skjønnte at de ikke hadde den samme forsyningskjeden til Ford og at de måtte utnytte knappe ressurser og kapital på best mulig måte. De tilpasset derfor Ford sin produksjonsprosess som oppnådde høy kvalitet til lav kostnad og kort produksjonstid med fleksibilitet til det japanske markedet. Ved å holde produksjonstiden nede og holde produksjonslinjene fleksible, innså Toyota at de kunne forbedre utnyttelsen av verktøy og lagringsplass. Arbeiderne fikk et større ansvar over produksjonslinjen. Dette førte til at dersom en feil ble funnet så kunne de stoppe hele produksjonen fram til feilen var rettet. Resultatet var at man unngikk å begå den samme feilen flere ganger. (Liker, 2004)

Ordet «lean» kan til norsk bli oversatt til «slank», og det er nettopp dette TPS er basert på. Målet var å opprette en slankere produksjon hvor overproduksjonen skulle fjernes. Dermed var to av prinsippene i Lean filosofien oppfylt – eliminere sløsing og fokusere på en kontinuerlig forbedring (Koskela et al., 1992).

3.2 Hovedprinsippene innen Lean filosofien

Womack og Jones kom med en definisjon for de fem prinsippene for Lean produksjon i boken «The Machine That Changed the World». Disse prinsippene anses som en oppskrift for å forbedre effektiviteten på arbeidsplassen. Prinsippene oppfordrer til å skape en bedre flyt i arbeidsprosesser og utvikle en kontinuerlig forbedringskultur. En bedrift kan ved å praktisere disse prinsippene oppnå å forbli konkurransedyktige. Samtidig kan de øke verdien levert til kundene og redusere kostnadene som igjen vil øke lønnsomheten til bedriften. (Do, 2017) (Womack, Jones, & Roos, 1990).



Figur 3.1: Hovedprinsippene innenfor Lean (Do, 2017)

Tabell 3.1: Beskrivelse av de fem prinsippene, basert på (Womack et al., 1990)

Hovedprinsipp	Beskrivelse
Definer verdi	Det første prinsippet handler om å definere kundeverdi og forstå hva verdien er. Å finne verdien handler rett og slett om å oppdage kundens faktiske behov og deres villighet til å betale for dette. Når kunden har et behov for nye produkter eller teknologier kan det hende at de ikke helt vet hva behovet er. Det er da viktig å ta i bruk kvalitative og kvantitative teknikker for å avdekke det eksakte behovet.
Kartlegg verdistrømmen	I det andre prinsippet skal man bruke behovet til kunden for å indentifisere aktivitetene som bidrar til å dekke disse. Aktiviteter som ikke supplerer verdi for kunden bør fjernes. Det finnes to typer av disse aktivitetene: ikke-verdifulle aktiviteter som er nødvendige og ikke-verdifulle aktiviteter som ikke er nødvendige. Førstnevnte burde reduseres mest

mulig og sistnevnte burde elimineres. Dette fører til at kunden får dekket behovet sitt samtidig som at kostnader blir redusert.

Lag flyt (Flow)

Når de verdiskapende aktivitetene er funnet, så må man sikre flyten av disse uten forstyrrelser eller forsinkelser. For å få til dette må man bryte ned produksjonen og rekonfigurere produksjonstrinnene slik at de utjevner arbeidsmengden. Det vil også være fordelaktig å skape tverrfunksjonelle avdelinger hvor de ansatte er tilpasningsdyktige med bred kompetanse.

Etablere trekk (Pull)

Målet her er å skape et «pull-based»-system for å begrense materialer som kreves for arbeid som er i gang. Det vil si at man sikrer at kun nødvendig materiale og informasjon blir brukt. Ved å følge verdistrømmen og jobbe bakover gjennom produksjonssystemet kan man sørge for dette. Produkter lages kun i nødvendige mengder på det tidspunktet de trengs og man følger en så kalt «Just-in-time»-metode som tilfredsstiller kundenes behov.

Forfølg perfektjon

Det femte prinsippet er kanskje det viktigste. Når de fire foregående prinsippene er fulgt må man sørge for at disse praktiseres med et konstant mål om forbedring. Man må sørge for at disse lean-prinsippene blir en del av organisasjonskulturen. Dette krever at de ansatte streber mot perfektjon og leverer produkter basert på kundens behov.

3.3 The seven wastes

Fra de fem hovedprinsippene til Lean, ser vi at fokuset ligger på å kutte aktiviteter som ikke gir en verdi, men danner sløsing. Sløsing er enhver handling eller aktivitet som ikke tilfører verdi for kunden. De syv kildene for sløsing (originalt «Muda» på japansk) ble utviklet av Taiichi Ohno, sjefingeniør hos Toyota, som en del av Toyota Production System. Det har i nyere tid også kommet en åttende kilde for sløsing. De forskjellige kildene er illustrert i **Figur 3.2** og beskrevet ytterligere i **Tabell 3.2**. (Skhmot, 2017)



Figur 3.2: «The seven wastes» (Skhmot, 2017)

Tabell 3.2: Beskrivelse av de åtte kildene for sløsing, basert på (Skhmot, 2017)

Kilder til sløsing	Beskrivelse
Mangler (Defects)	Mangler oppstår når et produkt ikke er egnet for bruk. Dette fører ofte til bearbeiding eller forkastelse av produktet. I begge tilfeller er resultatet en ekstra kostnad uten noen verdi. For å unngå mangler bør man se etter den feilen som oppstår hyppigst og fokusere på den. Man bør ha en prosess som

	<p>oppdager avvik og ikke lar disse nå produksjonsprosessen. En løsning kan være å bruke standardiserte prosesser som sikrer en jevn og feilfri produksjonsprosess.</p>
Overproduksjon	<p>Overproduksjon blir til når et produkt eller et delprodukt blir produsert før det er nødvendig eller etterspurt. Dette kan ofte skje når man har ledig produksjonskapasitet. Dette fører til en høyere lagringskostnad og forhindrer en jevn flyt av arbeid, dette krever høyere kapitalutgifter for å finansiere produksjonen. Man bør heller benytte seg av «Just-in-time»-filosofien hvor produkter kun blir produsert når det er nødvendig. Et eksempel er å lage rapporter som ingen leser.</p>
Venting	<p>Sløsing ved hjelp av venting inkluderer personer som venter på materiell eller utstyr, og utstyr som ikke blir brukt. Ventetid oppstår som regel når det er ujevnheter i produksjonsstasjonene. Dette kan føre til overproduksjon. Eksempler på venting kan være å vente på at datamaskinen skal laste inn et program.</p>
Transport	<p>Sløsing med transport omfatter transportering av mennesker, verktøy, inventar, utstyr eller produkter som ikke lenger er nødvendige. Overdreven bevegelse av materialer kan føre til mangler og overdreven bevegelse av mennesker kan føre til unødvendig arbeid og utmattelse.</p>
Inventar	<p>Overflødig lagerbeholdning blir også sett på som sløsing. I andre bransjer, som i økonomibransjen blir beholdning sett på som en eiendel og er positivt. Leverandører gir også rabatter for bulkkjøp. Dette er fordi leverandøren da sparer seg selv for lagerplass og kan få til en jevn flyt i produksjonen uten venting.</p>

	<p>Ved overflødig lagerbeholdning kan defekter skjules da det tar tid før produksjonsrelaterte problemer blir oppdaget. Et resultat av dette vil være at man må igangsette mer arbeid for å rette opp i disse feilene. En løsning på dette kan være å opprette et køsystem for å forhindre overproduksjon.</p>
Unødvendig bevegelse (motion)	<p>Unødvendig bevegelse inkluderer alle unødvendige bevegelser av mennesker, utstyr eller maskiner. Oppgaver som krever overdreven bevegelse bør bli omstrukturert for å oppnå et økt HMS-nivå for arbeiderne. Produksjon av bevegelse kan være repeterende bevegelse som ikke tilfører verdi for kunden. Et eksempel på dette kan være distansen man må bevege seg for å hente nødvendig utstyr. En løsning på dette kan være å sørge for at arbeidsplassen er godt organisert med utstyr i nærheten og ergonomiske plasseringer av materialer.</p>
Unødvendig arbeid	<p>Unødvendig arbeid er noe selvforklarende. Det innebærer å utføre mer arbeid ved å ha flere trinn eller legge til flere komponenter i et produkt eller en tjeneste enn hva kunden krever. Dette kan være produkter av altfor høy kvalitet med kapasitet utover det som kreves, gjennomføring av mer analyse enn nødvendig, ha mer funksjonalitet i et produkt enn nødvendig. For å unngå dette må man ha en god forståelse av behovet til kunden. Man bør kun produsere det kunden trenger til de nødvendige mengdene.</p>
Underutnyttelse av arbeidernes kunnskap	<p>Den åttende sløsingen var ikke originalt en del av TPS, men er fortsatt en kilde som har blitt anerkjent. Den åttende kilden handler om sløsing av menneskelig potensial. At man ikke benytter seg av menneskelig talent og oppfinnsomhet. Dette</p>

skjer ofte i organisasjoner som har et hierarki mellom ledelsen og de ansatte hvor det er lederens ansvar å planlegge, organisere og få til innovasjon av produksjonsprosessen. Arbeidernes ansvar blir bare å følge ordre og utføre planlagt arbeid. Det er ofte de som faktisk gjør arbeidet som er mest kapable til å identifisere problemer og komme med løsninger. Dette problemet er ofte synlig på steder hvor ansatte er lite trent og ikke vet hvordan de skal bruke utstyret effektivt. Eller når ansatte ikke blir utfordret til å tenke nytt og forbedre arbeidet.

3.4 Lean Construction

Navnet Lean Construction ble formet for byggebransjen i 1993 (Ballard & Howell, 2003). Lean Construction skiller seg fra Lean production ved at produksjonen ikke lenger er i en fabrikk, hvor det meste går i rutiner. Byggebransjen er en dynamisk bransje hvor prosjekter og omgivelser endrer seg. Dette vil si at kun hovedelementene i Lean Construction lar seg overføre mellom ulike byggeprosjekter da ingen prosjekter er identiske. Koskela definerer Lean construction slik:

“A way to design production systems to minimize waste of materials, time, and effort in order to generate the maximum possible amount of value”

(Koskela, Howell, Ballard, & Tommelein, 2002)

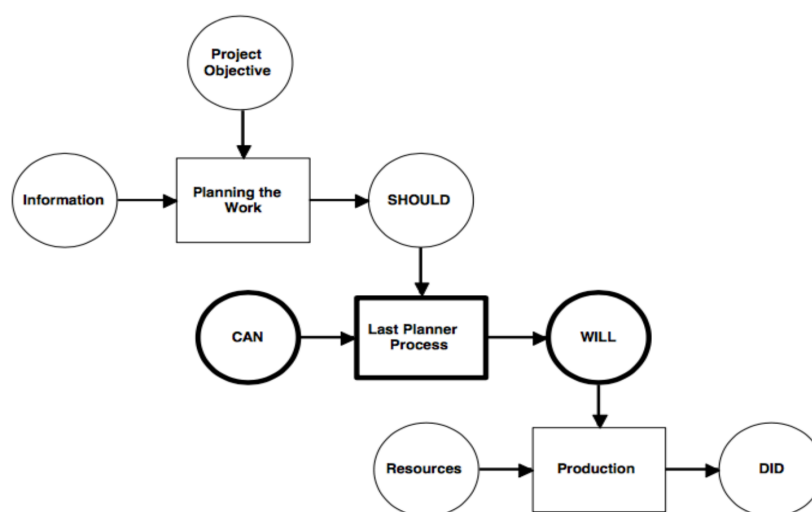
Fokuset her er altså å eliminere sløsing av materialer og ikke-verdifulle aktiviteter. Man oppdaget at de syv (åtte) kildene til sløsing også finnes i ethvert byggeprosjekt. Det er altså en versjon av Lean produksjon som er tilpasset byggebransjen med en ny teoribasert metodelære (Koskela et al., 2002). Den største utfordringen ved å implementere Lean Construction er endring i atferd, og vilje blant aktørene i bransjen til å lære seg et nytt system. I den tradisjonelle byggeprosessen jobber aktørene for å

beskytte sine egne interesser, noe som står til kontrast til Lean filosofien som fokuserer på samarbeid mellom alle deltakerne. I de neste delkapitlene vil forskjellige metoder og teknikker for bruk av Lean Construction bli presentert.

3.5 Last Planner[®] System (LPS)

Last Planner[®] System (LPS) er et registrert varemerke eid av Lean Construction Institute (LCI). LPS er et produksjonssystem som ble utviklet av Glenn Ballard og Greg Howell i 1992 (Ballard G. , 2008). Produksjonssystemet ble utviklet for å forbedre arbeidsflyt, pålitelig planlegging og forutsigbarhet i arbeidet. Ved å benytte LPS reduserer prosjekteringsgruppen sløsing i designet, dermed kan de øke verdien for kunden (Ballard & Howell, 2003). Systemet er en sentral del av Lean Construction (Howell & G., 1998).

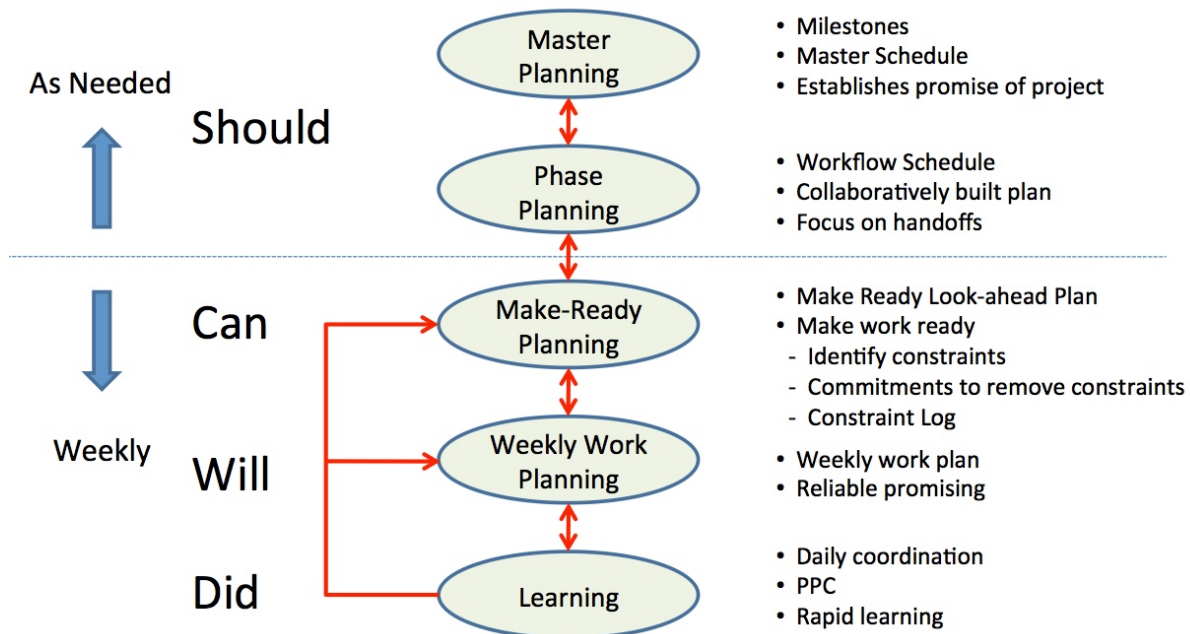
Som det ligger i navnet, stammer LPS fra praksisen om at det er det siste leddet i planleggingskjeden som skal utarbeide planene, de såkalte «last planners» (Ballard G. , 2008). Det betyr at hele prosjekteringsgruppen skal være med i planleggingen. Sammen planlegger de kun aktiviteter som skal gjennomføres. Dermed ble «Should-Can-Will-Did»-tankegangen opprettet. Dette er en mekanisme for å transformere hva som bør og kan gjøres til hva som blir gjort. Dette blir illustrert i **Figur 3.3**.



Figur 3.3: The Last Planner System (Ballard G. , 2000)

3.5.1 Plannivåer i Last Planner System

Basert på «Should-Can-Will-Did»-prinsippet har det blitt opprettet fem elementer i LPS. The Last Planner system er et helhetlig system, dette betyr at alle de fem elementene må utføres for å få en Lean-prosjektplanlegging.



Figur 3.4: Elementene i Last Planner System (Richert, 2017).

Tabell 3.3: Beskrivelse av de fem elementene, basert på (Richert, 2017).

Elementene i LPS	Beskrivelse
Hovedplan	Hovedplanen formes i begynnelsen av et prosjekt. Her er det viktig å identifisere de viktige milepælene som skal hjelpe til med å fastsette tempoet i prosjektet (Ballard G. , 2000). I denne fasen er usikkerheten stor og detaljgraden lav. Dette er for å få en mest mulig pålitelig plan.
Faseplan	Faseplanen deler prosjekteringen inn i faser av prosjektet som er fornuftig å betrakte som en enhet. Faseoppdelingen vil derfor avhenge av størrelsen og kompleksiteten i arbeidet (Ballard & Howell, 2003). Faseplanleggingen oppretter en avtale mellom «last planners» om hvordan arbeidet mellom

to faser skal fullføres. Faseplanene benytter seg av en «Pull-planning»-teknikk (delkapittel **3.5.2**) som skal sikre at prosjekteringen skjer i tilstrekkelig tid før produksjonen.

Utkvikksplan

Utkvikksplanen deler igjen opp faseplanen i nye intervaller, som regel i seksukers-planer. Utkvikksplanen benytter seg også av «Pull-planning»-teknikken. Planen oppdateres hver uke slik at nye aktiviteter kan innføres. I følge (Forbes & Ahmed, 2011) må tre kriterier være oppfylt for at de skal settes opp i utkvikksplanen:

1. Aktivitetene må ha en håndterbar størrelse (tilstrekkelig detaljert)
 2. Aktivitetene må være lett målbare (varighet)
 3. Aktivitetene må være sunne (delkapittel **3.5.4**)
-

Ukeplan

Ukeplanen fokuserer arbeid enhver «last planner» må gjennomføre for å fullføre aktivitetene som var planlagt i faseplanen. Alle må da identifisere aktivitetene som arbeidslagene må jobbe med hver dag i følgende uke. Pålitelighet er ekstremt viktig for å utvikle disse planene (Richert, 2017). Ukeplanen er mer detaljert enn utkvikksplanen og inkluderer modeller og prosjekteringsdokumenter som skal benyttes i produksjon. I ukeplanen skal aktivitetene som **kan** gjøres transformeres til det som **skal** gjennomføres den kommende uken. Ukeplan blir også brukt som et grunnlag for å måle PPU (delkapittel **3.5.3**).

