



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2017 30 stp.
Fakultet for realfag og teknologi

KPI'er i en Lean prosjekteringsprosess

KPIs in a Lean design process

Hedvig Skappel
Industriell økonomi

FORORD

Denne masteroppgaven er skrevet ved fakultet for realfag og teknologi ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU) våren 2017, og avslutter min mastergrad i industriell økonomi.

Jeg ønsker å takke alle som har bidratt til denne oppgaven. Aller først vil jeg takke min masterveileder Tor Kristian Stevik for god hjelp, støtte og oppfølging under arbeidet med denne oppgaven. Jeg må også få takke Statsbygg ved Hans Thomas Holm for muligheten til å skrive om et spennende tema.

I tillegg fortjener alle intervjuobjektene en stor takk. Alle har stilt gledelig opp til intervjuer og vært veldig imøtekomende. Denne oppgaven hadde ikke vært mulig uten deres samarbeid.

Tusen takk til både familie og venner som hele tiden har oppmuntret og støttet meg under arbeidet med denne oppgaven. Helt til slutt ønsker jeg å rette en stor takk til mine medstudenter for fem fantastiske år på Ås.

Ås, 12. Mai 2017

Hedvig Skappel

SAMMENDRAG

En av hovedutfordringene i dagens byggebransje er den stadig økende kompleksiteten, som medfører en økt informasjonsmengde. Dette er en generell utfordring i prosjekteringsfasen av et byggeprosjekt, og håndtering av denne utfordringen krever at den tradisjonelle arbeidsformen endres. Av den grunn har enkelte aktører begynt å implementere Lean i prosjekteringsfasen.

Lean kan defineres som en driftsstrategi for å øke flyteffektivitet. For å øke flyteffektivitet er det viktig å kontinuerlig forbedre prosesser, noe som krever at det aktuelle prosjektet vet hva som kan forbedres og effekten av tiltakene som blir iverksatt. Dette kan oppnås ved å måle såkalte Key Performance Indicators (KPI'er). Hensikten til denne masteroppgaven er derfor å finne ut hvilke KPI'er som kan utvikles for å sikre kontinuerlig forbedring av flyt i en Lean prosjekteringsprosess.

Forskningen er basert på en casestudie, med prosjektet Kunst- og Designhøgskolen i Bergen (KHiB) som undersøkelsesenheter. Ettersom det finnes lite informasjon om bruk av Lean i prosjekteringsfasen, har prosjektet KHiB utviklet en egen måte å gjennomføre detaljprosjekteringen, hvor Lean prosessplanlegging og Lean prosjektering kan anses å være pionerarbeid. Datainnsamling ble foretatt gjennom intervjuer med fem sentrale fagpersoner i prosjektet, som alle hadde svært god kjennskap til prosjekteringen. Datainnsamlingen ga grunnlaget for suksessfaktorene for flyt i prosjekteringen til KHiB. Basert på disse suksessfaktorene, gis det forslag til ti KPI'er som kan benyttes i en Lean prosjekteringsprosess for å sikre kontinuerlig forbedring av flyt. Disse er som følgende:

1. Antall arbeidspakker (leveranser) som fullføres og leveres innen en prosjekteringstakt
2. Antall beslutninger tatt på feil grunnlag
3. Antall revideringer etter frys av produkter i en felles BIM-modell
4. Antall uløste spørsmål i dialogmatrisen
5. Intensitetskurve - Antall spørsmål som stilles i dialogmatrisen og hvor fort disse løses
6. Antall godkjente funksjonsbeskrivelser utarbeidet til riktig tid
7. Antall korrekte funksjonsbeskrivelser som avdekkes under tabletesting
8. Antall systemer med utviklet testprosedyrer før utsending av kontrakt til entreprenørene
9. Antall poster som endres på grunn av feilprosjekteringer og misforståelser
10. Prosentandel prosjekteringsmateriale som leveres til de utførende til riktig tid

Fremtidig forskning og testing av KPI'ene er imidlertid nødvendig for å evaluere, justere og eventuelt utvikle KPI'ene, før de kan implementeres inn i virkelige byggeprosjekter. Dette vil bidra til å sikre KPI'enes validitet og reliabilitet.

Ytterligere anbefalinger for å øke flyt er å standardisere prosesser i prosjekteringsfasen. KHiB prosjektet sin Product Creation Proses Plan (PCP-plan) kan være det første skrittet på vei mot standardisering av en PCP-plan for et byggeprosjekt. Det anbefales også å benytte Integrated Project Delivery (IPD) som entrepriseform for å oppnå best mulig flyt i prosjekteringen.