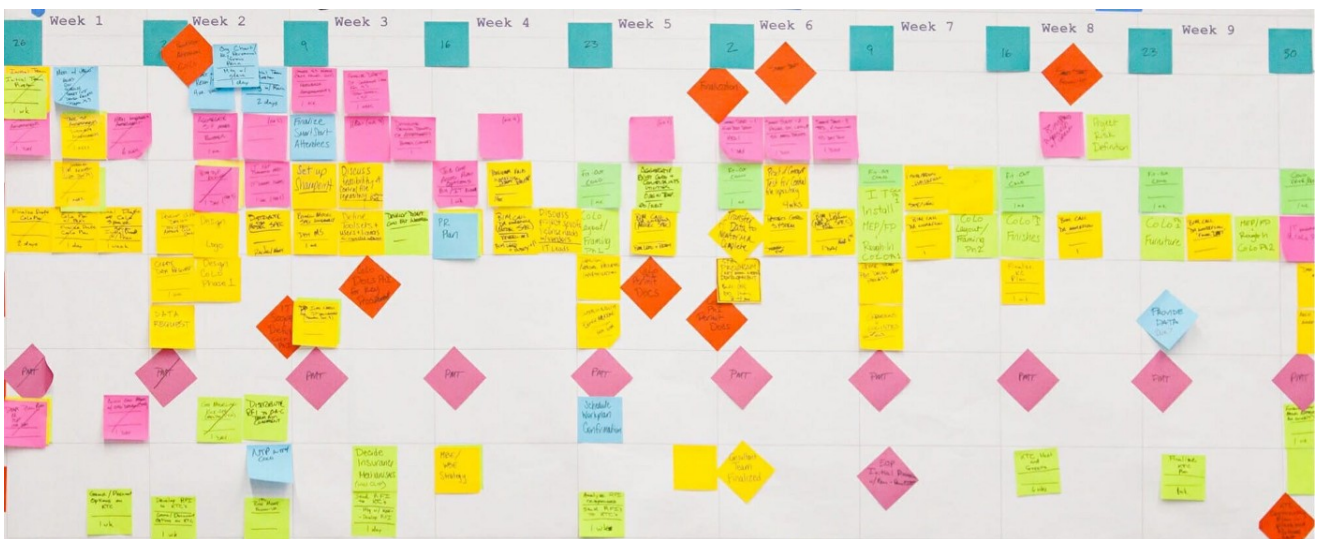
Læring

Det siste plannivået omfatter å ta lærdom av arbeid som allerede har blitt gjort. Ved daglige møter kan «last

planners» benytte PPU for å registrere hvor mye arbeid som har blitt fullført. Hensikten med denne analysen er å finne ut hvorfor aktiviteter ikke blir gjennomført som planlagt.

3.5.2 Pull-Planning

«Pull-planning» er teknikken som benyttes i arbeidet som blir gjort i LPS. Prosjektgruppen benytter seg av bakoverplanlegging for å sette en ferdigstillelsesdato, med utgangspunkt i kundens behov. Pull-planning planlegger med hensyn til hvilke ressurser som er tilgjengelig (Ballard G. , 2000). Formålet er å forbedre forståelsen av de ulike avhengighetene og viktigheten av å følge planen. Utarbeidelsen av en pull-plan er avhengig av tre steg: først opprettes en oversikt over milepælene og deretter blir det lagt til aktiviteter som skal gjennomføres. Underveis i arbeidet blir begrensningene i aktivitetene vurdert.



Figur 3.5: Pull-planning ved hjelp av Post-it lapper (Cnstrctr, u.d.)

Tabell 3.4: Beskrivelse av elementene i Pull-planning.

Elementer i Pull-planning	Beskrivelse
Lage milepæler	Milepæler fremstilles som romber i pull-planning, slik som i Figur 3.5 . Milepæler skal settes opp som en del av utarbeidelsen til hovedplanen. En milepæl er en dato i prosjektet hvor en aktivitet eller arbeidsoppgave skal være ferdig. Milepæler må prioriteres avhengig av omfanget på aktiviteten og leveringstider.
Legge til aktiviteter	Hver milepæl består av flere aktiviteter som må gjennomføres. Aktivitetene planlegges fra milepælen og bakover (Ballard G. , 2000). Alle fagene er representert i planleggingen, og de forskjellige arbeidslagene jobber sammen om å forme ukeplanene. Dette gjøres ved bruk av Post-it lapper hvor hvert fag har sin unike farge, slik som Figur 3.5 viser.
Vurdere begrensninger	Begrensninger blir vurdert om det er nødvendig samtidig som milepælene og aktivitetene settes opp (Ballard G. , 2000). Begrensningene symboliseres ofte ved bruk av en stjerne. Begrensningene er alle problemene som forhindrer planlagte aktiviteter i å bli gjennomført. Ved hjelp av pull-planning har vi en oversikt over avhengighetene i prosjektet, det er derfor viktig med pålitelighet slik at alle aktivitetene blir gjennomført.

3.5.3 Prosent planlagt utført (PPU)

Prosent planlagt utført (PPU) er en av målemetodene som anvendes i LPS (Ballard & Howell, 2003). PPU brukes til å måle fremgang og prestasjonen til planleggingssystemet. Dette er en viktig komponent for å få til kontinuerlig forbedring av planleggingen (Ballard & Howell, 2004). Målingen blir benyttet, som beskrevet i **Tabell 3.3**, i ukeplanen for å måle effektiviteten og kvaliteten av denne. PPU-en blir ofte hengt synlig i oversikten som er tilgjengelig for alle deltakerne. Dette virker indirekte som et insentiv om å være trofast til planene. Når deltakerne vet hvor pålitelig de andre er, så tar man ofte hensyn til dette, noe som vil være med på å øke flyten i arbeidet. Statistikken tilsier at bruken av PPU øker produktiviteten og minker variasjonen i produktiviteten (Ballard & Howell, 1998).

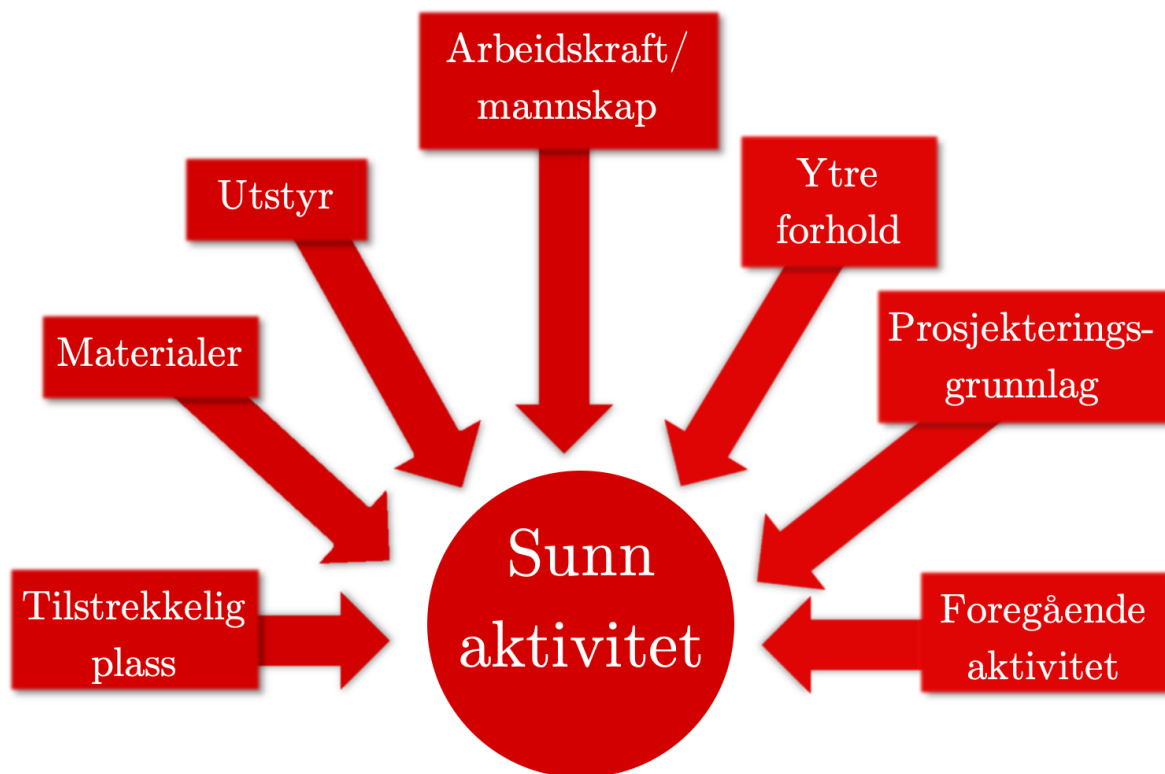
3.5.4 Sunne aktiviteter

I **Tabell 3.3** ble det beskrevet at kun sunne aktiviteter skulle brukes i utviklingsplanene og deretter i ukeplanene i LPS. Syv forutsetninger må være oppfylt for at en aktivitet skal regnes som sunn. Disse er beskrevet under.

Tabell 3.5: Beskrivelse av de syv forutsetningene som omtegrer en sunn aktivitet, basert på (Koskela, 2000).

Forutsetning	Beskrivelse
Arbeidskraft/mannskap	Det kreves at mannskapet har riktig kompetanse og kapasitet til å utføre det nødvendige arbeidet.
Utstyr	Utstyret må tilfredsstillende behovet om sikkerhet, belastning og effektivitet.
Materialer	Riktig mengde og kvalitet av materialet må være tilgjengelig.

Tilstrekkelig plass	Arbeidsplassen må være klargjort og ryddet før arbeidet kan starte.
Ytre forhold	Ytre forhold som vær eller offentlige tillatelser må være på plass før arbeidet kan starte.
Prosjekteringsgrunnlag	Tegninger og beskrivelser må inneholde riktig informasjon før arbeidet kan starte.
Foregående aktivitet	Foregående aktiviteter må være ferdigstilt med riktig kvalitet før arbeidet kan starte.

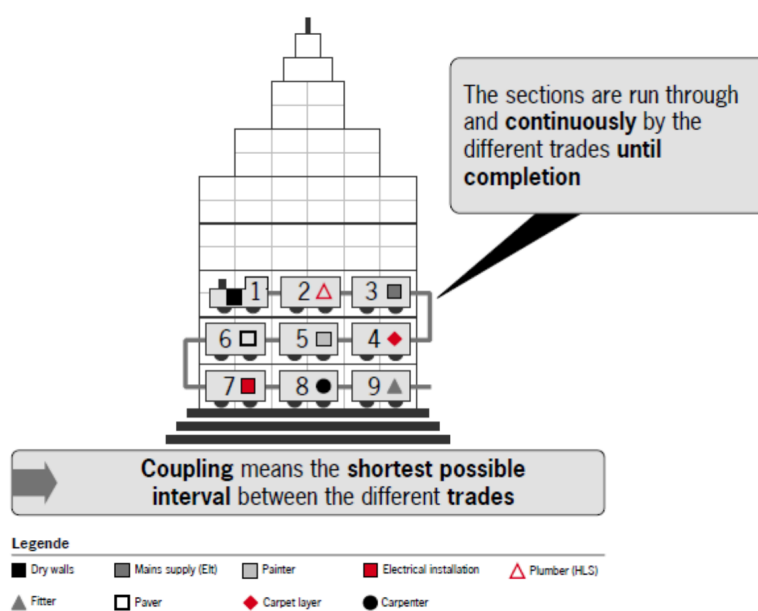


Figur 3.6: De syv forutsetningene for en sunn aktivitet, basert på (Koskela, 2000).

3.6 Taktplanlegging

Takt er den tiden som et produkt har å produseres på for å stemme med frekvensen for når det produktet trengs (Frandsen, Berghede, & Tommelein, 2013). Taktplanlegging handler om å planlegge hver arbeidsoperasjon i en kontrollsoner. Når ett arbeid eller en aktivitet er ferdig i kontrollsonen, så tar neste arbeidslag over kontrollsonen og starter sitt arbeid. Denne teknikken er i utgangspunktet tilpasset produksjon, men kan overføres og benyttes i prosjektering, noe som har blitt gjort i byggebransjen i dag (Kristensen, 2016). Takt skal sørge for å bidra til en kontinuerlig flyt og samtidig redusere sløsing (delkapittel 3.3), hvilket er et av de viktigste prinsippene innenfor Lean construction. Første gang taktplanlegging ble observert brukt i et byggeprosjekt var under byggingen av Empire State Building i 1930 (Haghseno, Binninger, Dlouhy, & Sterlike, 2016).

Ved bruk av taktplanlegging kan man sette en rytme for produksjonen. Dette krever at man tilpasser aktiviteter slik at de kan følge den fastlagte rytmen eller takten. Gjennom utviklingen og bruken av en produksjonsplan, er målet å balansere og stabilisere arbeidsflyten innenfor de definerte sonene (Frandsen et al., 2015).



Figur 3.7 Illustrasjon av takttoget (Khattak & Sarwar, 2014).

Den mest kjente beskrivelsen av taktplanlegging er illustrasjonen av takttoget som «kjører» gjennom de forhåndsbestemte sonene i bygget, slik som **Figur 3.7** viser. Vognene representerer de ulike arbeidsfagene. Rekkefølgen på vognene er basert på aktiviteter som naturlig kommer etter hverandre i kontrollsonen. Takttiden, som er tiden en vogn bruker på å ta over for foregående vogn, representeres som avstanden mellom hver forflytting av vognene. Takttiden er den jevne rytmen som produksjonen beveger seg framover med og kan variere i lengde. Det mest normale er å ha en takttid mellom 1-7 dager, takttiden burde tilpasses individuelt til ethvert prosjekt.

3.6.1 Utvikling av en taktplan

Utarbeidelsen av en taktplan kan bli forklart gjennom en sekstrinns iterativ prosess som presentert av Frandson et al. (2013):

Tabell 3.6 Fremgangsmåte for taktplanlegging, basert på (Frandson et al., 2013)

Trinn i kronologisk rekkefølge	Beskrivelse
Informasjons- og datainnhenting	Informasjons- og datainnhenting må skje i god tid før oppstarten av produksjonen. Det kreves erfaringstall og produksjonsdata for alle fagene. Her kan man benytte seg av LPS [®] slik at hvert fag kan planlegge og visualisere arbeidsflyten. Dette kan bidra til god transparens som eliminerer usikkerheten i planleggingen. Den siste planleggeren har ansvaret for å kartlegge arbeidsomfanget og i hvilken rekkefølge produksjonen skal forløpe.
Definere soner	Taktplanlegging skal identifisere soner med minst mulig variasjon i arbeidstetthet. Sonene etablerer et utgangspunkt for hvordan produksjonen skal fordeles, oppfølges og kontrolleres. En ønskelig inndeling innebærer at hver sone har lik produksjonsrate for de bestemte arbeidsoppgavene.

Bestemmelse av rekkefølge

I denne delen skal de ulike fagene systematiseres i en praktisk rekkefølge. Det bør gjennomføres koordineringsmøter hvor alle involverte fag deltar aktivt. Under møtene må avhengigheter og grensesnitt avklares. Rekkefølgen er basert på pull-planning, altså vil ferdigstilling av en arbeidsoppgave iverksette en påfølgende oppgave. For å sikre pålitelighet til planen kreves det i dette trinnet gode avklaringer og detaljeringer.

Bestemmelse av varighet

I dette trinnet skal gjennomføringstiden bestemmes så presist som mulig. Tiden skal bestemmes med bakgrunn i erfaringstallene. Det er også anbefalt å gjennomføre prøvegjennomføringer (eng: First-run-studies), men dette er tids- og kostnadskrevende og kan være utfordrende å få til. Varighetene bør beregnes gradvis ved å ha et særlig fokus på kontinuerlig læring og forbedring. Dette trinnet henger også sammen med det neste, som er å balansere arbeidsflyten.

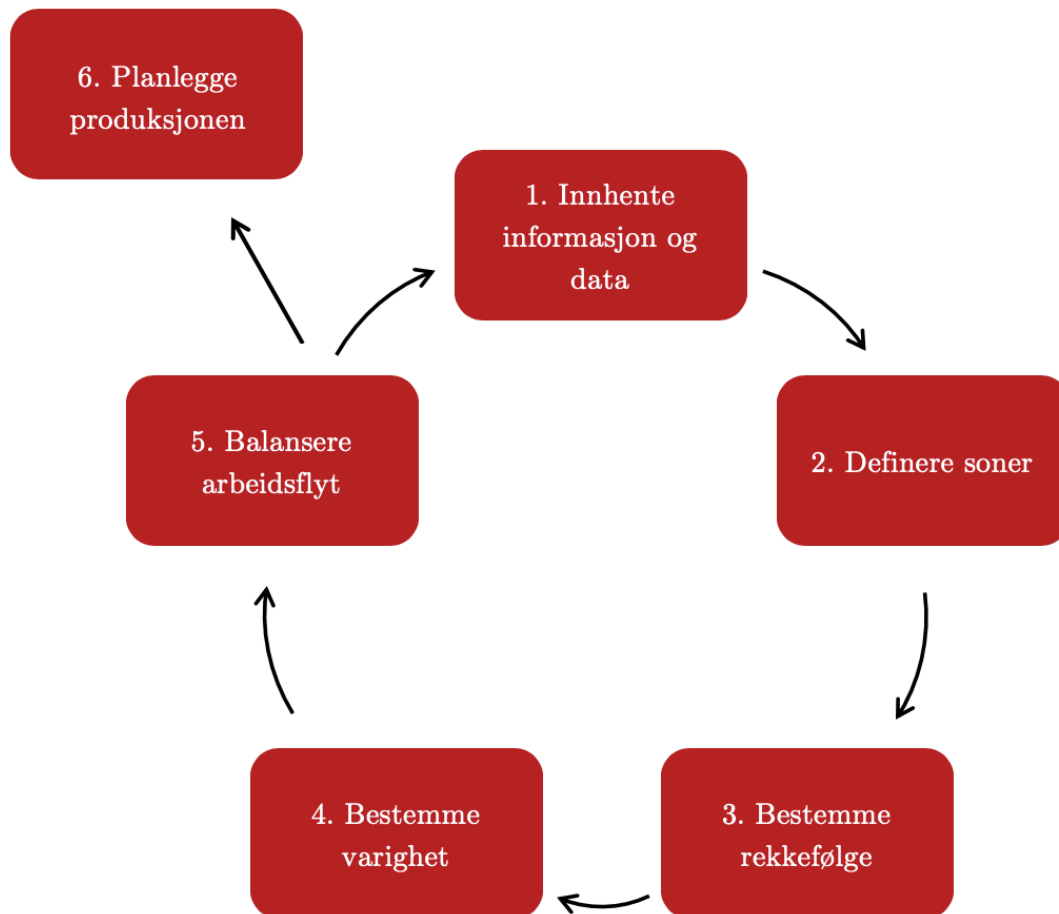
Balansere arbeidsflyt

Når overnevnte punkter er kartlagt, er det viktig å identifisere potensielle flaskehalsar i produksjonssystemet. Dette innebærer at noen fag kanskje må gå raskere, mens andre fag må senke tempoet. Slik kan takttiden settes og man kan visualisere hvert fags planlagte flyt og fremdrift.

Planlegge produksjonen

I dette trinnet skal produksjonsplanen fastsettes. Aktiviteter kan dekomponeres til mindre tidsintervaller for å gi et bedre grunnlag for kontroll og styring. Planen må være i henhold til takttiden, og hvert fag må være sikre på at sin aktivitet lar seg gjennomføre etter den gitte takten. Dette fører til at man kan iverksette tiltak i et tidligere stadium hvis takten

skulle begynne å skli ut. Planen krever at alle involverte parter forplikter seg til utføre arbeidet i henhold til planen. Det bør også planlegges kapasitetsbuffer i produksjonen.



Figur 3.8 Fremgangsmåte for taktplanleggingen, basert på (Frandsen et al., 2013)

Ved hjelp av disse seks trinnene kan man opprette et grovt utkast til prosjektet. Den pålitelige produksjonsplanen med kontinuerlig flyt vil gradvis bli utviklet ved kontinuerlig bearbeiding og gjennomgåelse av stegene. Ved fare for at takten skal overskride eller skli ut, kan man justere opp bemanningen for å intensivere fremdriften.

3.6.2 Taktkontroll

Det bør gjennomføres daglige taktmøter på byggeplassen. Taktmøtene bør holdes av bygge- eller anleggsleder hvor alle formenn fra de ulike fagene er tilstede. Ved bruk av takttavler kan man bidra til fremdrifts- og kvalitetskontroll. Dette fører til at man kan gjøre justeringer mellom planlagt og gjeldende status for hver takttid (Kenley & Seppänen, 2010). Dette gir også en god transparens i produksjonen.

Uforutsette hendelser kan dukke opp når det minst forventes hvis planleggingen ikke er tilstrekkelig nok. Dersom man ikke klarer å følge taktplanen, så må man iverksette korrektive tiltak før ringvirkningene blir for store. Justering av bemanningen er allerede nevnt som et tiltak, men det er ikke nødvendigvis godt nok i alle tilfeller. Frandson (2017) beskriver følgende seks korrektive tiltak som kan iverksettes:

Tabell 3.7 Korrektive tiltak, basert på (Frandson, 2017)

Korrektivt tiltak	Beskrivelse
Endre rekkefølge	Når planlagt arbeid i taktplanen settes i gang, kan det vise seg at den rekkefølgen man antok som praktisk, er feil. Man bør da gjøre endringer i rekkefølgen hvis man ser at dette kan bli et universalt problem i sonene. Først og fremst kan man velge å bare justere rekkefølgen (f.eks. rørleggerarbeid må gå før elektrikerarbeid). Eller så kan man også endre rekkefølgen ved å tilføye nye vogner i toget. Et siste forslag som nevnes er å flytte oppgaver innenfor en aktivitet til en annen vogn.
Endre sonene	Å endre sonene kan være et godt tiltak hvis man opplever at produksjonen går raskere eller saktere for noen fag i forhold til den gitte takten. Gjør man kontrollsonene mindre, vil det føre til at arbeidet kan bli gjort raskere. Hvis man i de mindre sonene har

nok takttid til å samtidig løse eventuelle problemer, vil dette fungere godt. Hvis det derimot er motsatt, og takttiden er for liten med for mange begrensninger, kan det hende man bør lage større soner. Med større soner vil det også bli gitt økt korresponderende takttid. Dette vil bidra til å imøtekomme arbeidslagenes evne til problemløsning. Frandson (2017) anbefaler generelt at man starter planen med større soner, som etterhvert kan reduseres når arbeiderne blir kjent med planen.

**Stoppe og ta
igjen**

Dersom man underveis i arbeidet innser at det er for mange hindringer, og f.eks. bare 50% av arbeidet ferdigstilles til planlagt tid, vil det ofte være mer fornuftig å stoppe opp og løse problemene. Selv om det er mulig at arbeidslagene kan opphente utfordringer som har dukket opp med oppstarten, vil det lønne seg å stoppe opp tidlig. Dette er fordi problemene mest sannsynlig vil før eller senere føre til en stopp, enten du vil eller ikke.

**Begynne igjen
med redusert
hastighet**

Når man skal starte opp igjen vil det lønne seg å starte med en tregere takttid. Dette vil gi arbeidslagene en økt tillit, og man kan legge opp taktproduksjonen med høy pålitelighet. Når arbeidslaget blir komfortable med takten, kan man alltid justere tiden for å forbedre hastigheten. Dette stemmer overens med Toyota sin rocks and lake metafor: «*Lower the river to reveal the rocks*» (Markovitz, 2016).

**Flytt arbeid ut
av takten**

I planleggingsfasen er det fort gjort å bli for ambisiøse med å sette opp planen og dermed inkludere for mange aktiviteter i planen. Aktiviteter kan vise seg å være ugunstige etterhvert som produksjonen er i gang. Da kan det være hensiktsmessig å trekke noen arbeidsoppgaver ut av taktplanen selv om oppgaven skal

gjennomføres i sonen. Videre kan man vurdere å utelate noen områder fra taktplanen.

Det er veldig viktig å identifisere arbeidet som ikke blir ferdig til gitt takt. Identifiseringen er enklere i en taktproduksjon da aktiviteter gjennomføres i definerte soner etter en gitt takt, sammenlignet med en produksjon som foregår på hele arbeidsplassen uten tid og soner. Man kan derfor, med **Visualisere det som ikke ble fullført** taktplanlegging, enklere identifisere og korrigere variabilitet. Avvik i aktivitetene bør følges opp visuelt, da vil det være lettere å kommunisere problemet til arbeidslagene og skape løsninger og utbedringer.

Taktplanlegging i bygge- og anleggsbransjen har vært tradisjonelt begrenset til byggeprosjekter hvor det forekommer høy grad av repeterbart arbeid. Dette kan være alt fra hoteller, leilighetskomplekser og kontorbygg (Linnik & Berghede, 2013). Det vil altså være enklere å gjennomføre taktplanlegging i prosjekter der det er tydelige soneinndelinger som er dominert av repeterbart arbeid. Det påpekes allikevel at dette ikke er en forutsetning som må være tilstede for at metoden skal kunne gi besparelser og økt kvalitet. Linnik & Berghede (2013) sier altså at taktplanlegging også vil være mulig i prosjekter som ikke er repeterbare.

Taktplanleggingen kan også styrkes ved hjelp av digitale verktøy og andre hjelpemidler. Gantt-diagrammer kan ofte bli for kompliserte da de ikke visualiserer de ulike arbeidslagenes aktiviteter (Yassine, Bacha, Fayek, & Hamzeh, 2014). Det anbefales derfor å benytte seg av digitale verktøy som bidrar til visualisering. Her kan LPS[®] (delkapittel 3.5) benyttes for å bidra til mer pålitelig planlegging og produksjon.

3.6.3 Fordeler ved bruk av taktplanlegging

Det blir i litteraturen trukket frem tenkelige fordeler ved å benytte seg av taktplanleggingen framfor en tradisjonell planlegging. Disse blir presentert i påfølgende tabell:

Tabell 3.8 Fordeler ved bruk av taktplanlegging funnet i litteraturen

Litteratur	Beskrivelse av potensiell fordel
	Det vil være en bedre mulighet til å kunne diskutere på tvers av fagene om hvordan en kan og ønsker å gjennomføre sitt arbeid. Dermed kan man finne produksjonssystemets flaskehalser, som også skal sette takten. Dermed kan man finne tilnærmingen som passer hvert enkelt fag og prosjektet som helhet.
(Frandsen et al. 2013)	Det vil være helt klart hvor og når arbeidslagene skal arbeide. Dette vil føre til at hvis det skulle gjenstå noe koordinering, så vil det kunne løses uten stort spektakkel. Overraskelser vil også være mulig å unngås under utførelsen.
	Alle arbeidslagene kjenner sin plass i arbeidsrekkefølgen, slik at det er mulig å kun fokusere på sin egen koordinering.
	Umiddelbar progresjonsstatus. Dette skyldes at man har relativt små enheter å kontrollere, dermed kan man lett se om takttiden blir overholdt og om kvalitet er god nok. Altså vil man få målt fremgang i mindre omganger, og av den grunn være mer produktive enn ellers.
(Yassine et al., 2014)	Taktplanleggingen bidrar til å etablere kontinuerlig flyt i produksjonen. Følgelig vil sløsing reduseres og man kan korte ned på varigheten, som videre vil medføre lavere kostnad.
(Linnik et al., 2013)	Taktplanlegging forenkler og gjør arbeidsflyten transparent. Arbeidsproduktiviteten vil dermed kunne forbedres.

Kapittel 4: Building Information Modeling (BIM)

I dette kapitlet vil teori om BIM bli presentert. Formålet er å trekke frem betydningsfulle egenskaper for å kunne relatere BIM til Lean.

4.1 Hva er BIM?

BIM står for Building Information Model og er et velkjent begrep i bygg- og anleggsbransjen. Likevel blir begrepet oppfattet forskjellig av ulike aktører. På norsk kan BIM gjengis til å bety «BygningsInformasjonsModell» eller «BygningsInformasjonsModellering». Dermed kan BIM både være et produkt – f.eks. en 3D-modell for å vise et byggverk, da brukes «Bygningsinformasjonsmodell». Eller en prosess for å se arbeidsprosesser som skal utføres, da brukes «BygningsInformasjonsModellering» (Statsbygg, 2009).

“Building Information Modeling (BIM) is a collaborative tool used by architectural, engineering and construction (AEC) industries based on a number of software solutions. It is a technology and a process to manage construction projects. BIM is a set of technology developments and processes that has transformed the way infrastructure is designed, analyzed, constructed and managed. BIM can enhance and improve planning process, design and construction of projects.” (Latiffi, Mohd, Kasim, & Fathi, 2003)

En bygningsinformasjonsmodell (BIM) er et verktøy som utvikler og bruker bygningsdata (Sacks, Koskela, Dave, & Owen, 2010). Disse dataene inneholder informasjon om objekters egenskaper (farge, geometri, osv.), relasjoner (alle møtende elementer) og analyser (energi, miljø osv.). Informasjonen kan også omhandle objekters pris og leverandører. Dette bidrar til god kommunikasjon mellom prosjektdeltakerne

og gjør det enklere å oversette byggherrens spesifikke prosjektkrav (Hattab & Hamzeh, 2013).

BIM er altså et produkt og en prosess som har revolusjonert bransjen. Det har bidratt til at bygg kan overleveres med høyere kvalitet, samtidig som det har bidratt til lavere bygge- og driftskostnader og redusert tidsbruk.



Figur 4.1: Eksempel på en BIM-modell (BIM4ALL, u.d.)

4.2 Historien bak BIM

Historisk sett har byggebransjen benyttet en lineær prosess for prosjektutførelse hvor kommunikasjon og informasjonsutvekslingen skjer fortløpende fra aktør til aktør (Ballard & Koskela, 1998). Dette førte til at det tok veldig lang tid for en aktør å legge til ny informasjon i tegningene til et byggeprosjekt. Når denne informasjonen nådde byggeplassen, var den ofte lagt inn av en annen aktør allerede. Dette var uten tvil en av flere årsaker til problemer og miskommunikasjoner i byggenæringen.

Dette problemet fascinerte Professor Chuck Eastman, og allerede på 1970-tallet utviklet han tanken om et system hvor informasjonsendringer ble oppdatert automatisk i det øyeblikket de ble gjort og godkjent. Tanken var et system hvor alle tegninger og

elementer hang sammen, og han kalte konseptet for «Design Description System». Dette konseptet er fundamentet bak det vi i dag kjenner som BIM (Eastman C. , 1975). Baktanken ved å implementere BIM var å redusere sløsing av ressurser ved å forbedre arbeidsprosessene, dette viser at konseptet allerede fra begynnelsen av hadde lean-elementer i seg.

Norge er globalt sett et av de ledende landene i bruken og utviklingen av BIM. Statsbygg har stilt krav til bruk av BIM i alle sine prosjekter siden 2011 og har et mål om å bruke den digitale informasjonen gjennom alle byggefasene, inkludert rivning (Statsbygg, 2020).

4.3 Lukket- og åpenBIM

Gjennom prosjektering, produksjon og drift av et bygningsprosjekt skal de ulike fagene, også kalt disipliner, som bransjen består av, samarbeide med den samme informasjonen. Formålet til BIM har derfor vært å forbedre informasjonsutvekslingen og samhandlingen i byggeprosessene (buildingSMART, u.d.).

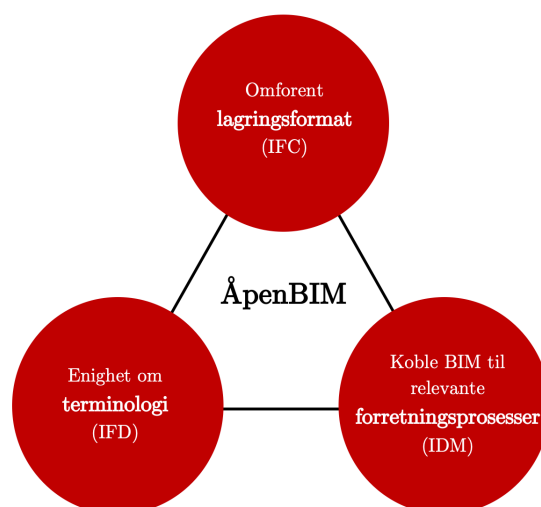
Det finnes i dag flere programvarer som tillater å lage BIM-modeller. Det kan derfor være et tilfelle at rådgivere eller aktører fra forskjellige selskaper benytter seg av forskjellige programvarer som hemmer informasjonsutveksling i prosjekter. For eksempel kan arkitekten i prosjektet benytte seg av et program, modellen blir da opprettet med en filendelse tilknyttet det programmet. Denne modellen videresendes så til entreprenøren som skal gjøre kalkulasjoner basert på modellen. Problemet oppstår når entreprenøren ikke får åpnet modellen da de ikke har lisens til det spesifikke programmet. Dette blir da kalt lukket- eller proprietær BIM.

Som en løsning på dette har den internasjonale organisasjonen, kalt BuildingSMART, utarbeidet et rammeverk kalt åpenBIM. Formålet til åpenBIM har naturligvis da vært

å åpne for en arbeidsflyt uavhengig av hvilken programvare man benytter seg av (buildingSMART, u.d.). For å få en ideell utnyttelse av BIM så må tre hovedelementer tilrettelegges: omforent lagringsformat, enighet om terminologi og kobling av BIM til relevante forretningsprosesser. Disse er hovedelementene for åpenBIM og refereres også til som BIM-trekanten (Statsbygg, 2010).

Tabell 4.1: Hovedelementene i BIM-trekanten, basert på (buildingSMART, u.d.)

Lagringsformat (Datamodell) IFC	Industry Foundation Classes (IFC) er et filformat som åpner muligheten for aktørene i byggenæringen å utveksle informasjon uavhengig av programvare. F.eks. 3D-modeller og beskrivelser av bygningsobjekter.
Terminologi (Dataordbok) IFD	International Framework for Data Dictionary (IFD) er buildingSMART sin dataordbok som gir grunnlag for felles terminologi i bruken av åpenBIM. Dette tillater at alle modeller tolkes entydig av forskjellige aktører og forhandlere. F.eks. FDV-dokumentasjon og produktspesifikasjon.
Prosess IDM	Information Delivery Manual (IDM) er buildingSMART sin standardiserte prosess og leveranse spesifikasjon som beskriver aktører, prosedyrer og krav til leveranse i prosjekter.

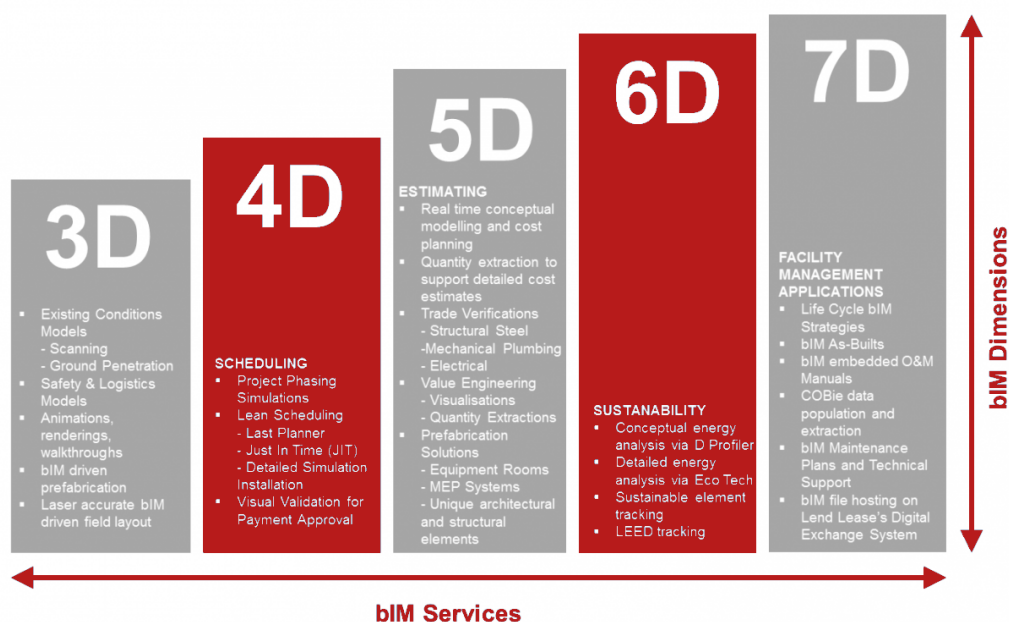


Figur 4.2: Illustrasjon av BIM-trekanten, basert på (Statsbygg, 2010).

4.4 Bruksområder til BIM

Den tradisjonelle metoden av å benytte 2D-papirtegninger for å visualisere hva som skal bygges har nå blitt byttet ut med digitale 2D- og 3D-løsninger. Den tradisjonelle metoden er ansett som lite effektiv. Et eksempel på dette er mengdeuttak av vinduer og andre objekter i et bygg, hvor man tidligere har måtte manuelt telle antall elementer ved bruk av papirtegninger. BIM er et kraftig digitalt verktøy som tillater at denne informasjonen kan hentes ut ved noen få tastetrykk. Denne digitaliserte informasjonen er mulig å hente til enhver tid. Dermed kan BIM benyttes som et verktøy for å forbedre flyten av informasjon og samhandling på tvers av de ulike fagdisiplinene (Sacks et al., 2010).

Dersom entreprenøren produserer en 3D-modell som mangler parametriske komponenter kan modellen kun benyttes som en visuell illustrasjon av prosjektet. Derfor bør informasjonskomponenter implementeres i BIM-modellen slik at den blir fullstendig og kan benyttes som et planleggingsverktøy (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2011). Desto mer informasjon man legger til i modellen, desto flere dimensjoner tilføyes modellen. De ulike BIM-dimensjonene vil bli presentert **Figur 4.3** og forklart nærmere i **Tabell 4.2**.



Figur 4.3: Oversikt over dimensjonene i BIM, basert på (Hengsberger, 2019).