ABSTRACT

One of the main challenges in the Norwegian construction industry is the ever-increasing complexity, which results in an increased amount of information. This is a general challenge in the design phase of a construction project. To deal with this challenge, some parties have started changing their traditional work form by implementing Lean in the design phase.

Lean can be defined as a strategy to increase flow efficiency. To increase flow efficiency, continuously improving processes is of great importance. Furthermore, this requires that the current project knows which improvements can be made as well as the effect of these actions. This can be achieved by measuring Key Performance Indicators (KPIs). The purpose of this thesis is therefore to develop KPIs that ensures continuous flow improvement in a Lean design process.

The research is based on a case study, with the project Bergen Academy of Art and Design (KHiB) as a research unit. Because of the lack of information about the use of lean in the design phase, the KHiB project has developed a new way of implementing detailed design, where lean process planning and Lean engineering can be considered pioneering. Data was conducted through interviews with five key professionals in the project, all of whom had very good knowledge of the detailed design. Data collection provided the basis of success factors for flow in the detail design of the project. Based on these success factors, the thesis provides ten KPI suggestions ensuring continuous flow improvement in a Lean design process:

1. Number of work packages (deliveries) completed and delivered within a takt time
2. Number of decisions made on the wrong basis
3. Number of revisions after products in a common BIM are frozen
4. Number of unresolved questions in the dialog matrix
5. Intensity Curve - Number of questions asked in the dialog matrix and how fast these are resolved
6. Number of approved functional descriptions prepared at the right time
7. Number of correct functional descriptions revealed during table testing
8. Number of systems with developed test procedures before sending contract to contractors
9. Number of change requests due to errors and misunderstandings
10. Percentage of project material delivered to the contractors at the right time

Future research and testing of the KPIs are necessary to evaluate, adjust and possibly develop the KPIs before implementing them into real construction projects. This will help to ensure the validity and reliability of the KPIs.

Further recommendations to increase flow are standardizing processes in the design phase. The KHiB project's Product Creation Process Plan (PCP plan) can be the first step towards standardizing a PCP plan for a construction project. It is also recommended to use Integrated Project Delivery (IPD) as a contract form to achieve the best flow possible in the design phase.

INNHOLDSFORTEGNELSE

1. INNLEDNING	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Problemstilling	2
1.3 Formålet med oppgaven	2
1.4 Begrensninger	2
1.5 Struktur for oppgaven	3
2. TEORI	5
2.1 Byggeprosjekter som komplekse systemer	5
2.2 Lean Production	6
2.3 Lean Construction	7
2.3.1 Transformation-Flow-Value	7
2.3.2 The Last Planner system	9
2.4 Lean Design	9
2.5 Lean prinsipper	10
2.5.1 Just In Time	11
2.5.2 Kontinuerlig forbedring	11
2.5.3 Standardisering	12
2.6 Lean metoder	13
2.6.1 PCP-planlegging	13
2.6.2 Planlegging på taktisk nivå	13
2.6.3 Taktplanlegging	14
2.6.4 Frontloading	14
2.6.5 Strukturerte samlokaliseringprosesser	14
2.6.6 Visuell planlegging	15
2.6.7 Big Room	15
2.7 Samhandling mellom aktører	15
2.7.1 Implementering av Lean i entreprisemodeller	16
2.8 BIM	17
2.9 Systematisk ferdigstilling	18
2.9.1 Systematisk ferdigstilling i prosjekteringsfasen	19
2.10 Key Performance Indicator (KPI)	20