Tabell 4.2: Beskrivelse av dimensjonene

Dimensjon	Generell beskrivelse
3D-BIM	<p>Dette er den mest brukte og kjente dimensjonen. 3D-modeller gir en visuell presentasjon av hva som skal bygges. Ved bruk av 3D åpner man muligheten for å gjennomføre en kollisjonskontroll (Eastman et al., 2011). Det vil si at man kan sjekke om det er sammenstøt mellom elementer. F.eks. om et el-rør kolliderer med et ventilasjonsrør. Denne kontrollen kan gjøres mellom alle de ulike fagene og bygningssystemene i 3D-modellen.</p>
4D-BIM	<p>Dimensjonen som legges til 3D-modellen gir prosjekteringsprosessen et løft ved å digitalisere fremdriftsplanleggingen (Eastman et al., 2011). Dette innebærer mulighet for gjennomgang og endring av planene flittigere, noe som igjen fører til mer pålitelige planer. Leveransen av produkter og materialer kan planlegges, dette gir entreprenøren mulighet til å planlegge aktivitetene i prosjektet bedre. 4D-modellen avslører altså potensielle flaskehalsar på byggeplassen og forbedrer samarbeidet i prosjektgruppen.</p>
5D-BIM	<p>Den femte dimensjonen åpner muligheten til å gjennomføre kostnadsanalyser ved å legge til informasjon om kostnader (Eastman et al., 2011). Fra før har 3D-modellen gitt mulighet til å gjøre mengdeuttak av komponenter, dette kan gi en oversikt over mengder av materialer som behøves. 4D-modellen har gitt oss muligheten til å lage en fremdriftsplan som kan gi en oversikt over timebruk. Dermed kan man få et kostnadsestimat av total prosjektkostnad, gitt at modellen er detaljert tilsvarende.</p>
6D-BIM	<p>Denne dimensjonen innfører livssyklusinformasjon til prosjektet. Informasjon om kvalitet og miljø blir tilgjengelig. Noe som gir</p>

muligheten til å gjennomføre miljøanalyser i forhold til sertifiseringene BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology) og LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) (FAGERHULT, u.d.).

Her kommer FDV (forvaltning, drift og vedlikehold) inn i bildet.

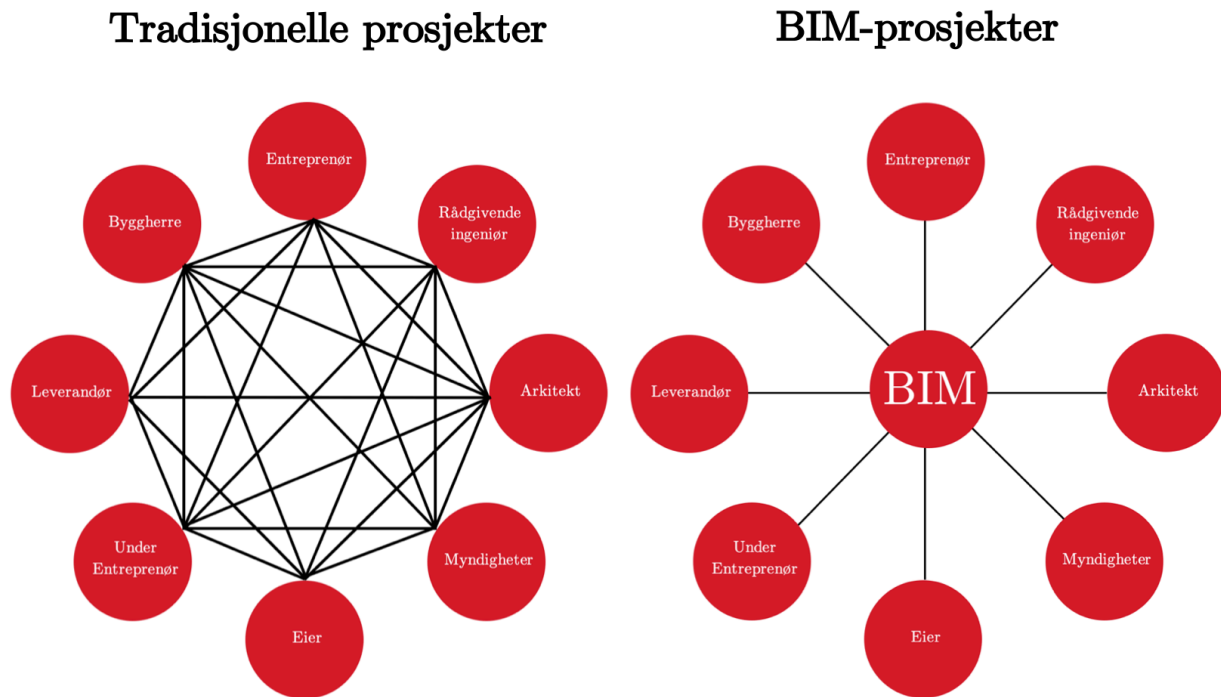
7D-BIM Modellen vil altså inneholde alle spesifikasjoner, drift, manualer og andre ting som vil være nyttig for fremtidig vedlikehold av et bygg.

4.5 Hva er et BIM-prosjekt?

BIM er altså et program eller en prosess som kan bestå av flere dimensjoner. Det store omfanget rundt definisjonen av BIM kan gjøre at et BIM-prosjekt også oppfattes på ulike måter. Et BIM-prosjekt utvikles rundt én og samme modell som skal benyttes av alle fagdisipliner. Her må prosjektlederen sørge for at ansvaret av grensesnitt og rutiner fordeles og opprettholdes (Westgaard, Moe, & Arge, 2010).

Eastman et al., 2011 adresserer at den optimale gjennomføringen for et BIM-prosjekt er Integrated Project Delivery (IPD). Altså bør det brukes en integrert prosjekteringsgruppe som benytter BIM-modellen til å analysere løsninger og vurdere eventuelle konflikter sammen. I en IPD har de forskjellige aktørene i prosjektet en felles kontrakt fra begynnelsen som vil motivere de forskjellige aktørene til å ta ansvar for oppdatering og bruk av modellen.

I et BIM-prosjekt har kommunikasjons- og informasjonsutvekslingen et felles referansepunkt i BIM-modellen (Chen, et al., 2005). Dette vil føre til en forbedret kommunikasjon mellom aktørene i prosjektet som igjen vil føre til en bedre flyt av informasjon. Sluttmålet bør være å eliminere overflødig bruk av ressurser.



Figur 4.4: Informasjons- og kommunikasjonsutveksling i tradisjonelle prosjekter vs. BIM-prosjekter, basert på (buildingSMART, 2013).

4.6 MMI – Modell Modenhets Indeks

Modell Modenhets Indeks (eng: Model Maturity Index) eller MMI, beskriver BIM-modellens modenhet ved bruk av tallkoder. MMI er en metodikk for kommunikasjon i gjennomføring av prosjekteringen som har en hensikt å redusere usikkerheten rundt «Level of Development» (Fløisbonn, Skeie, Uppstad, Markussen, & Sunesen, u.d.). For å oppnå en god prosess for BIM i et prosjekt, bør hver prosjekterende disiplin få tildelt modelleringskrav som definerer omfanget av modelleringen. Figuren under viser hvilke prosjekteringsaktiviteter som fører til de gitte MMI-verdiene.



Figur 4.5 Prosjekteringsaktiviteter med gitt MMI-verdi (Fløisbonn et al, u.d.)

Tabell 4.3 Beskrivelse av MMI-status, basert på Fløisbonn et al, (u.d.)

MMI-Status	Beskrivelse
MMI 100 – Skisse	Fram til man når denne statusen skal man etablere et eller flere forslag til løsning. Objektene på dette nivået anses som et skisseforslag, og det er mulig at det er modellert flere alternativer til løsninger. I prosessen frem mot MMI 200 velges det løsninger og konsepter
MMI 200 – Ferdig konsept	På dette nivået anses objektene i modellen som gjennomarbeidet med tanke på design. Dette forutsetter at det ikke kommer større endringer i konseptene som påvirker fagene etter dette nivået.
MMI 300 – Klar for tverrfaglig kontroll	Her skal hver enkeltdisiplin ha koordinert objektene i modellene sine. Objekter som er relevante for en tverrfaglig kontroll skal være modellert og ikke i konflikt med objekter i samme disiplin. Objektene skal her også ha riktig størrelse og plassering.
MMI 350 – Utført tverrfaglig kontroll	På dette nivået skal alle objektene være kontrollert tverrfaglig med hensyn til tilgrensende disipliner. Denne prosessen er iterativ og tverrfaglig koordinering vil først være slutført når alle tilgrensende disipliner oppnår denne statusen.
MMI400 – Produksjonsunderlag	Dette nivået krever at alle objektene er kontrollert og godkjent for bygging. Skulle det være konflikter eller innspill til endring må de sendes til prosjekterende disipliner. Når alle tilbakemeldingene er gjennomgått er objektet klart for produksjon.

MMI 500 – Som bygget	Dette nivået er avhengig av «som bygget»-dokumentasjon som er gitt i prosjektet. Avhengig av disse kravene kan modellen oppdateres i henhold til denne statusen.
-----------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Det kan, om det er hensiktsmessig, etableres MMI-verdier mellom disse hovedverdiene. Dette bør vurderes av det enkelte prosjektet.

Det kan være lønnsomt å planlegge MMI i definerte soner i prosjektet, f.eks. kontrollsonene i taktplanlegging (delkapittel **3.6**). Dette fordi man da kan systematisk kontrollere sonene av bygget i henhold til modenheten av modellen. MMI kan også benyttes av hver disiplin til å planlegge sine leveranser i soner, eller motsatt, man kan signalisere et behov for BIM-leveranse fra andre fagdisipliner. Dermed kan man ha BIM-modeller med samme modenhet i samme områder til samme tid. Dette fører til at man kan planlegge og strukturere kollisjonskontroller i prosjektet. Dette vil til syvende og sist heve kvaliteten på den tverrfaglige kontrollen og man kan spare prosjektet for potensiell tidsbruk og feilprosjektering. (Fløisbonn et al., u.d.)

4.7 BIM-kiosk

BIM-kiosker er løsningen for å bringe BIM til byggeplassen for arbeiderne i produksjonen. Dette underkapittelet baserer seg på Statsbygg sitt svar på BIM-kiosker i KHiB-prosjektet (Kunsthøgskolen i Bergen) (Statsbygg & KHiB team, 2018).

BIM-kiosker gir stor gevinst i den digitale samhandlingen. Kioskene kan være etablert i en flyttbar container i råbyggfasen, som kan oppgraderes til å være en mer mobil kiosk i innredningsfasen ved å være montert på hjul, slik som **Figur 4.6** viser. Kioskene inneholder en kraftig datamaskin som gir muligheten til å automatisk hente inn oppdaterte modeller fra webhotell/server. Her kan man hente ut nødvendig informasjon fra modellene, dette kan være alt fra mål og dimensjoner til informasjon om armeringen.



Figur 4.6 BIM-kiosk bygget i en innkassing montert på hjul (Statsbygg & KHiB team, 2018)

4.8 Fordeler og utfordringer ved bruk av BIM

Innføring av BIM vil føre til en mer integrert prosjekteringsprosess. Dette vil føre til en økt kvalitet, en redusert prosjektvarighet og en lavere kostnad (Sacks et al., 2010). Men ved bruk av BIM følger også noen utfordringer. I de to kommende tabellene vil ulike fordeler og utfordringer funnet i litteraturen ved implementering av BIM bli presentert.

Tabell 4.4: Fordeler ved innføring av BIM

Fordeler	Beskrivelse
Kommunikasjon og samarbeid	BIM gir utformingen av produktet og leveringsprosessen en forbedret plattform som legger til rette for kommunikasjons- og informasjonsutveksling (Forbes & Ahmed, 2011). Ved bruk av 3D-modellen vil alle involverte aktører få en visuell kjennskap til bygningen og de ønskede funksjonene. Deltakerne kan få en bedre forståelse for designet og kan dermed finne de optimale løsningene på designproblemene sammen (Krygiel & Nies, 2008).
Legge til rette for koordinering	Som en følge av innføring av BIM fører det også til god koordinering (Eastman et al., 2011). Et godt samarbeid gir også en bedre koordinering mellom entreprenører og underentreprenører. Kollisjonskontroller og korreksjoner av feil kan bli gjort før det blir problemer på byggeplassen. 4D-BIM vil gi de forskjellige aktørene et bedre innblikk i arbeidssekvensen. Altså vil bruk av BIM i koordineringsprosessen føre til enklere planlegging av prosjekt.

Øke gjennomsiktigheten (transparency)	I prosjektledelse er gjennomsiktighet (eng: transparency) kvaliteten av å gjennomføre kommunikasjon i et prosjekt med full åpenhet. Det vil si at alle deltakere har tilgang til den relevante informasjonen på en enkel og effektiv måte. BIM gir muligheten til nettopp dette ved å gjøre informasjon lett tilgjengelig. Enda en fordel er muligheten til å kommunisere visuelt for involverte parter uten teknisk bakgrunn, dette kan f.eks. være myndighetene.
Redusere sløsing	Ved hjelp av de overnevnte fordelene kan man også bidra til å redusere unødvendig sløsing. Ved bruk av BIM kan man få til et optimalisert design. F.eks. vil det være enklere å hente ut informasjon om inventar med økt nøyaktighet som vil sørge for en minimering av kostnader. Hyppige oppdateringer av informasjoner i modellene gir også prosjektlederne muligheten til å foreta avgjørelser raskere, noe som vil redusere tid.

Tabell 4.5: utfordringer ved innføring av BIM

Utfordringer	Beskrivelse
Endring av kultur	Byggebransjen blir sett på som konservativ. Selv om interessen og nytten av implementering av BIM foreligger, vil endringer være vanskelig å gjennomføre. Innføringen av BIM er et paradigmeskift for byggebransjen (Kubba, 2012). Det krever en hel omvelting av et firma da alle aspektene må endres. Dermed så kan utfordringene komme om man ikke ser gevinsten av BIM i begynnelsen.
Høye kostnader	Innføringen av BIM må være en helhjertet prosess hvor hele systemet integreres. Dermed vil mange, spesielt i

administrasjonen, se på profitten av å implementere det nye systemet. Innkjøp av de riktige lisensene og programvarene til alle brukerne er en høy kostnad. Setter man investeringskostnaden opp mot et prosjekt vil man som regel få et negativt økonomisk resultat da BIM bør bli sett på som en langtidsinvestering. Den største barrieren for implementering av BIM er nettopp at selskaper tror at opplæringen er tid- og ressurskrevende (Yan & Damian, 2008).

**Tidkrevende
opplæring**

Kostnader knyttet til lisenser og programvarer kan man få direkte og man kan regne seg fram til en lønnsomhet. Investeringskostnaden av kursingen av brukere og tiden det tar før man får til å bruke systemet optimalt er derimot mer krevende. Får man ikke til å bruke BIM skikkelig kan det føre til flere kommunikasjonsproblemer enn hva som opprinnelig forventes i prosjekter.

**Mange
oppdateringer**

Til supplement av de to øvrige punktene, så legger (Kassem, Brogden, & Dawood, 2012) vekt på at det er tidkrevende å holde 4D-modellen vedlike i forhold til modell og fremdriftsplan som oppdateres ofte gjennom et byggeprosjekt. Da 4D-modellen lages manuelt, vil den også måtte oppdatere seg like mange ganger som 3D-modellen.

Kapittel 5: Synergier mellom Lean og BIM

Fra teorien ser vi at Lean og BIM er to selvstendige initiativer som ikke er avhengig av hverandre. Vi ser dog at det er flere likheter mellom disse to initiativene. Det er en forventning om at for å effektivisere byggebransjen så må både Lean og BIM implementeres (Sacks et al., 2010).

“Lean is a management philosophy and BIM is a technology for effective management of project information. In other words, lean is a way of management and BIM is a tool for management” (Porwal, 2010)

I dagens byggebransje benyttes ofte begge to både bevisst og ubevisst. Det vil si at ved implementeringen av BIM vil man indirekte implementere elementer fra Lean Construction. Hovedprinsippet er at både BIM og Lean skal effektivisere byggebransjen. Begge metodene har et mål om å fjerne prosesser som ikke er verdiskapende og involvere aktører tidligere. Noen av synergiene funnet i teorien vil bli fremhevet i dette kapitlet.

5.1 Visualisering

Det første man tenker på når man nevner BIM er visualisering. BIM-modellen åpner opp muligheten for å samarbeide på en ny måte. Innen Lean så bidrar BIM ved at den skaper flyt i arbeidet. Ved hjelp av visualisering vil man unngå variasjon. Bruken av BIM åpner muligheten til å gjennomføre kollisjonskontroller som hindrer konflikter og feilproduksjoner som kan oppstå i produksjonen. Ved bruk av både BIM og Lean vil man altså kunne indentifisere flere designalternativer først, før man går videre til produksjonsprosessen (Ballard G. , 2008). Dette er med på å øke verdien for kunden.

5.2 Fleksibilitet

Lean filosofien bygger på å ha fleksibilitet i produksjonen. Det vil si at hvis det er behov for omstilling i produksjonen så kan det gjøres raskt og kostnadseffektivt. Det tillater bruken av BIM. Dersom kunden ikke er fornøyd med designet eller om bygget ikke oppfyller kravene som er satt, kan dette endres raskt i BIM-modellen. Endringene vil være tilgjengelig for alle deltakere umiddelbart. Dette forutsetter bruken av IFC-formatet som gir alle fagene mulighet til å åpne og endre modellen. Dette tillater bruken av multikompetanse i arbeidsgruppene som gir vesentligere fleksible løsninger.

5.3 Samarbeid

Ved å benytte seg av LPS er det naturlig å gjennomføre ukentlige eller daglige møter med prosjektlederne fra de forskjellige fagene. Lean-filosofien løfter takhøyden for åpenheten i kommunikasjonen mellom deltakerne. BIM gjør kommunikasjonen enklere ved å visualisere prosjektet. De felles løsningene som blir funnet under disse møtene kan tilføres BIM-modellen som vil forbedre samarbeidet i hele prosjektet. Ved bruk av 4D i BIM-modellen kan man løfte samarbeidet enda et hakk ved at man kan skape bedre forståelse ved hjelp av detaljerte fremdriftsplaner. Sammen med LPS kan man dermed måle progresjonen i prosjektet ved bruk av PPU.

5.4 Tidlig involvering av aktører

Involveringer av aktører med kjennskap til kostnader og materialer bør gjøres tidlig i prosjekteringsprosessen for å redusere feil og endringer. Vi har også opparbeidet oss kunnskapen om at ved tidlig involvering, vil designet være mer pålitelig da man mye tidligere har muligheten til å utforme og endre informasjonen i BIM-modellen (Koskela, 1992). Tidlig involvering av betydningsfulle aktører er et viktig prinsipp i Lean-filosofien også, og nødvendig for å praktisere BIM best mulig. Gjennom tidlig involvering vil prosjektgruppen få en bedre og økt forståelse av målene til prosjektet

(Eastman et al., 2011). Lean-filosofien vil altså involvere aktørene tidlig for å utnytte kunnskapene best mulig (Koskela, 1992). BIM vil involvere aktørene tidlig for å få den mest optimale utnyttelsen av BIM-modellen.

5.5 Reduksjon av inventar

Som en del av «the seven wastes», blir bruk av unødvendig lagringsplass for inventar sett på som en sløsing. Lean vil altså prøve å redusere denne mest mulig ved å benytte seg av Pull-planning (delkapittel 3.5.2). Det vil si at man bestiller materialer etter behov. Byggeprosjekter er som nevnt tidligere et dynamisk prosjekt hvor aktiviteter sjeldent går presist etter planen. Det vil si at man fortsatt kan oppleve at den avhengige aktiviteten før, ikke blir ferdig og at man dermed sitter igjen med en lagerbeholdning allikevel. Ved å benytte seg av 4D i BIM flittig kan man få til et bedre estimat av fullføringstidene til aktivitetene. Bruken av BIM gir en bedre oversikt over prosjektet som fører til at planlegging og koordinering blir mer pålitelig. Ved innføring av BIM og Lean vil man altså slippe unødvendig kapitalbinding ved å redusere inventaret.

Bruk av Lean-elementer som utnytter BIM vil altså gi en bedre prosjektledelse og en bedre samarbeidsplattform (Sacks et al., 2010). Ved bruk av BIM sammen med Lean, vil de ulike fagene få muligheten til å legge til mer informasjon i BIM-modellen som vil øke detaljgraden. Prinsippene i Lean Constuction krever god planlegging og koordinering mellom aktørene i prosjektet. Dette sikrer at arbeidet blir gjort når ressursene er tilgjengelige (Eastman et al., 2011). BIM sørger også for nettopp dette. 3D-modellen vil gi god visualisering og 4D-modellen vil sørge for god koordinering av ressursene. Det finnes flere synergier mellom BIM og Lean, men felles ved dem alle er at ved implementering av begge vil de forventede effektene være blant annet:

- Bedre kvalitet og ytelse av prosjekter
- Redusert byggetid og kostnader

Kapittel 6: Prosjektbakgrunn

I dette kapitlet vil de to valgte byggeprosjektene hvor intervjuobjektene er tilordnet bli presentert. Begge prosjektene er ledende i både kompleksitet og størrelse, dermed vil det være interessant å se på utfordringer og muligheter ved implementering av BIM og Lean i disse prosjektene. I kapitlet følger bakgrunn og faktaopplysninger om prosjektene.

6.1 SUS2023 – Stavanger Universitetssjukehus på Ullandhaug



Figur 6.1 Stavanger Universitetssjukehus prospekt (Aktiv HMS, u.d.)

Fakta om SUS2023:

Kostnadsramme: ca. 8,4 milliarder kroner

Areal: 105.000 m²

Byggestart: våren 2019

Innflytting: 2023

Byggherre: Helse Stavanger HF

Sykehuset i Stavanger har over en lenger periode opplevd en økende pågang av pasienter. I tillegg er det forventet en befolkningsøkning og en annerledes alderssammensetning i framtiden. Dermed vil det også forventes et ytterligere behov for spesialisthelsetjenester i Stavanger. Sykehuset har den siste tiden hatt flere funksjoner, både kliniske og administrative, flyttet ut av sykehusområdet til leide arealer for å avlaste arealknapphet.

Dermed har det blitt konkludert med at det skal bygges et nytt sykehus på Ullandhaug, i nærhet av Universitetet i Stavanger. Sykehuset skal utbygges i flere byggetrinn. Første byggetrinn skal stå ferdig i 2023. Dette inkluderer all somatisk (som har med kroppen å gjøre) døgnbehandling, nødvendige støttefunksjoner knyttet til dette og deler av dagbehandling/poliklinikk. (Helse Stavanger HF, 2017)

Det opplyses om i forprosjektet at SUS2023 har høye ambisjoner om å bruke digitale gjennomføringsverktøy med et utstrakt bruk av BIM.

“For å realisere målsetninger om bedre og billigere byggeprosjekter og eiendomsdrift med reduserte klimautslipp og mer effektiv ressursbruk, skal helseforetakene benytte digitalisering og BIM” (Helse Stavanger HF, 2017)

Prosjektet SUS2023 har en målsetning om at BIM skal bli benyttet som grunnlag for digital informasjonsutveksling mellom byggherre, prosjekterende, entreprenør, driftsorganisasjon og andre aktører. Det er i prosjektet også blitt valgt å benytte Lean som gjennomføringsstrategi.

“Lean filosofi og metodikk vil benyttes for å optimalisere gjennomføringen av prosjektet” (Helse Stavanger HF, 2017)

Det har i tillegg blitt satt krav til de involverte rådgivere og viktigste entreprenører om felles opplæring og forståelse for Lean mentalitet og metodikk.

6.2 Livsvitenskapsbygget – Universitetet i Oslo



Figur 6.2 Livsvitenskapsbygget prospekt (uio.no, 2018)

Fakta om Livsvitenskapsbygget:

Kostnadsramme: ca. 6,8 milliarder kroner

Areal: 66.700 m²

Byggestart: 1. kvartal 2019

Innflytting: 2024

Byggherre: Statsbygg

Livsvitenskapsbygget skal bidra til å løse store samfunnsutfordringer innen helse og miljø. Et tettere samarbeid med helseforetak, kommuner og næringsliv skal gi høyere kvalitet og relevans i forskning og utdanning. Livsvitenskapsbygget vil bli Norges største enkeltstående universitetsbygg. Bygningen vil ha fleksible løsninger slik at den i fremtiden kan tilpasses utviklingen innen forskning, innovasjon og utdanning. Bygningen skal være en arbeidsplass for ca. 1000 ansatte og 1600 studenter som driver med forskning og undervisning innen livsvitenskap, kjemi og farmasi. (uio.no, u.d.)

Det skal i byggeprosjektet, i likhet med SUS2023, benyttes Lean-metodikk. Statsbygg legger dermed vekt på at rekkefølgen på arbeidsoppgavene i byggeprosessen er nøye planlagt og spesielt tilpasset. (uio.no, u.d.)

Kapittel 7: Resultater

I dette kapitlet vil funn fra intervjuene bli presentert. Resultatene baserer seg på svarene som ble avgitt under intervjuene av representanter fra prosjektene presentert i det foregående kapitlet. Spørsmålene som har blitt stilt kan bli funnet i vedlegg A. Intervjuobjektene er listet i delkapittel **2.2.3**, det vil dog i dette kapitlet ikke bli hentydet hvem som står for de ulike resultatene/uttalelsene. Det vil derimot bli forsøkt å gjøre en sammenligning av resultatene mellom de to prosjektene der det vil være naturlig.

7.1 Kunnskap og holdninger til bruken av BIM

Intervjuobjektene er ganske samkjørte på spørsmålet om hvordan holdningen til bruken av BIM er i bransjen. Holdningen er god og de fleste tenker det nå er naturlig at man bruker BIM. En kjent ting som også kommer frem er at ingen er positive til endring.

“Vil tro at de som er ingeniører er mer pro BIM enn de som er ute på arbeidsplassen. Det har litt med at per i dag så er det ingen voldsom revolusjon for de der ute.” (Intervjuobjekt)

Denne siteringen henger mye sammen med grunnen til at man ikke er positive til endring. Man må oppdage at det blir enklere å jobbe. Et godt eksempel på dette er hvordan de i begge prosjektene har gått helt bort fra bruken av tegninger når det gjelder armeringen i betongen. Her ser man en nytte ved at man får en bedre forståelse av armeringen ved bruk av modell. Man ser dog i andre deler av byggeprosjektet at beskrivelse og tegninger har forrang foran en BIM-modell. Flere av arbeiderne kikker på modell i BIM-kiosken og får en forståelse, men printer ut et støtteark de kan ta med seg på byggeområde.

Intervjuobjektene er også ganske positive om kunnskapsnivået angående BIM i bransjen. Her mener de den enten er god eller økende. Samtidig kommer det frem at det er en rekke faktorer som gjenspeiler seg i graden av kunnskap om BIM: utdanning, arbeidsstilling og alder. Alder, sammen med teknologi og digitalisering henger godt sammen. For de nyutdannede teknologistudentene, er det naturlig å ta i bruk BIM, og det er som regel en del av utdanningen. For håndverkerutdanningen kommer det frem at de har blitt flinkere til å ta i bruk BIM, dette er takket være den økende bruken av BIM-kiosker i byggeprosjekter.

7.2 Kunnskap og holdninger til bruken av Lean

I spørsmålet om holdningen rundt bruken av Lean, er meningene splittet mellom intervjuobjektene. Forskjellen på holdningene henger sammen med rollene i byggeprosjektet. Intervjuobjektene som representerer entreprenørene viser en mye større skepsis. Intervjuobjektene som har en større rolle i prosjekteringen forteller at de ikke får helt erfare Lean-tankegangen i sitt arbeid, men legger trykk på at de ser det positive i det. De i prosjektledelsen er veldig positive til bruken av Lean. Fellesnevneren er at samtlige ser at Lean er en ny måte å tenke og arbeide på.

“I og med at folk helst vil jobbe slik de har gjort før, vil ikke dette bli tatt i bruk med mindre byggherre krever bruk av Lean” (Intervjuobjekt)

*“Det å omvende, det er litt som religion, du skal omvende en masse mennesker til å catche poenget først, så skal de endre mentalitet og forstå hvordan den endringen skal foregå. Det er fortsatt en lang og trå vei og gå.”
(Intervjuobjekt)*

Kunnskapen om Lean er økende i byggebransjen. Intervjuobjektene har fått med seg statistikken som tilsier at det lønner seg å benytte Lean. De fleste intervjuobjektene kjenner til bruken av taktplanlegging, og kan sitere analogien med tog og vogner. De har derimot ikke stor kunnskap om de andre metodene innenfor Lean. Flere av

intervjuobjektene nevner «lappeplanlegging», dette er noe de har hørt om, men ikke har så mye kunnskap om.

7.2.1 Lean som pålagt gjennomføringsstrategi

Lean har i begge prosjektene blitt pålagt som gjennomføringsstrategi. Samtlige av intervjuobjektene forteller at de er positive til det. I begge prosjektene har man krevd at entreprenørene har forkunnskaper om Lean-metodikk.

“Jeg stiller meg veldig positiv til at man har strategier som gir klarere retningslinjer på hva man skal gjøre i et prosjekt.” (Intervjuobjekt)

7.2.2 Suksessfaktorer og barrierer for vellykket implementering av Lean

Det er ingen tvil om at det alltid er enklest å gjøre ting som er kjent fra før. Derfor trekker flere av intervjuobjektene frem at man bør ha folk som kan Lean fra før og har erfaring fra prosjekter som har brukt Lean tidligere. Dermed bør man vurdere å hyre inn eksterne Lean-konsulenter dersom denne erfaringen mangler. Noen av intervjuobjektene trekker også frem at det vil kreve et visst antall suksessprosjekter med bruk av Lean for å få til en ønsket utvikling. Da Lean er et relativt nytt fenomen i norsk byggebransje, så krever det opplæring av entreprenører og andre deltakere i prosjektet. Det kommer derfor frem at det er viktig at dette er kontraktsfestet slik at det ikke kommer en ekstraregning på bruken av Lean.

“Et byggeprosjekt er uendelig komplekst, men det er mulig å gjøre det mindre utfordrende i sin kompleksitet ved å tenke flyt og prosess. Vi må da frigjøres fra deg og meg. Vi må tenke vi og på produktet vi skal levere, som er hovedmålet. Det tenker jeg er en av de største utfordringene.” (Intervjuobjekt)

Det kommer altså frem som et nøkkelpunkt at det må til en mentalitetsendring for at Lean skal kunne blomstre. Det bør hele tiden være en åpen dialog mellom deltakerne i

prosjektet slik at man alltid kan forklare hvorfor Lean-metodikken er viktig for prosjektet, og på den måten skape en forståelse.

“Det å virkelig fortelle om metodikken, få folk til å forstå det, og kanskje gjenta det med noen mellomrom, siden det har kommet inn noen nye folk siden sist. Det er noe man må øve på å gjenta.” (Intervjuobjekt)

Lean-tankegang kan være vanskelig å forstå, og dermed kan det ta tid å få folk til å endre mentalitet. Intervjuobjektene er alle enige i at man trenger en ledelse som er positive og er med på å dytte mentalitetsendringen på de ansatte. Det blir nevnt en «top-down»-strategi som betyr at man må ha en top-sjef som er med og sørger for at det blir gjort:

“Man bør være top-down, hvis ledelsen sier at vi skal bruke Lean, så må alle bruke Lean, inkludert sjefen.” (Intervjuobjekt)

Det er blandede meninger om dette. Et intervjuobjekt sier at det er veldig mye snakk om Lean og samhandling hos ledelsen, men når man kommer ned på byggeledernivå, så ser man utfordringene og man sympatiserer med entreprenøren. Det kommer derfor frem at det er viktig å få til en bottom-up-bevegelse i tillegg.

“Du må få til den bottom-up-bevegelsen. Top-down er strategi, plan, mål og hensikt. Bottom-up er engasjement, motivasjon og vilje.” (Intervjuobjekt)

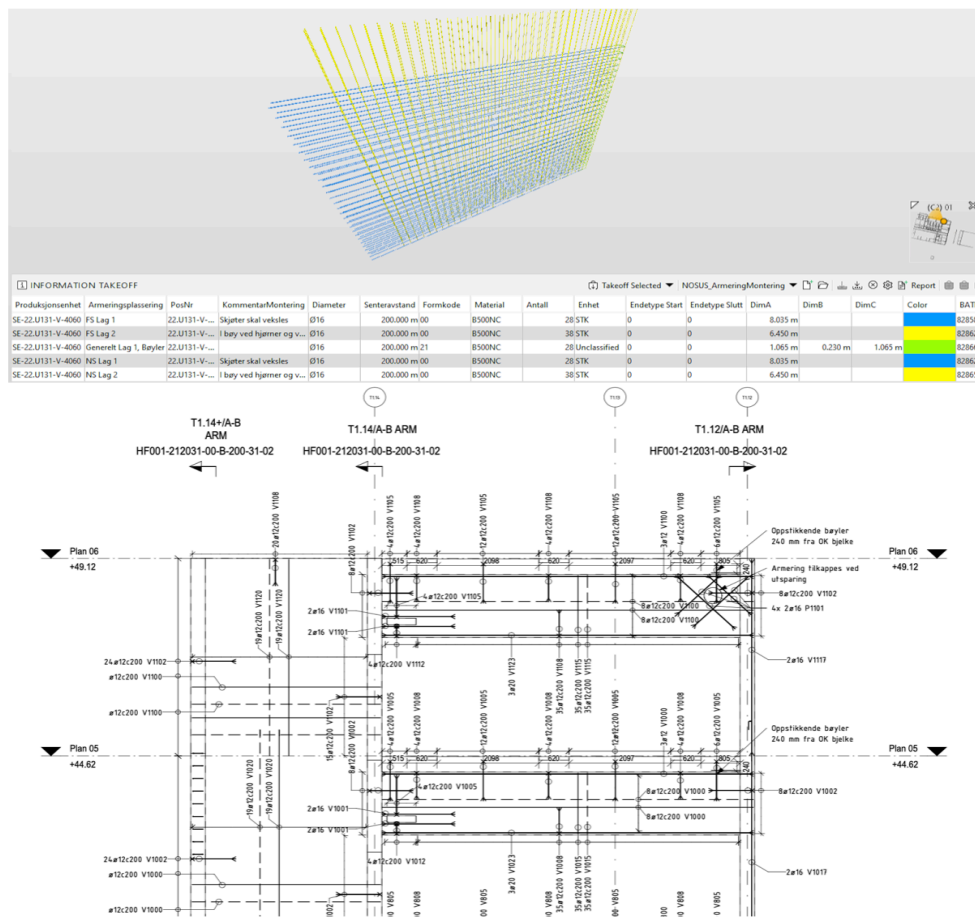
Man må altså ha en bevisst holdning og strategi til implementeringen av Lean. Dette inkluderer en opplæringsplan som er med på å skape oppmuntring, glede og motivasjon på alle nivåer. På den måten kan man få til en vellykket implementering av Lean. Men det krever veldig mye av de som driver prosessene. Man må få det beste ut av folk, og man må få dem til å tenke litt utradisjonelt ved at man må begynne å sette realistiske datoer på når man kan ha ting klart.

7.3 Bruk av BIM

Både holdningene og kunnskapen rundt bruken av BIM har vist seg å være god. Bruken av BIM gir en rekke fordeler, men også noen utfordringer. Det ble også valgt å stille en del spørsmål om bruken av 4D-BIM i intervjuene.

7.3.1 Fordeler ved bruk av BIM

Samtlige intervjuobjekter nevnte den samme fordelen først når de ble stilt spørsmålet, det er også kanskje den mest selvforklarende fordelen ved bruk av BIM, nemlig muligheten til å visualisere tegninger 3-dimensjonalt. Bruk av 3D-modell gjør det enklere for alle aktørene å forstå problemet på samme måte. Intervjuobjektene trekker her frem grunnen til at de har gått fra å bruke 2D-armeringstegninger til å kun bruke modell. Dette er fordi armeringstegningen ofte kan virke komplisert ved første øyekast, men ved bruk av modell så er den mye mer forståelig.



Figur 7.1 Eksempel på armeringstegning i 3D og 2D, tilsendt av intervjuobjekt.

“Visualisering for en som jobber mye med planlegging, vil gi verdi i form av at han får bedre forståelse og sikrer at fremdriften er i henhold til det man planlegger. I produksjonsfasen så vil jo de som skal bygge det få en bedre forståelse av hva de faktisk bygger.” (Intervjuobjekt)

Intervjuobjektene nevner også visualisering som et stort pluss da det gir en bedre forståelse for kunde og byggherre når man skal legge frem alternativer i modell kontra tegninger. Brukerrelaterte ting har også blitt avdekket ved hjelp av visualisering i BIM-Cave:

“F.eks. så man fra sykehussengen at man ikke kunne se ut over vinduskarmen. Man kan avdekke litt sånne ting siden man kan «realitets-sjekke» bygget.” (Intervjuobjekt)

Samtidig vil bruk av BIM kunne føre til bedre samhandling mellom aktørene. Den tredimensjonale modellen gir et godt underlag å diskutere problemstillinger på. Kollisjonskontroller er kanskje det mest nyttige, da man kan plukke opp ting man kanskje ikke ser på tegningen:

“Man kan ta opp modeller og vise at et rør kommer i konflikt med den søyla.” (Intervjuobjekt).

Altså vil disse kollisjonskontrollene føre til en mye bedre samhandling mellom de ulike fagene i prosjektering.

Et intervjuobjekt forteller også fordelene ved å kunne få kontroll på mengder i modell. En av styrkene til Solibri er nettopp dette, at man kan få ut mengder av modellen. Man må derfor også sørge for at modellen er kontrollert for duplikater. For duplikater i modellen blir feil i bestilling. Dette vil føre til at man kan få en god oversikt og optimalisere bestillingen av produkter og materialer i form av mengder.

7.3.2 Fordeler ved bruk av 4D-BIM

En 4D-modell er en 3D-modell tilføyet en ekstra dimensjon. Dermed har den allerede mange av de samme fordelene som i en 3D-modell. Den ekstra dimensjonen som er tilføyet gir mulighet til å lage en fremdriftsplan tilknyttet 3D-modellen. Intervjuobjektene ble derfor spurt hvilke eksplisitte fordeler man så i bruk av 4D-BIM.

“Mye av effekten er å gi anleggsledere og prosjektledere en trygghet på at det de har planlagt går, også kommunisere ut denne fremdriftsplanen. Dette Gantt-diagrammet, det er ikke alle som forstå den like lett. Visualisering blir et supplement.” (Intervjuobjekt)

Feil og mangler i en fremdriftsplan er enklere å oppdage ved å visualisere og simulere oppgavene i den gitte rekkefølgen. Foruten 4D, så benyttes Gantt-diagram til å kommunisere ut fremdriftsplanen eller taktplanen. Gantt-diagrammet kan virke skremmende for noen gitt sin kompleksitet. Dermed kan visualiseringen av fremdriftsplanen ved hjelp av 4D hjelpe ved at man får et bedre bilde på hva som skal bygges. Det nevnes også at 4D er fordelaktig i løsningen av logistikkutfordringer og riggplanlegging. Dermed vil 4D-simuleringer være med på å optimalisere produksjonen.