2.10.1	Hvordan utvikle KPI'er	21
2.10.2	Eksisterende litteratur om KPI'er i prosjekteringsfasen	22
3.	METODE.....	25
3.1	Hva er metode?	25
3.2	Litteraturstudie.....	25
3.2.1	Søkestrategi	25
3.3	Valg av forskningsmetode	26
3.4	Casestudie	28
3.4.1	Intervju.....	29
3.5	Validitet og reliabilitet.....	30
3.5.1	Litteraturstudie	30
3.5.2	Intervjuer.....	31
4.	CASE: PROSJEKTET KUNST- OG DESIGNHØGSKOLEN I BERGEN	33
4.1	Fakta om Kunst- og Designhøgskolen i Bergen.....	33
4.2	Bakgrunn for Lean i detaljprosjekteringen i KHiB	34
4.3	Lean-visjon for prosjektet KHiB	34
4.4	Lean-Kultur.....	35
4.5	Motivering og pre-seminar	35
5.	RESULTATER	37
5.1	Lean prosessplanlegging	37
5.2	Lean prosjektering.....	38
5.2.1	Temainndeling og arbeidspakker.....	38
5.2.2	BIM-modell.....	40
5.2.3	Samlokalisering	42
5.3	Systematisk ferdigstillelse.....	43
5.4	Byggefase.....	43
5.5	Oppsummering av resultater - suksessfaktorer for flyt i detaljprosjekteringen	44
6.	DISKUSJON.....	47
6.1	Prosessplanlegging og PCP-plan	47
6.2	Takt.....	48
6.3	Reduksjon av antall iterasjoner	51
6.4	BIM-Modell	53
6.4.1	BIM-modell som flytobjekt	53
6.4.2	Frys av produkter i BIM-modellen	54

6.4.3 BIM som informasjonsplattform	56
6.4.4 Tverrfaglig kvalitetssikring gjennom kollisjonskontroll.....	58
6.5 Samlokalisering og visuell planlegging	59
6.6 Systematisk ferdigstilling	60
6.7 Frontloading.....	62
6.7.1 Riktig prosjektering	63
6.7.2 Riktig leveranse til riktig tid	64
6.8 Oppsummering over KPI'er	65
6.9 Diskusjon av metodevalg.....	68
6.10 Begrensninger og veien videre.....	68
7. KONKLUSJON	71
8. REFERANSER.....	73
9. VEDLEGG: INTERVJUGUIDE	77

FIGURLISTE

Figur 1: Transformasjon ifølge TFV-teorien (Koskela 2000 s. 42)	7
Figur 2: Produksjon som en flytprosess. De grå boksene representerer ikke-verdiskapende aktiviteter, mens de hvite representerer verdiskapende aktiviteter (Koskela 2000 s. 56)	8
Figur 3: Forskjell på tradisjonell kontrahering og IPD (Mossman et al. 2010 s. 4)	17
Figur 4: Prosesskart for utførelse av tester (Johansen & Hoel 2016 s. 37)	19
Figur 5: KHiB illustrasjon eksteriør (Statsbygg v/Snøhetta)	33

TABELLISTE

Tabell 1: Struktur for oppgaven.....	3
Tabell 2: Kategorier av sløsing i prosjekteringsfasen (Koskela 2000; Koskela 2004).....	12
Tabell 3: KPI'er i prosjekteringsfasen ut fra litteratur	24
Tabell 4: Informasjon om intervjuobjektene.....	29
Tabell 5: Prosjektets hovedaktører	34
Tabell 6: Eksempler på temaoppdeling i KHiB-prosjektet	39
Tabell 7: Suksessfaktorer for flyt i detaljprosjekteringen til KHiB	45
Tabell 8: Oversikt over oppgavens ti foreslåtte KPI'er	66

1. INNLEDNING

Dette kapitlet gir en overordnet oversikt over oppgaven, hvor oppgavens bakgrunn, problemstilling, formål og begrensninger introduseres. Strukturen til oppgaven blir også presentert.

1.1 Bakgrunn

Byggebransjen har i flere år fått kritikk for at produktiviteten faller. Dagens bygg har utviklet seg betraktelig, og en av hovedutfordringene i byggebransjen er den stadig økende kompleksiteten, blant annet som følge av en økende grad av teknologi og antall aktører i byggeprosjekter. Dette medfører en økt informasjonsmengde, som er en generell utfordring i prosjekteringen av et byggeprosjekt. For å håndtere svært store informasjonsmengder, kreves det en større grad av tverrfaglig samhandling og forståelse mellom involverte aktører (Johansen & Hoel 2016). Dette krever at den tradisjonelle arbeidsmetoden må endres. Byggebransjen har begynt å innse dette, og flere aktører har begynt å implementere Lean i prosjektgjennomføringen for å ta tak i disse utfordringene.