Bruken av 4D er veldig varierende i de to prosjektene. I SUS2023 nevnes det at man har fått til en kobling mellom planleggingsverktøyet Safran og 4D-verktøyet Synchro slik at man kan få til en automatisk import av fremdriftsplanen i 4D-modellen. Det har derimot ikke blitt brukt i full utstrekning på grunn av manglende kompetanse i bruk av verktøyet. En begrensning som nevnes er kompatibilitet av et litt for stort prosjekt i forhold til hva verktøyet takler.

På den andre siden har de i SUS2023 fått til å bruke 4D-simulering til å avgjøre rekkefølgen byggene skal bygges i. I Livsvitenskap så blir 4D brukt som en bekreftelse av fremdriftsplanen og til å planlegge rigg og drift. Altså har verktøyet kun blitt brukt

til å verifisere eller optimalisere plan i begge prosjektene, som åpenbart er en stor fordel ved bruken av 4D.

7.3.3 utfordringer ved bruk av BIM

I en bransje som er i en overgangsfase når det gjelder hva slags verktøy og metoder som skal benyttes i prosjektet, så er det naturlig at det også er utfordringer ved implementering av nye verktøy.

Flere intervjuobjekter opplever at programvarene ikke er kraftig nok til å benyttes ute på arbeidsplassen. I SUS2023 er det forsøkt å benytte BIM-verktøyene Solibri og StreamBIM på håndholdte enheter. Det oppleves da at modellene er for tunge å jobbe i. Dermed foretrekker håndverkerne å printe ut papirtegninger isteden. I tillegg fortelles det at modeller generelt ikke har gode nok målefunksjoner for håndverkerne å montere etter. Det blir da gitt alt for mye rom for menneskelige feil når man tar mål i en modell, sammenlignet med når man leser av en tegning og ser hvilken målsetting veggene har i forhold til en akse.

I så store prosjekter som SUS2023 og Livsvitenskapsbygget så er ikke hele modellen ferdig i det byggeprosessen begynner. Oppdager man noe uforutsett på byggeplassen som gjør at modellen må endres, så er ikke det den raskeste og enkleste prosessen. Intervjuobjektene forteller at det er et stort apparat som må inn for å foreta endringene. Endringene kommer ikke frem før neste oppdatering i modellen. Det nevnes at det kunne ta lenger tid enn tidligere, da prosessen for å endre en revisjon på tegning var raskere.

En annen utfordring som tas frem av noen av intervjuobjektene er mangler i det kontraktuelle. Dårlige beskrivelser av hva som skal leveres i henhold til BIM i kontrakter er en med på å hindre utviklingen i bruken av BIM.

“Jeg har til og med lest kontrakter hvor det står at man skal levere full-BIM. Men hva er det? Det er jo ingen som vet.” (Intervjuobjekt)

De fleste intervjuobjekter trekker frem at BIM enten allerede er et krav i alle kontrakter eller at det bør bli det. Det bør da være en selvfølge at man har en god beskrivelse av hva som skal leveres, og til hvilket formål. Statsbygg er på god vei i løsningen på mangelfulle kontrakter. De har opprettet en BIM-manual som har blitt utviklet sammen med flere aktører i bransjen. Denne skal dermed kunne redegjøre for eventuelle mangler som kan forekomme i en kontrakt.

7.3.4 Utfordringer i bruk av 4D-BIM

Bruk av 4D-modell er en krevende oppgave. Først og fremst så kreves det en struktur i modellen for at det skal være mulig å benytte seg av 4D-simuleringer. Et intervjuobjekt forteller derfor at det jobbes en del med tilrettelegging for 4D i prosjektering. Som nevnt tidligere så vil det mest sannsynlig forekomme endringer i store prosjekter som SUS2023 og Livsvitenskap. Det kan komme endringer i både plan og i modell, hvorav begge er en forutsetning i en 4D-modell. Et intervjuobjekt forteller at det å lage en 4D-modell er en iterativ prosess. Med det så menes det at 4D-modellen må oppdateres hver gang det er endring i en fremdriftsplan eller en 3D-modell.

En annen utfordring som blir nevnt av intervjuobjektene er utfordringen i hvem som kan lage 4D-simuleringer og hvem som kan lage fremdriftsplaner. For det er som regel ikke samme person:

“Anleggslederne er gode på å planlegge, de begynner ikke med modellen, for det verktøyet kan de ikke så godt.” (Intervjuobjekt)

Det samme gjelder den andre veien. For de som kan lage 4D-simuleringer er ikke så gode på å lage fremdriftsplaner da de ikke har anleggserfaring. I tillegg nevnes det at

det tar ca. 2-3 dager å lage en 4D utefra en fremdriftsplan. Denne tiden har ikke anleggsleder til å sitte med et 4D-verktøy:

“Hvis du spør en anleggsleder hos oss, så er det viktigste for han, at man gjør det enkelt for han der ute. Fra før så har han 1-tastetrykk, og det er å åpne en tegning.” (Intervjuobjekt)

Dermed kan det sies at hele prosessen med å benytte seg av 4D-simulering er en tidskrevende oppgave. Derfor bør det vurderes en nytte/kost analyse om bruken av 4D.

7.3.5 Tiltak som må til for at BIM skal bli benyttet mer aktivt

Til tross for utfordringene som blir nevnt i de to foregående delkapitlene, hadde flere av intervjuobjektene forslag til tiltak som kunne implementeres for at BIM skulle bli benyttet mer aktivt.

Samtlige intervjuobjekter var samkjørte på at man måtte gjøre programvarene enklere. Grad av simplisitet henger også godt sammen med kompetansen rundt programvarene. Selv om de fleste intervjuobjektene mente at denne kompetansen var god nok (delkapittel 7.3.1), så mener fortsatt noen intervjuobjekter at denne kompetansen fortsatt kan heves.

Som et annet tiltak nevnes det at man bør fjerne tegningene totalt fra prosjektene. Det er først da alle kan tilegne seg de riktige erfaringene:

“Så lenge du har en tegning, vil modellen være et supplement. Men tar du fra han tegningen, så vil han bruke modellen.” (Intervjuobjekt)

BIM er praktisk talt standarden i prosjektering. Men for håndverkerne, så må de få brukt det mer, slik at behovene kommer frem. Et behov som allerede har blitt fremmet er tilrettelegging i form av mindre inndelinger. Når en håndverker går i BIM-kiosken og tar frem modell, så er håndverkeren kun interessert i den informasjonen som trengs

i det arbeidet som skal bli gjort på det tidspunktet. Men når håndverkeren åpner modellen, så åpnes hele bygningen, det gir ikke håndverkeren verdi i dette tilfellet. Det menes derfor at for å få maks effekt av BIM, så må noe kuttet fra modellen.

7.4 Bruk av Lean

I likhet med BIM så er holdningen til Lean som metode god. Kunnskapen er på den andre siden økende og nødvendigvis ikke så god. Dette er til tross for at metoden er valgt som gjennomføringsstrategi i begge prosjekter. Begge prosjektene er i en tidligfase hvor det er høy grad av usikkerhet i både grunn- og betongarbeid. Det ble derfor valgt å undersøke hvordan Lean-metodikken fungerer i denne fasen av prosjektet.

7.4.1 Metoder

Som nevnt i litteraturkapittelet så finnes det flere metoder innenfor Lean. Intervjuobjektene fremstiller metodene ulikt, noen av metodene som nevnes er ingen ren form for Lean-metodikk, men derimot så har metodene stor Lean-influens. Igjen ser man at det er en forskjell på hvilke metoder som nevnes i forhold til hvilken rolle man har i prosjektet.

I SUS2023 benyttes et program som heter Safran, der planlegges fremdriften. Intervjuobjektene forteller at man i Safran har de samme vognene som i taktplanlegging (delkapittel 3.6). Et intervjuobjekt forteller at de internt i sitt entreprenørselskap planlegger fremdriften ved bruk av Excel, men så er de i henhold til kontrakten forlanget å legge dette inn i Safran i tillegg. I Safran opprettes det en uke-uke-plan som er basert på bakoverplanlegging. Også her trekkes det frem, som i delkapittel 7.3.4, at det er anleggslederne som lager disse planene.

“Formannen i dette prosjektet bruker 2D-tegninger for å lage disse planene. «Enklere å fargelegge på en 2D-tegning enn å legge det inn i modellen»”. (Intervjuobjekt)

Det fremmes fortsatt av prosjektledelsen at taktplanlegging og taktkontroll er noe av det viktigste. De har nå begynt å taktplanlegge tettbygg og innvendige arbeid i SUS2023.

I Livsvitenskap så benyttes både taktplanlegging og Last planner System. Sistnevnte er forsøkt digitalisert ved bruk av et prosessverktøy kalt Cogito. Det er en platform hvor du ser milepæler, nøkkelpunkter, leveranser og aksjoner. Et intervjuobjekt forteller om gode erfaringer i bruk av verktøyet:

“Jeg har god erfaring med det nå, fordi det fungerer veldig godt for å synliggjøre leveranser. Det er veldig lett å forholde seg til sine leveranser, man har en god oversikt over fremdrift, planlegging og kan få innsyn.”
(Intervjuobjekt)

Det trekkes også frem at innsynet til de andre prosessene som skjer i prosjektet er verdifullt. Basert på informasjonen man finner i Cogito får deltakere muligheten til å planlegge oppgaver, kontroller og det som må gjøres i prosjektet. Samtidig får man knyttet arbeidet opp mot milepælene. Samtidig ser de i Livsvitenskap en utfordring ved å bruke Last Planner System digitalt:

“Når du klapper sammen pc-en, så ser du ikke noe igjen. Det å ha en visuell vegg, som skaper den transparensen, det ser jeg likevel som utrolig viktig.” (Intervjuobjekt)

7.4.2 Fordeler og utfordringer ved bruk av taktplanlegging

Intervjuobjektene forteller at taktplanlegging er den planleggingsmetoden som enten benyttes eller er planlagt å bruke. Selv om begge prosjektene er i tidligfase, så nevnes det både fordeler og utfordringer ved bruk av taktplanlegging.

“Det handler om å kunne jobbe kontinuerlig på et område uten å bli forstyrret. Sånn at det ikke blir mye oppstykket arbeid fram og tilbake.”

(Intervjuobjekt)

Intervjuobjektene er enig i at det er mye å tjene i å bruke taktplanlegging. Det trekkes frem at det er ønskelig å oppnå en best mulig flyt. Dermed kunne gjøre ting riktig første gangen, istedenfor å måtte gjøre ting flere ganger, som skaper både frustrasjon og kostnader.

I SUS2023 så har man tenkt taktplanlegging helt fra begynnelsen. Dette har ført til at de har planlagt en del standardisering. Altså benytte seg av en del standardløsninger som vil gi en mye bedre flyt til toget i innredningsfasen. Taktplanleggingen i betongarbeidet har derimot vært fraværende.

“Når det gjelder betongarbeid så kan det være at man må løse litt ting på farten og da passer det kanskje ikke helt med Lean. Men tror det vil fungere bedre hvor man har bedre kontroll på forutsetningene. Tror Lean-prosessene vil fungere bedre i innredningsprosessen.” (Intervjuobjekt)

Intervjuobjektene trekker frem at det er uheldig med uforutsette ting i en stor plan med mange avhengigheter. Et intervjuobjekt mener at taktplanleggingen blir for lite fleksibelt hvis det oppstår akutte ting. Det nevnes også av flere intervjuobjekter at det er vanskelig i tidligfase å bryte ned aktiviteter og dermed sette start- og sluttidspunkt.

7.4.3 Taktplanlegge grunn- og betongarbeid

Det har allerede kommet frem at det er utfordrende å taktplanlegge grunn- og betongarbeid:

“Grunnarbeidene er det vanskelig å lage en homogen/entydig struktur med repeterende oppgaver eller serie av oppgaver. Betongarbeidene er litt bedre, men også her er det mye de samme oppgavene; altså lite serier.”

(Intervjuobjekt)

Dette kommer frem som hovedgrunnen til at taktplanlegging enda ikke hadde blitt benyttet i SUS2023. Vi ser derimot i Livsvitenskap at taktplanlegging har blitt benyttet i grunnarbeidet. Et intervjuobjekt fra Livsvitenskap ble derfor utfordret på å fortelle hva som måtte til for å få til en taktplanlegging. Intervjuobjektet forteller at det er mulig å taktplanlegge både grunn- og betongarbeid, men forteller at det samtidig er veldig krevende.

“Man må være systematisk og strukturert. Man må tenke nøye på hva som faktisk er selve prosessen, og man må være villig til å lage et utgangspunkt (en prosessbeskrivelse) som man så justerer etter hvert som erfaringer høstes (prosessforbedringer).” (Intervjuobjekt)

I tillegg til dette forteller intervjuobjektet at det kan være at noen faser vil overlappe hverandre. Da må man rett og slett venstreforskyve en del svar, altså finne løsninger på problemer mye tidligere. Intervjuobjektet forteller at de benytter noe de kaller for 14-10-6, altså at man 14, 10, 6 og 1 uke før gjør en avsjekk som sjekker om det er noen hindringer tilknyttet gjennomføringen av en aktivitet. Det er altså mulig, og det ser vi i Livsvitenskap. Men det er vanskeligere og det krever at man må være strukturerte. I tillegg forteller intervjuobjektet at man noen ganger må komme frem til et kompromiss i planleggingen for at det skal kunne gå rundt i planleggingen:

“Rådgivere må lære seg å komme til nivået «godt nok», i motsetning til nivået «komplett ferdig / to streker under svaret / trenger ikke å komme tilbake til dette». «Godt nok» bruker mindre tid og ressurser og fører (trolig) raskere til målet, for da må man (i worst case) ikke helt tilbake til start og begynne på nytt (dersom det man har gjort er «feil»).” (Intervjuobjekt)

7.5 Synergier mellom Lean og BIM

Et intervjuobjekt presiserer at Lean og BIM på mange måter er skapt for hverandre:

“En forutsetning må være at prosjekter som bruker BIM er lettere å forstå og bruke. BIM er et verktøy, Lean er en metodikk, en mentalitet. Å få folk til å skjønne og endre mentaliteten og metodikken er ikke like lett. Det gjør at de fungerer veldig godt sammen. Utviklingen er lettere å få til med BIM.” (Intervjuobjekt)

Selv om Lean er et relativt nytt konsept i norsk byggebransje, så ser man at det allerede finnes metoder i bransjen som ligner Lean-metodene, men som verken er like godt beskrevet eller navnsatt.

“Det som var litt interessant når vi kjørte Lean-kurs tidligere var at vi fikk plutselig knagger å henge den måten vi jobbet på. Vi fikk muligheten til å bekrefte at tankegangen vi har hatt, den passer veldig godt inn i det vi lærte i de kursene.” (Intervjuobjekt)

En ting som har blitt trukket frem fra begge prosjektene, er at det har blitt gjennomført daglige tavlemøter på byggeplassen. Dette skjer ofte i en container på byggeplassen, hvor det henger oversikter og fremdriftsplaner. Der står de ulike entreprenørene og går gjennom dagens oppgaver og hvordan de skal løses. Tavler blir benyttet til å markere ut hindringer og utfordringer tilknyttet arbeidet.

7.5.1 Samarbeidet mellom aktørene

Intervjuobjektene fremmer at ved å benytte seg av Lean-mentaliteten så har man kunnet samarbeide på en bedre måte.

“Hvis man kan lage en naturlig flyt, en naturlig bakoverplanlegging ved bruk av BIM. Da tvinger man også folk til å jobbe sammen.” (Intervjuobjekt)

En ting som ble tatt opp av flere av intervjuobjektene var hvordan samarbeidet ble økt i prosjektering ved hjelp av Modell modenhets indeks (MMI) (delkapittel 4.6). Lean-planlegging støtter seg opp under modenhetstankegangen ved at man har en utvikling og modenhet som jobber i takt med prosjektet. På den måten kan man knytte kollisjonskontrollene opp mot modenhetsgraden slik at man kan være sikker på at objekter som kolliderer ikke mangler.

“Hvis arkitekten gitt en verdi på at et objekt til å være 100, også har RIB gitt en verdi til å være 300, så ser vi at det er en utakt mellom dem, ved at arkitekten har en lavere modningsgrad enn Ribben.” (Intervjuobjekt)

På denne måten så slipper man å ha et etterslep i modell. Et intervjuobjekt sier at han ved hjelp av MMI har sluppet mye ekstraarbeid av å gjøre ting som allerede har blitt endret på. Denne strategien har ikke blitt helt perfektjonert enda og man ser fortsatt utfordringer i prosjektering. Et intervjuobjekt drar fram en analogi:

“Du har åtte båter, som skal ro 2 km. Det som ofte skjer i prosjektering, hvis hver båt er hver disiplin, og alle padler på for å bli ferdig, er det at de glemmer at de egentlig ikke skal først i mål for så å gå over på neste prosjekt. De skal holde linja hele tiden for å komme framover i en jevn rytme og hastighet. For å passere de samme hovedmilepælene. Og det er en mentalitetsutfordring som prosjekteringen ikke har catchet helt.” (Intervjuobjekt)

7.5.2 Tidlig involvering av aktører

Intervjuobjektene forteller at de i begge prosjektene har valgt å benytte seg av noe som heter systematisk ferdigstillelse i tillegg til Lean-metodikken. Systematisk ferdigstillelse bygger mye på Lean-tankegangen. Dermed har mye i planleggingen og fremdriftsplanen blitt venstreforskyvet. Dette fører til at aktørene må mye tidligere inn.

“Vi har derfor lagt en plan, for alle de som skal anskaffe, fordi vi trenger den informasjonen som leverandøren gir, vi trenger ikke dingsen enda, det er en stund til. Det betyr at de må om bord mye tidligere.” (Intervjuobjekt)

Et intervjuobjekt trekker frem ventilasjonsventilene i fasaden som et eksempel. Ved at man benytter seg av systematisk ferdigstillelse, har man allerede nå fått inn informasjon fra leverandør om hvor store ventilene i fasaden må være. Da slipper prosjekterende å synse en størrelse, som muligens må endres senere.

“Prosjekteringsgruppen må nå forholde seg til aktører som vanligvis ikke er der. Hvor man tradisjonelt har antatt og de rådgivende ingeniørene antar den beste løsningen.” (Intervjuobjekt)

Kapittel 8: Diskusjon

I dette kapittelet skal forskningsspørsmålene i oppgaven bli diskutert ved hjelp av teori fra litteraturstudiet og de tilegnede resultatene fra intervjuene.

8.1 Hva er premissene for implementering av BIM og Lean

Litteraturen sier lite om premissene for implementering av BIM og Lean. Kubba (2012) forteller at BIM er et paradigmeskift for byggebransjen. Implementeringen kan være krevende for et firma da mange aspekter av det må endres. Det er de i bransjen som får best erfare premissene for implementeringen i egne prosjekter og bedrifter. Derfor er svarene her basert på erfaringene til intervjuobjektene og undertegnedes tolkning av dem.

Holdningene til bruken av BIM og Lean er god, men man ser en erfaringsmessig forskjell blant de ulike rollene i et byggeprosjekt. Prosjektlederne ser det overordnede og ser en klar fordel i bruk av både verktøyet og metodikken, dermed er de også de som er mest positive til bruken. Altså må man høste gode erfaringer, slik at prosjektet på alle nivåer ønsker å benytte seg av både BIM og Lean. En løsning som blir nevnt er at man må fortelle om metodikken, prøve å folk til å forstå den, og til og med gjenta det ved jevne mellomrom. Dermed kan man prøve å få til en bottom-up-bevegelse, som er engasjement, motivasjon og vilje, dette vil være betydningsfullt i suksessgraden ved implementeringen. Det ser man for eksempel som årsaken til at det gått over til heldigitale løsninger på armeringstegningene. Dette er fordi man har fått erfare at det er en klar fordel ved å benytte en digital løsning, og dermed vil alle benytte seg av dette, på alle nivåer. Et premiss vil følgelig være å skape motivasjon og engasjement slik at verktøyet og metoden vil ønskes å benyttes av samtlige på alle nivåer.

Holdninger og erfaringer henger også veldig godt sammen med kunnskapen. Kunnskapen er muligens god når det gjelder bruken av BIM, men den kan bli bedre også der. Derfor bør man f.eks. ta fra håndverkeren tegningene, slik at de forbedringene som kreves digitalt kommer frem og man kan frembringe løsninger. Når det er snakk om Lean, så bør kunnskapen øke, spesielt når bruk av Lean er kontraktfestet. I SUS2023 har det kommet frem at flere på entreprenørsiden nå i tidligfase mangler erfaring i bruk av Lean. Av den grunn bør de få inn en Lean-konsulent som kan bistå i planleggingen og bruken av Lean fra begynnelsen av. Da kan man allerede i tidligfase opparbeide de nødvendige erfaringene som trengs for å få til en vellykket taktplanlegging og Lean-metodikk i innredningsfasen. Derfor vil et annet premiss være å øke kunnskapen og høste erfaringer rundt bruken av verktøyene og metodikken.

8.2 Hvilke muligheter og utfordringer gir bruken av 4D-BIM, og hva er premissene?

Slik som presentert i både litteraturdelen og i resultatkapittelet, vet vi at bruken av 4D-BIM både gir muligheter og utfordringer. 4D-BIM vil gi de samme mulighetene og utfordringene som bruken av 3D-BIM med litt til. I dette delkapittelet vil mulighetene og utfordringene rundt bruken av 4D-BIM bli diskutert samt premissene for å benytte seg av verktøyet.

Bruk av 4D-BIM gir muligheten til å digitalisere fremdriftsplanleggingen (Eastman et al., 2011), visualiseringen av fremdriftsplanen vil gi entreprenøren et bedre innblikk i arbeidssekvensen. Dette bekreftes av intervjuobjektene som sier at mye av effekten går på å støtte opp på det anleggslederen og prosjektledere allerede har planlagt. Dessuten kan man mye enklere finne feil og mangler i fremdriftsplanen.

Litteraturen trekker også frem at man kan få til en bedre koordinering av leveranser av produkter og materialer. Dette bekreftes delvis av intervjuobjektene da bruken av

Solibri i 3D vil gi en bedre oversikt over mengder materialer som trengs. 4D har derimot ikke blitt benyttet i disse to prosjektene til å få til en koordinering av når og hvor leveranser av materialer skal finne sted. Følgelig har man ikke fått utnyttet 4D til sitt fulle potensialet.

Det blir ubetydelig å snakke om fordeler som 4D-BIM gir hvis kunnskapen rundt bruken av verktøyene ikke er gode nok. Yan & Damian (2008) beskriver at den største barrieren for implementering av BIM er at opplæringen er tid- og ressurskrevende. For å få best mulig utnyttelse i bruken av 4D-BIM, så er det anleggslederne, som er gode på å planlegge, som bør lage denne simuleringen. Da de mangler denne kompetansen, har bruken av 4D-BIM blitt begrenset. Som en løsning på dette bør det gjennomføres en kostnad-nytte-analyse for å se om det bør brukes tid og ressurser på å lære opp anleggsledere til dette, eventuelt om det bør oppnevnes en BIM-koordinator til å bistå anleggsleder med dette kontinuerlig gjennom prosjektet. Et premiss må derfor være å forenkle bruken av 4D-verktøyet eller å heve kompetansen i bruken, som også kommer frem som et tiltak for at BIM skal bli mer aktivt benyttet (delkapittel **7.3.5**).

Fra intervjuene så kommer det frem at å lage en 4D-modell er en iterativ prosess. Dette er fordi modellen som 4D tar utgangspunkt i, ofte oppdateres. Følgelig vil det være krevende å holde 4D-modellen vedlike. Dette bekreftes også av Kassem et al. (2012) (delkapittel **4.8**). Igjen bør det gjennomføres en kostnad-nytte-analyse som kan fortelle om det vil være lønnsomt å holde modellen vedlike. Dermed vil enda et premiss være at man må finne en enklere måte å vedlikeholde og oppdatere 4D-modellen. I forlengelse av dette bør man legge inn tid og ressurser for å få til den automatiske importen av fremdriftsplanen fra Safran til 4D-verktøyene som har blitt forsøkt gjort i SUS2023. Dette kan mulig være løsningen på de overnevnte utfordringene og premissene.

Dersom en kostnad-nytte-analyse forteller at det ikke er lønnsomt å holde 4D-modellen vedlike gjennom hele prosjektet, bør 4D kun benyttes slik den gjøres i dag. Altså kun for å løse problemer hvor 4D kan være avgjørende, som i bestemmelsen av byggerekkefølge og i planleggingen av rigg og drift. Hvis det derimot skulle komme en løsning på de overnevnte utfordringene, som f.eks. automatisk import fra Safran, så er nytteverdien til alle fordelene 4D-simuleringen gir, så stor at det bør foretas en ny vurdering.

8.3 Hva er premissene for å taktplanlegge grunn- betongarbeid, og hvilke fordeler gir det?

Samtlige av intervjuobjektene nevnte taktplanlegging først da de ble spurt om bruk av Lean på byggeplassen. Dette er en metode som er godt kjent i bransjen. Rekkefølgen av aktivitetene er basert på pull-planning (delkapittel **3.5.2**), som er en veldig intuitiv metode. Da metoden i utgangspunktet var tilpasset samlebåndproduksjon, er det naturlig at den har passet best til å gjennomføre repeterende arbeid i byggebransjen. Linnik & Berghede (2013) forteller allikevel at taktplanlegging også vil være mulig å benytte i prosjekter som ikke er repeterbare. Litteraturen forteller at taktplanlegging skal bidra til kontinuerlig flyt og samtidig redusere sløsing. Dette bekreftes også av intervjuobjektene.

For undertegnede virker det som at de i SUS2023 har godtatt at det er for utfordrende med Lean i betongarbeidet, og følgelig har de bestemt seg for å ikke benytte metoden. Dette kan det være flere grunner til. Frandson et al. (2013) anbefaler at man i utarbeidelsen av en taktplan benytter seg av Last Planner System for informasjons- og datainnhenting. Ved hjelp av denne metoden kan man få til en transparens i planleggingen mellom de ulike fagene. Som følge av det kan man venstreforskyve en del utfordringer som kan gjøre det mulig å planlegge takten. Dersom man ikke finner løsningene på utfordringene som dukker opp, så kan det være at man allikevel klarer å

komme til nivået «godt nok» (delkapittel **7.4.3**), der man er villig til å lage et utgangspunkt. Dermed kan man få planleggingen til å gå rundt, selv om den muligens må endres på ved en senere anledning. Dette vil da være en mindre endring hvor man slipper å begynne helt på nytt.

Livsvitenskap er beviset på at det fortsatt er mulig å taktplanlegge i tidligfase, selv om de har en varierende grad av suksess i bruken av det i denne fasen. Den varierende graden skyldes uforutsette faktorer som dukker opp i grunnen. Først og fremst har prosjektledelsen i Livsvitenskap tatt med seg erfaring i bruken av Lean og taktplanlegging fra tidligere prosjekter. I tillegg benytter de seg av en digital form for Last Planner System ved bruk av prosessverktøyet Cogito. Dermed er de bedre rustet til å løse utfordringer som dukker opp. De har også ved hjelp av sin erfaring fått til å være systematiske og strukturerte. Ved hjelp av 14-10-6-metoden så kan man avdekke en del utfordringer tidlig. Hvis man i tillegg utfører denne sjekken opp mot forutsetningene for en sunn aktivitet (delkapittel **3.5.4**), skal det i teorien ikke være noen hindringer i å gjennomføre en aktivitet.

Litteraturen trekker frem flere fordeler ved bruken av taktplanlegging. Det viktigste vil være å etablere kontinuerlig flyt i prosjektet (Yassine et al., 2014). Man vil også ha mulighet til å få umiddelbar progresjonsstatus, dette skyldes at man kan måle fremgangen i mange mindre enheter (takt). Andre fordeler som også nevnes i litteraturen er blant annet muligheten til å kunne unngå overraskelser og muligheten til å redusere varigheten. Dette vil dog være veldig vanskelig i disse prosjektene som er i tidligfase da det kan være uforutsette ting som kan dukke opp i grunnen eller i betongarbeidet, men det skal gå an å gjøre konsekvensene mindre ved god planlegging. Derav vil det heller ikke være mulig å korte veldig ned på varigheten sammenlignet med potensialet i repeterende arbeid.

Det er altså flere fordeler ved å bruke taktplanlegging, men det som vil være mest aktuelt for prosjekter i tidligfase, vil være muligheten til å oppnå kontinuerlig flyt og muligheten til å kunne måle progresjon raskere. Selv om man ikke muligens vil få til en nedkorting av varigheten i arbeidet, bør man benytte seg av metoden for å kunne tilegne seg erfaringer. For SUS2023 ville de mulige erfaringene man kunne tilegnet seg ved taktplanlegging av betongarbeidet uten tvil virket positivt for taktplanleggingen som skal benyttes i innredningsarbeidet. Med overnevnte punkter i baktanke kan man trekke ut premisser for å kunne benytte seg av taktplanlegging i tidligfase. Premissene vil derfor først og fremst være at man har erfaringer fra tidligere. Deretter må man kunne få til en systematisk planlegging, helst ved hjelp av Last Planner System og en strukturert planlegging, hvor man også kan gjøre en avsjekk for om forutsetningene for en sunn aktivitet er oppfylt.

8.4 Hvordan benyttes BIM og Lean om hverandre, og hvilke fordeler gir det?

Det har blitt vel presisert at BIM er et verktøy mens Lean er en metodikk i både litteraturen og gjennom intervjuene. Gjennom litteraturstudiet ble det trukket frem synergier mellom Lean og BIM. Ikke alle disse har gjenspeilet seg i byggeprosjektene presentert i denne oppgaven. Samtidig så ble det trukket frem en synergi som ikke ble funnet i litteraturstudiet i intervjuene, som handler om bruk av MMI (delkapittel 4.6). I dette delkapittelet vil det bli diskutert hvordan synergiene kommer frem i både litteraturen og intervjuene.

Intervjuobjektene forteller at det i begge prosjektene ble gjennomført daglige tavlemøter på byggeplassen. Disse tavlemøtene ble gjennomført i containere som inneholdt oversikter og fremdriftsplaner. Slik har det vært i lang tid. Her har de allerede en fot inn i Lean-metodikken. Disse tavlemøtene kan altså heves i kvalitet og transparens ved å benytte Lean mye tydeligere. Benytter man seg av pull-planning

teknikken som er en del av LPS (delkapittel **3.5.2**) så kan man gjøre nettopp dette. Man kan da skape en transparens ved at man første og fremst ser hovedmilepælene i prosjektet, samtidig som man får en forståelse av de ulike avhengighetene i prosjektene og viktigheten av å følge planen. Ved å få inn BIM i tillegg, kan man få til en visualisering som vil føre til at man kan unngå variasjon i arbeidet. I tillegg kan deltakerne på disse møtene få en bedre forståelse av designet og man kan dermed finne de mest optimale løsningene (Krygiel & Nies, 2008).

Litteraturen trekker frem at BIM gir en forbedret plattform som legger til rette for kommunikasjons- og informasjonsutveksling (Forbes & Ahmed, 2011). Lean-filosofien skal løfte takhøyden for kommunikasjon mellom deltakerne. Derfor vil bruken av LPS i lag med BIM øke kvaliteten i prosjektet slik som nevnt over. Dermed vil også samarbeidet i prosjektet forbedres. Intervjuobjektene trekker frem at samarbeidet i prosjektene økes spesielt ved hjelp av MMI (delkapittel **4.6**). Hovedpoenget her er at man har en modenhetstankegang hvor utvikling av modell jobber i takt med prosjektet. Dermed kan man med den Lean-tankegangen utføre mye mer relevante kollisjonskontroller ved bruk av BIM, derav vil samarbeidet også forbedres. Samtidig, slik det trekkes frem i resultatene (delkapittel **7.2.2**), må de forskjellige aktørene i prosjektene frigjøres fra tankegangen hvor man tenker på seg selv og om å bli ferdig fortrest mulig i et prosjekt. Man må heller bli bedre på å tenke «vi og produktet». Da har man ikke en prosjekteringsgruppe hvor en disiplin kanskje har en mye høyere modenhetsgrad enn en annen disiplin.

En annen synergi som nevnes er tidlig involvering av aktører. I litteraturen kommer det frem at Lean-filosofien vil involvere aktørene tidlig for å kunne utnytte kunnskapene best mulig, BIM vil det samme for å få en best mulig utnyttelse av BIM-modellen (Koskela, 1992). Dette gjenspeiler seg i prosjektene ved at de har benyttet det som heter systematisk ferdigstillelse. Dermed har planleggingen blitt venstreforskyvet, som

igjen har ført til at aktørene må mye tidligere inn. Dette har vært nytt for prosjekteringsgruppen ved at de har måtte forholde seg til flere og andre aktører enn tidligere. Dette kan kun tenkes som en positiv ting da prosjektering nå slipper å anta løsninger, og dermed vil kvaliteten øke.

I litteraturen nevnes fleksibilitet (delkapittel **5.2**) og reduksjon av inventar (delkapittel **5.5**) som er synergier som også oppstår ved at man benytter både BIM og Lean. Intervjuobjektene nevner ikke disse til noen stor grad. En økt fleksibiliteten kan det stilles spørsmål til da det kommer frem i intervjuene at det tar lenger tid å få en oppdatering i modell sammenlignet med å endre en revisjon på tegning. Når det gjelder reduksjon av inventar, som er en del av The seven wastes (delkapittel **3.3**), er det forventet en reduksjon og en bedre koordinering der ved bruk av fremdriftsplaner i 4D. Da dette ikke har blitt brukt i prosjektene på denne måten har vi heller ikke fått noen indikasjon på dette. Det vi derimot ser, er at ved bruk av BIM, Solibri i dette tilfellet, så har man fått til en reduksjon av materialer. For det første så benyttes Solibri modellen til å hente ut eksakte mengder materialer som trengs. I tillegg jobbes det mye i prosjektering med å fjerne duplikater i modell. Det vil føre til færre feilbestillinger. Dermed ser vi fortsatt en reduksjon av inventar, som indirekte tilsier at man har en Lean-filosofi.

Kapittel 9: Konklusjon

Det har ved hjelp av litteraturstudie og syv intervjuer blitt forsøkt å kartlegge utfordringer og muligheter ved implementering av BIM og Lean i byggeprosjekter. Da oppgaven egentlig har en veldig åpen problemstilling, vil det i dette kapittelet derfor bli oppsummert det som har blitt diskutert rundt forskningsspørsmålene i oppgaven. Disse svarene baserer seg naturligvis på resultatene fra litteraturstudie og funnene fra de to byggeprosjektene som har blitt presentert i oppgaven. Deretter vil det bli presisert en kortfattet konklusjon på problemstillingen. Avslutningsvis vil det bli presentert et forslag til videre arbeid.

BIM og Lean står for et paradigmeskift for byggebransjen. BIM har vært lenger i norsk byggebransje sammenlignet med Lean. Derfor ser man kun en nevneverdig forskjell i erfaringen mellom prosjektene i bruken av Lean, samt at man ser en forskjell i erfaringen blant de ulike rollene innad i prosjektene. Det vitnes en god holdning til bruken av både verktøyet og metodikken, men det er i ledelsen dette ønskes mest. Man må derfor få til å lage en motivasjon og et engasjement i prosjektene for å få til en bottom-up-bevegelse. I tillegg til dette må kunnskapsnivået, som henger sterkt sammen med erfaringen, i bruken av Lean, økes. Hvis dette er en mangelvare i et prosjekt, så bør det sterkt vurderes å hente inn en ekstern Lean-konsulent. Bruken av BIM er god i prosjekteringsgruppene i prosjektene. Den bør på den andre siden benyttes mer av håndverkerne. En anbefaling er å ta fra håndverkerne tegningene slik at man kan fremme de forbedringene som kreves for at det etterhvert skal bli optimalt for håndverkerne å benytte seg av verktøyet.

I litteraturen kom det tydelig frem at bruk av 4D-BIM ville gi muligheten til å digitalisere fremdriftsplanen, og dermed gi entreprenøren et bedre innblikk i

arbeidssekvensen. I prosjektene har ikke 4D-modellen blitt benyttet som en digital fremdriftsplan, dette på grunn av hvor tid- og ressurskrevende det er. 4D-BIM ble derimot benyttet til å støtte opp på det som allerede var planlagt. Det var heller ikke mulig å bekrefte det litteraturen trakk frem om å bedre koordineringen av leveranser av produkter og materialer. Dette var fordi prosjektene ikke brukte fremdriftsplaner i 4D til det spesifikke behovet. Det viser seg at det i byggebransjen generelt er slik at kunnskapen av å lage en 4D-simulering ligger hos feil rolleinnhaver i prosjektet. Det er anleggslederen som lager fremdriftsplanen, derfor bør også anleggslederen lage 4D-simuleringen, da kan man unngå å bruke et ledd ekstra i prosessen. Da den kunnskapen ikke er der, bør man gjennomføre en nytte-kost-analyse for å se om det vil være lønnsomt å ha en ekstern BIM-koordinator til å holde 4D-modellen vedlike. Det kan tenkes at det kan være en sammenheng mellom vanskelighetsgraden i å lage en 4D-modell og hvor mye man utnytter potensialet til 4D-BIM i prosjektene i dag. Det bør derfor legges store ressurser i å få til en vellykket automatisk import av fremdriftsplanen fra Safran inn til 4D-verktøyene.

Litteraturen forteller at taktplanlegging skal bidra til kontinuerlig flyt og redusere sløsing i byggeprosjekter. Dermed er dette en metode som ønskes å bli benyttet i byggebransjen. Det blir også trukket frem i både litteratur og gjennom intervjuene at denne metoden passer best til repeterende arbeid, men det kommer også frem i begge analysene at det fortsatt vil være mulig å gjennomføre en taktplanlegging i arbeid som ikke er repeterbart. Det krever derimot at man både er systematiske og strukturerte i planleggingen. Derfor anbefales det å benytte seg av metoder i Lean slik som Last Planner System. Begge prosjektene som er presentert i oppgaven er i en tidligfase i byggingen. Dette betyr at det kan dukke opp uforutsette utfordringer. Det har av den grunn ikke blitt benyttet Lean-metodikk i SUS2023. Det har derimot blitt benyttet i Livsvitenskap. Forskjellen ligger i at aktørene i Livsvitenskap har med seg erfaringer

fra tidligere. Dette har gjort at de har vært godt forberedte og fått til å være både systematiske og strukturerte i planleggingen.