Statsbygg er en av aktørene som har begynt å implementere Lean i noen av sine byggeprosjekter. Kunst- og Designhøgskolen i Bergen (KHiB) er et av Statsbyggs prosjekter som har satset spesielt bredt i henhold til anvendelse av Lean i prosjektgjennomføringen. Prosjektet har hatt som et uformelt mål om å være det mest Lean'e prosjektet i Norge per dags dato, både med hensyn til Lean i prosjekteringen og i byggingen. Siden det finnes lite informasjon om bruk av Lean i prosjekteringsfasen, har prosjektet utviklet en egen måte å gjennomføre detaljprosjekteringen, hvor Lean prosessplanlegging og Lean prosjektering kan anses å være pionerarbeid. I Norges byggebransje finnes det per dags dato ingen sammenlignbare prosjekter.

Prosjektet har hatt et sterkt fokus på å prioritere flyteffektivitet fremfor ressurseffektivitet i detaljprosjekteringen. Et flytfokus vil nemlig redusere gjennomføringstiden og øke kvaliteten i et byggeprosjekt (Koskela 2000), noe som fører til økt produktivitet. For å kunne øke flyteffektivitet er det imidlertid nødvendig å kontinuerlig forbedre prosesser, noe som krever at det aktuelle prosjektet vet hva som kan forbedres og effekten av tiltak som iverksettes. Dette kan oppnås ved å måle såkalte Key Performance Indicators (KPI'er). Ved å benytte KPI'er vil prosjekter kunne fokusere på områder som av dokumentert erfaring viser de største forbedringsmulighetene (Johansen & Hoel 2016). Måling av prosessbaserte KPI'er vil vurdere faktisk prestasjon der og da, og gir ledelsen en indikasjon på om prosjektet er på rett vei i forhold til å innfri sine overordnede strategier og mål. På den måten vil ledelsen hurtig identifisere eventuelle avvik, og hvor de må iverksette korrigerende tiltak. Prosjektet KHiB har imidlertid ikke hatt noen direkte målbare KPI'er i løpet av detaljprosjekteringen, men mener at dette er neste forbedringstrinn i en Lean prosjekteringsprosess.

1.2 Problemstilling

Utgangspunktet for utvikling av problemstilling for oppgaven, var pionerarbeidet med Lean prosessplanlegging og Lean prosjektering i prosjektet KHiB. Da detaljprosjekteringen har hatt et sterkt fokus på jevn flyt i alle prosesser, ble det raskt avklart at flyt også skulle bli et fokus i denne masteroppgaven. Flyt er dog et bredt tema, og for å oppnå en nøyaktig problemstilling var det behov for å avgrense fokusområdet betraktelig. Dette ble gjort gjennom en litteraturstudie, samt flere samtaler med KHiB-prosjektets prosjektsjef og en av de som var ansvarlig for prosjekteringsledelsen. En slik konkretiseringsprosess ble en viktig prosess i utviklingen av oppgavens problemstilling.

Etter et omfattende litteratursøk og flere samtaler med sentrale prosjektdeltakere i prosjektet KHiB, konkluderes det med at det er et stort behov for å etablere målbare KPI'er som kan forstås og benyttes i byggebransjen. Etersom prosjektet KHiB ikke har hatt noen direkte målbare KPI'er i løpet av detaljprosjekteringen, ble dette grunnlaget for problemstillingen. Forfatteren ønsker å utvikle KPI'er som kan benyttes i en Lean prosjekteringsprosess, slik at man kan avdekke faktorer som begrenser flyt, og påpeke konkrete tiltak som må til for å øke flyt. Dette vil avsløre nye muligheter for kontinuerlig forbedring av Lean prosjektering. Problemstillingen ble derfor følgende:

«Hvilke KPI'er kan utvikles for å sikre kontinuerlig forbedring av flyt i en Lean prosjekteringsprosess?»

1.3 Formålet med oppgaven

Formålet med oppgaven er å utvikle KPI'er til en Lean prosjekteringsprosess i et byggeprosjekt, for å sikre kontinuerlig forbedring av flyt. Målet er at KPI'ene utviklet i denne oppgaven kan bidra til både utvikling og læring i en Lean prosjekteringsprosess. Ved å benytte KPI'er i prosjekteringen på flere prosjekter, vil man kunne samle opp erfaringstall. Videre vil fokuset i fremtidige prosjekter kunne rettes mot områder som, av dokumentert erfaring, har de største forbedringsmulighetene.

1.4 Begrensninger

Byggebransjen har et behov for en utvikling hvor det benyttes KPI'er for både prosjektering, utførelse og testing av funksjoner, slik at kontinuerlig forbedring sikres. Dette er et stort omfang, og denne oppgaven begrenser seg derfor til å kun se på KPI'er knyttet til detaljprosjekteringen av et byggeprosjekt. Denne begrensningen bunner i at det er lettere å måle ulike faktorer i byggefasen, og det faktum at det allerede eksisterer enkelte KPI'er i denne fasen. Det finnes imidlertid mindre forskning og bruk av KPI'er i prosjekteringsfasen, og forfatteren mener derfor at det både er mer interessant og banebrytende å utvikle hensiktsmessige KPI'er for denne fasen.

Antall KPI'er som er utviklet i oppgaven er begrenset av tiden til rådighet.

1.5 Struktur for oppgaven

I kapittel 2 belyses relevant teori i henhold til oppgavens problemstilling. I kapittel 3 presenteres metoden som er benyttet i oppgaven, mens caset prosjekt Kunst- og Designhøgskolen i Bergen blir fremstilt i kapittel 4. Resultatene fra datainnsamlingen presenteres i kapittel 5, og diskuteres så i kapittel 6. Muligheter for videre arbeid fremkommer også i diskusjonskapittelet. Til slutt oppsummeres oppgaven i en konklusjon i kapittel 7.

Tabell 1: Struktur for oppgaven

Kapittel	Innhold
Kapittel 1	Innledning
Kapittel 2	Teori
Kapittel 3	Metode
Kapittel 4	Case: Prosjekt Kunst- og Designhøgskolen i Bergen
Kapittel 5	Resultat
Kapittel 6	Diskusjon
Kapittel 7	Konklusjon

2. TEORI

Dette kapitlet vil først gi en kort innføring i den nye forståelsen av byggeprosjekter som komplekse systemer. Deretter vil kapitlet presentere relevant bakgrunnsteori for Lean i byggebransjen. Andre viktige temaer i forhold til Lean som samhandling, BIM og systematisk ferdigstillelse, blir også gjennomgått i dette kapitlet. Tilslutt gis det en innføring av KPI'er, hvor blant annet eksisterende og relevant litteratur om KPI'er i prosjekteringsfasen blir belyst.

2.1 Byggeprosjekter som komplekse systemer

Det generelle synet på byggeprosjekter har vært at det er et ordnet, lineært system, som kan organiseres, planlegges og styres ovenfra og ned. Resultatet har vært hyppige budsjett- og tidsoverskridelser, noe som har gitt opphav til tanken om at byggeprosjekter ikke er så forutsigbare som man først hadde trodd. Nærmere forskning bekrefter dette, og viser at byggeprosjekter er et kompleks, ikke-lineært og dynamisk system (Bertelsen 2003).

Hvor komplekst et byggeprosjekt er, vurderes blant annet ut fra hvor mange aktører som er involvert, og hvor mange ulike relasjoner det er mellom aktørene. Kompleksiteten vurderes også etter hvor uoversiktlig relasjonene er, og hvor uforutsigbar avhengigheten mellom de ulike aktørene er. Generelt vil kompleksiteten i byggeprosjekter øke dersom prosjekter har:

- mange og nye teknologiske løsninger
- mange og ulike medvirkende aktører og firmaer
- lange og kompliserte verdikjeder
- kompliserte kontrakts- og ansvarsforhold
- flere entreprisereformer som forekommer samtidig
- utstrakt spesialisering som skaper et utall grensesnitt
- langvarig, sammensatt og uoversiktlig gjennomføringsløp

Håndtering av komplekse systemer krever en annerledes tilnærming enn håndtering av ordnede systemer. Mens ordnede systemer kan bli håndtert i henhold til planer, er komplekse systemer uforutsigbare og må bli håndtert tilsvarende (Bertelsen 2015). Forståelsen av byggeprosessen som et komplekst system er avgjørende i den nye tenkningen som ligger bak Lean Design og Lean Construction. Dette fører byggebransjen mot en ny arbeidsmetode, med nye ledelsesprinsipper og en ny forståelse av planer.

2.2 Lean Production

Etter andre verdenskrig var Japan et ressursfattig land. Dette ga bilselskapet Toyota et sterkt behov for å utvikle et nytt effektivitetssystem. Løsningen ble en helt ny tilgang på forståelsen av produksjonsbegrepet, nemlig som en flyt.