Det har i tillegg blitt observert synergier mellom BIM og Lean i litteraturen, noen av de samme synergiene har også blitt opplevd av intervjuobjektene. Det blir i begge prosjektene gjennomført daglige tavlemøter. Disse tavlemøtene kan heves i kvalitet og transparens ved å benytte seg av en mye tydeligere Lean-metodikk som Last Planner System og BIM. MMI er noe som benyttes i begge prosjektene, denne modenhetstankegangen vil heve samarbeidet i prosjekteringsgruppen ved at de jobber sammen i takt med prosjektet. Det kreves fortsatt en mentalitetsendring for å få fullt utnytte av metodikken. Ved hjelp av systematisk ferdigstilling har man også fått til en tidligere involvering av aktører, dette henger sammen med Lean-filosofien hvor løsninger på utfordringer venstreforskyves. Det finnes også synergier som ikke har vist seg i frem prosjektene. Slik som fleksibilitet og reduksjon av inventar, sistnevnte har blitt realisert ved kun bruk av verktøyet BIM. Dette viser at man ved bruk av verktøyet BIM indirekte vil involvere Lean-metodikk.

Dette er altså informasjonen i grove trekk som har blitt tilegnet for å besvare problemstillingen: **Utfordringer og muligheter ved implementering av BIM og Lean i byggeprosjekter.**

Vi ser at i prosjektene så er det flere utfordringer som går i implementering av BIM og Lean. Disse kommer frem som premisser i diskusjonskapitlet. Det oppleves også at den største utfordringen er manglende erfaring og kunnskap om metodene. Altså er forskjellen i graden av suksess i implementeringen av Lean i de to prosjektene stort sett avhengig av tidligere erfaringer og kunnskap. Litteraturen tilsier at det er flere muligheter ved implementeringen enn utfordringer. Siden prosjektene har valgt ulikt i bruk av Lean i tidligfasen, vil det være urettferdig å konkludere om det per dags dato er lønnsomt å benytte Lean-metodikk. Vi ser derimot flere muligheter som gjør at en

vil ønske å fortsette benytte både BIM som verktøy og Lean som metodikk i disse prosjektene og i fremtidige byggeprosjekter.

9.1 Videre arbeid

Prosjektene i oppgaven har valgt en helt forskjellig tilnærming i bruken av Lean-metodikk i tidligfase. Det vil derfor være interessant å følge opp arbeidet videre gjennom hele grunn- og betongarbeidet slik at man kan evaluere den totale nytteverdien ved bruk av Lean.

Videre bør SUS2023 prosjektet følges videre inn i innredningsarbeidet hvor det er planlagt å bruke Lean-metodikk for å se om det som er planlagt blir gjennomførbart.

Til slutt vil det være interessant å følge opp den automatiske importen av fremdriftsplanen fra Safran og inn til 4D-verktøyet, da dette potensielt kan være løsningen på mange utfordringer.

Bibliografi

- Statsbygg. (2009). *Bim-manual 1.1*. Hentet April 2020 fra <https://www.statsbygg.no/globalassets/files/publikasjoner/manualer/sb-bimmanual1-1mvedl.pdf>
- Latiffi, A. A., Mohd, S., Kasim, N., & Fathi, M. S. (2003, Januar). *Building Information Modeling (BIM) Application in Malaysian Construction Industry*. Hentet April 2020 fra https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/56835357/10.5923.s.ijcem.201309.01BuildingInformationModelingBIMApplicationinMalaysianConstructionIndustry.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3D.5923.s.ijcem.201309.01Building_Informat.pdf
- Sacks, R., Koskela, L., Dave, B. A., & Owen, R. (2010). *Interaction of lean and building information modeling in construction*.
- Hattab, M. A., & Hamzeh, F. (2013). *Information flow comparison between traditional and BIM- based projects in the design phase. The International Group for Lean Construction(21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction 2013, IGL)*.
- Eastman, C. (1975). *The use of computers instead of drawings in building design, Journals of the American institute of architects*.
- Ballard, G., & Koskela, L. (1998). *On the Agenda of Design Management Research*.
- Statsbygg. (2020, April). Hentet fra <https://www.statsbygg.no/oppgaver/bygging/bim/buildingSMART>.
- buildingSMART. (u.d.). *Hva er åpenbim?* Hentet April 2020 fra <https://buildingsmart.no/hva-er-apenbim>
- Statsbygg. (2010). *BIM - en digital måte å bygge smartere på*.

- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. .. (2011). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, architects, engineers, contractors, and fabricators*.
- Hengsberger, A. (2019, August 14). *LEAD Innovation*. Hentet April 2020 fra <https://www.lead-innovation.com/english-blog/building-information-modeling>
- FAGERHULT. (u.d.). *FAGERHULT*. Hentet April 2020 fra <https://www.fagerhult.com/no/Service/Light-planning/breem-og-leed/>
- Westgaard, H., Moe, K., & Arge, K. (2010). *Prosjekteringsplanlegging og prosjekteringsle- delse. Rapport to Byggekostnadsprogrammet, Norway*.
- Chen, P.-H., Cui, L., Wan, C., Yang, Q., Ting, S. K., & Tiong, R. L. (2005). *Implementation of ifc-based web server for collaborative building design between architects and structural engineers. Automation in construction 14 (1), 115–128*.
- buildingSMART. (2013). *buildingSMART studentseminar @HIG+FI:13*.
- Forbes, L., & Ahmed, S. (2011). *Modern construction: lean project delivery and integrated practices. Boca Raton: CRC Press*.
- Krygiel, E., & Nies, B. (2008). *Green BIM: Successful sustainable design with building information modeling*.
- Kubba, S. (2012). *Chapter 5. Building Information Modeling. I: Handbook of Green Building Design, s. 201-226: Butterworth-Heinemann*.
- Yan, H., & Damian, P. (2008). *Benefits and barriers of building information modeling. 12th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, Beijing, Kina*.
- 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. CIFE, Stanford University, Palo Alto, CA*.
- Norconsult. (u.d.). Hentet April 2020 fra <https://www.norconsult.no/kompetanse/fag-og-tjenester/vdc/>

- Ballard, G., & Howell, G. (2003). *"Lean project management."* *Building Research & Information*, 31(2), 119-133.
- Koskela, L., Howell, G., Ballard, G., & Tommelein, I. (2002). *"The foundations of lean construction."* *Design and Construction: Building in Value*. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann.
- Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction*.
- Liker, J. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. 1st edition. New York, NY: McGraw-Hill Education.
- McCraw, T. K., & Childs, W. R. (2009). *American business since 1920: How it worked*.
- Do, D. (2017, August 5). *The Lean Way*. Hentet April 2020 fra <https://theleanway.net/The-Five-Principles-of-Lean>
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). *The Machine That Changed the World*.
- Skhmot, N. (2017, August 5). *The Lean Way*. Hentet fra <https://theleanway.net/The-8-Wastes-of-Lean>
- Alarcón, L., Mesa, H., & Howell, G. (2013). 'Characterization of Lean Project Delivery' In: Formoso, C.T. & Tzortzopoulos, P., 21th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Fortaleza, Brazil, 31-2 Aug 2013. pp 247-255.
- Tsao, C. (2005). *Use of Work Structuring to Increase Performance of Project-Based Production Systems*. PhD Thesis. University of California, Berkeley.
- Ballard, G., & Howell, G. A. (2003). *Lean project management, Building Research and Information*.
- Ballard, G. (2000). 'Lean Project Delivery System', Lean Construction Institute. White Paper-8 (Revision 1). Lean Construction Institute.
- Howell, G., & G., B. (1998). *Implementing Lean Construction: Understanding and action*.

- Ballard, G. (2008). *The lean project delivery system: An update, Lean Construction Journal*.
- Richert, T. (2017, Mai 24). *Lean Construction Blog*. Hentet April 2020 fra <https://leanconstructionblog.com/What-is-the-Last-Planner-System.html>
- Cnstrctr. (u.d.). *Medium*. Hentet April 2020 fra <https://medium.com/@Cnstrctr/lean-construction-pull-planning-explained-46007b74146d>
- Ballard, G., & Howell, G. (1998). *Shielding production: An essential step in production control. Journal of Construction Engineering and Management, ASCE*.
- Ballard, G., & Howell, G. (2004). *An update on Last Planner. Paper presented at the IGLC*.
- Koskela, L. (2000). *An exploration towards a production theory and its application to construction. VTT Publications(408), X-296*.
- Porwal, V. (2010, Februar 7). *Building Information Modeling (BIM) and Lean Construction for Successful Project Management*. Hentet April 2020 fra BIM+LEAN+GREEN: <http://bimleangreen.blogspot.com/2010/02/building-information-modeling-bim-and.html>
- Hellevik, O. (2002). *Forskningsmetode i sosiologi og statvitenskap*. Oslo: Universitetsforlaget, 7. utgave. .
- Holme, I. M., Solvang, B. K., & Nilsson, B. (1997). *Forskningsmetodik: om kvalitative og kvantitative metoder. Studentlitteratur*.
- ettikom. (2010, Januar 15). Hentet April 2020 fra De nasjonale forskningsetiske komiteene: <https://www.etikkom.no/forskningsetiske-retningslinjer/medisin-og-helse/kvalitativ-forskning/1-kvalitative-og-quantitative-forskningsmetoder--likheter-og-forskjeller/>
- Tranøy, K. E. (2019, Februar 18). *Store norske leksikon*. Hentet April 2020 fra <https://snl.no/metode>
- Academic Work. (u.d.). Hentet Mai 2020 fra <https://www.academicwork.no/insights/arbeidsgivere/3-intervjuteknikker>

- Larsen, A. K. (2017). *En enklere metode: Veiledning i samfunnsvitenskapelig forsknings- metode*. Fagbokforlaget.
- Frandsen, A., Berghede, K., & Tommelein, I. D. (2013). *Takt Time Planning for construction of exterior cladding. 21th Ann. Conf. of the International Group for Lean Construction (IGLC 21), Fortaleza, Brazil, 31-2 Aug. 2013, s. 527-536*.
- Kristensen, K. H. (2016). *Veileder - LEAN I BYGGEPROSJEKT s.22-23*. WSP.
- Haghseno, S., Binninger, M., Dlouhy, J., & Sterlike, S. (2016). *History and theoretical foundations of takt planning and takt control. Boston, USA, Proc. 24th Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction, pp 53-62*.
- Frandsen, A., Seppänen, O., & Tommelein, I. D. (2015). *Comparison between location based management and Takt Time Planning. 23rd Ann. Conf. of the International Group for Lean Construction (IGLC 23), Perth, Australia, 28-31 July 2015, s. 3-12*.
- Khattak, N. G., & Sarwar, U. (2014). *Lean vs Tradisjonell byggemetode: En evaluering av OiB og Kunnskapssenteret, s. 42-43*.
- Kenley, R., & Seppänen, O. (2010). *Location-based management for construction: Planning, scheduling and control. London: Spoon Press .*
- Frandsen, A. (2017, November 1). *Lean Construction Blog*. Hentet Juni 2020 fra <https://leanconstructionblog.com/Takt-time-planning-When-the-train-falls-off-the-tracks.html>
- Markovitz, D. (2016, April 26). *Industry Week*. Hentet 2020 Juni fra industryweek.com/operations/continuous-improvement/article/21972512/lean-office-lets-get-serious-about-lowering-the-water-level
- Linnik, M., & Berghede, K. (2013). *An experiment in takt time planning applied to non- repetitive work. Fortaleza, Brasil, 21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction, s. 609-618*.

- Yassine, T., Bacha, M. B., Fayek, F., & Hamzeh, F. (2014). *Implementing Takt-Time Planning in Construction to Improve Work Flow. 22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction, s. 787-798.*
- Fløisbonn, H. W., Skeie, G., Uppstad, B., Markussen, B., & Sunesen, S. (u.d.). *MMI - Modell Modenhets Indeks.* Hentet Juni 2020 fra <https://www.rif.no/wp-content/uploads/2018/11/mmi-modell-modenhets-indeks.pdf>
- Statsbygg & KHiB team. (2018). *BIM @ KHiB - en enkel oversikt.* Hentet Juni 2020 fra <https://www.statsbygg.no/globalassets/files/prosjekter/khibergen/leanhefter/5-bim.pdf>
- Aktiv HMS.* (u.d.). Hentet Juni 2020 fra Aktiv HMS: https://www.aktiv-hms.no/wp-content/uploads/2019/06/STAVANGER_BIRDSEYE_MASTER_V2b.jpg
- Helse Stavanger HF. (2017). *Forprosjekt Stavanger Universitetssjukehus - 1. byggetrinn på Ullandhaug.*
- uio.no.* (2018, Januar 25). Hentet Juni 2020 fra <https://www.uio.no/forskning/satsinger/livsvitenskap/aktuelt/aktuelle-saker/2018/livsvitenskapsbygget-realiseres.html>
- uio.no.* (u.d.). Hentet Juni 2020 fra <https://www.uio.no/tjenester/eiendom/vare-byggeprosjekter/livsvitenskapsbygget/>
- Fayyaz, Y. (u.d.).
- Kassem, M., Brogden, T., & Dawood, N. (2012). *BIM and 4D planning: a holistic study of the barriers and drivers to widespread adoption. Journal of Construction Engineering and Project Management 2 (4), 1-10.*
- BIM4ALL.* (u.d.). Hentet April 2020 fra <https://www.bim4all.com/en/blog/3d-model-of-3d-bim-model>

Vedlegg A: Intervjuguide

Intervjuguide

Bakgrunn og formål

Mitt navn er Senthalan Sellathurai. For øyeblikket studerer jeg mitt siste semester på studieprogrammet industriell økonomi ved UiS med spesialisering innenfor prosjektledelse med bygg. Masteroppgaven jeg skriver har et formål om å kartlegge utfordringer og muligheter ved implementering av BIM og Lean construction i prosjekter. Det er derfor vesentlig for oppgaven å hente informasjon ved intervjuer med aktører i bransjen for å høre om deres erfaringer og tanker vedrørende implementeringen av BIM og Lean construction.

Intervjuguidens inndeling

Intervjuguiden er delt opp i 3 deler:

1. Informasjon om intervjuet og gjennomføringen av det.
2. Generelle spørsmål om deg og ditt forhold til BIM og Lean construction.
3. Utdypende spørsmål som baserer seg på BIM og Lean construction.

Gjennomføring av intervjuet

Denne intervjuguiden, med tilhørende spørsmål, blir sendt ut til intervjuobjektene slik at det er mulig å se gjennom spørsmålene og forberede seg før intervjuet.

Intervjuene er ønskelig å gjennomføre via Skype/Teams, men det er åpent for andre forslag også.

Det er tiltenkt å ta lydopptak av intervjuene. Hvis noen ved formodning ikke ønsker dette, så bes det om at dere sier ifra om dette.

Svarene som blir avgitt under intervjuet vil brukes sammen med tilegnede dokumenter og litteratur for å diskutere hvilke utfordringer og muligheter BIM og Lean construction kan gi i byggeprosjekter. Intervjuobjektens refleksjoner, ytringer og utsagn vil bli holdt anonyme med mindre annet er avtalt.

Under intervjuene oppfordrer jeg dere til å spørre dersom noe er uklart.

Spørsmål

Bakgrunn:

1. Hvor mange års erfaring har du i byggebransjen?
2. Har du jobbet med bruk av BIM som verktøy og metode før? Hvis ja, hvor lenge?
3. Har du jobbet med bruk av Lean-filosofi/construction før? Hvis ja, hvor lenge?
4. Hva er din rolle i prosjektet du jobber på nå?
5. Har du erfaring med 4D-BIM
 - a. Hvis ikke, hvorfor?
 - b. Hvis ja, på hva slags prosjekter?
6. Hvordan synes du holdningen rundt bruken av BIM er i bransjen?
 - a. Blir det faktisk implementert?
 - b. Er kunnskapsnivået høyt nok hos de fleste?
7. Hvordan er holdningene rundt bruken av Lean construction i bransjen?
 - a. Blir det faktisk implementert?
 - b. Er kunnskapsnivået høyt nok hos de fleste?
8. Hvordan ser du for deg utviklingen ved bruk av BIM og Lean construction?
9. Hva synes du om at man blir pålagt en gjennomføringsstrategi som legger opp til at entreprenør må benytte Lean Construction?

BIM

1. I hvor stor grad benytter dere BIM modellen?
 - a. Hvilket program benyttes/har dere benyttet?
2. Hvordan erfaring har du med bruk av BIM?
3. Er de involverte klar over fordelene BIM kan tilføre?
 - a. Hvis nei, hvorfor ikke? Hvilke grupper gjelder dette?
4. Hvilken fordeler gir BIM?
 - a. Hvilke fordeler gir bruken av 4D-BIM?
5. Hvilke utfordringer har du opplevd ved bruk av BIM?
 - a. hvilke utfordringer har du opplevd ved bruk av 4D?
6. På hvilken måte mener du BIM kan øke samarbeidet mellom aktører under prosjektering?
7. Hvilke tiltak tror du må til for at BIM i større grad blir brukt aktivt?
 - a. Flere kurs for å øke kunnskapsnivå?
 - b. Enklere programvare og brukergrensesnitt?
8. Hvordan oppfatter arbeiderne i produksjonen bruken av BIM?
 - a. Hvordan er holdningene?
 - b. Hva skyldes dette?

Lean

1. I hvilken grad føler du at Lean Construction blir benyttet i den norske byggebransjen i dag?
2. Hvilke metoder innenfor Lean brukes det i prosjektet nå?
 - a. Hvilke fordeler/utfordringer ser du ved bruk av denne metoden?
 - b. Hvordan har bruken av denne metoden effektivisert prosjektet?
3. Har man gjennom prosjektet fått kursing i Lean Construction?
4. Vil du anbefale bedrifter å ansette eksterne Lean-konsulenter? Og i så fall hvorfor?
5. Hva vil du selv si er de viktigste suksessfaktorene for en vellykket implementering av Lean Construction i en bedrift?
6. Hva vil du selv si er de viktigste barrierene for en vellykket implementering av Lean Construction i en bedrift?
7. Sånn du ser det, hva er de største fordelene Lean Construction tilbyr?
8. Hva betyr ordet sløsing for deg?
 - a. Hva er din oppfattelse av sløsing i byggebransjen

Synergier

1. Hvordan kan nivået i engasjement hos ledelsen påvirke den faktiske bruken av BIM og Lean?
2. Hvordan benyttes Lean-metodene i samspill med BIM?
3. Blir Lean benyttet uten BIM som et verktøy?
 - a. Blir BIM benyttet uten Lean-prinsipper?
4. Hvordan tror du muligheten er for å effektivisere prosjekteringsledelsen med en implementering av BIM og Lean?
 - a. Blir beslutninger gjort raskere?
 - b. Er beslutninger enklere å gjøre
 - c. Andre fordeler/ulemper?
5. Har du opplevd en forbedring eller noen fordeler i prosjektet med undernevnte stikkord, som er et resultat av bruken av BIM og Lean-metodikk?
 - a. Visualisering
 - b. Samarbeid
 - c. Tidlig involvering av aktører (Involveringer av aktører med kjennskap til kostnader og materialer bør gjøres tidlig i prosjekteringsprosessen for å limitere feil og endringer)
 - d. Reduksjon av inventar (materialer)