Ressursknapphet tvang Toyota til å ha kundenes behov som hovedfokus. Derfor ble «gjøre ting riktig» viktig for Toyota, som betydde å tilby det produktet kunden ønsket. Toyota produserte ikke en bil før kunden hadde lagt inn en ordre. Dette resulterte i et pull-system, hvor nødvendig informasjon ble sendt oppover igjennom hele produksjonssystemet. Produksjonsprosessen ble sett på som én flyt med ulike produksjonstrinn, hvor målet var å maksimere flyten gjennom prosessen. Ineffektivitet og sløsing, som hindret produksjonsflyten og ikke skapte merverdi, skulle derfor elimineres (Modig & Åhlstöm 2012). I den anledning identifiserte Toyota syv typer sløsing:

- Sløsing ved overproduksjon
- Sløsing ved venting
- Sløsing ved transport
- Sløsing i selve prosessen
- Sløsing ved lagerbeholdning
- Sløsing ved bevegelse
- Sløsing ved produksjon av defekte produkter

Eliminering av sløsing skulle forkorte gjennomløpstiden og eliminere lagre. Dette medførte en rekke problemer, men for Toyota var ikke problemer noe negativt, heller tvert imot. Problemer ble sett på som muligheter for både utvikling og forbedring. Problemets årsak skulle identifiseres, analyseres og elimineres for å forsikre at de aldri oppstod igjen (Bertelsen 2005). En problemløsningsteknikk som Toyota benyttet var 5 hvorfor. Teknikken gikk ut på å spørre hvorfor gjentatte ganger, for å komme forbi de åpenbare årsakene og helt fram til den virkelige rot-årsaken. På den måten kunne Toyota eliminere rot-årsaken, slik at ingen begikk samme feil igjen (Serrat 2009).

For Shingo (1988) var det viktig at alle i Toyota virkelig forstod den nye produksjonsfilosofien. Det var dermed ikke kun et spørsmål om know-how, men også know-why. Shingo påstod nemlig at effektive forbedringer var umulig uten know-why.

Tradisjonelt har organisasjoner kun fokusert på ressurseffektivitet. Med andre ord har fokuset vært å utnytte ressursene best mulig. I følge Modig og Åhlstöm (2012) vil organisasjoner som fokuserer på effektiv utnyttelse av ressurser skape merarbeid for seg selv, siden de bruker tid på ikke-verdiskapende arbeid. Mangelen på ressurser fikk Toyota til å utvikle et produksjonssystem basert på flyteffektivitet, i stedet for ressurseffektivitet. Fokuset lå dermed på enheten som ble behandlet i organisasjonen, ikke på å utnytte ressursene best mulig. Imidlertid er både flyteffektivitet og ressurseffektivitet viktig, men ved å fokusere på økt flyteffektivitet vil det i det lange løp også øke ressurseffektiviteten (Modig & Åhlstöm 2012).

Toyotas produksjonssystem har av den vestlige verden blitt tildelt navnet Lean. Lean kan derfor defineres som en driftsstrategi for å øke flyteffektiviteten. Dette er en definisjon med høyt abstraktnivå, som egner seg for virksomheter i ulike bransjer (Modig & Åhlstöm 2012).

2.3 Lean Construction

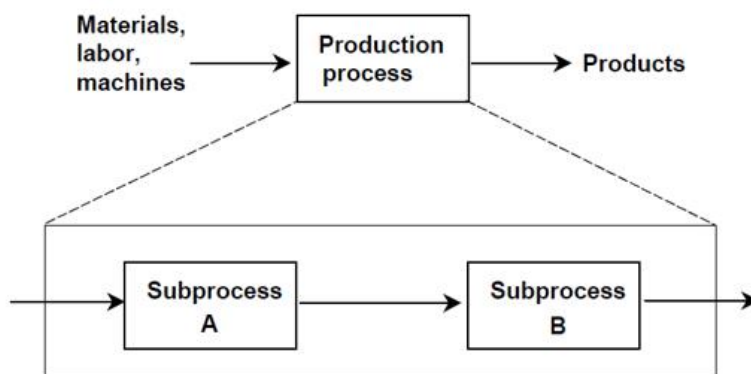
Lean Construction er en prosjekttilnærming basert på prinsippene bak Lean Production. Oversatt av Ballard et al. (2002 s. 211) defineres Lean Construction som:

«En måte å designe produksjonssystemer for å minimere sløsing av materialer, tid og arbeid for å skape maksimal verdi.»

2.3.1 Transformation-Flow-Value

Lauri Koskela (2000) introduserte en ny produksjonsteori i sin avhandling «An exoloration towards a production theory and its application to construction». Produksjonsteoriens grunnleggende idé er at produksjonsprosessen ikke kun skal ses på som transformasjon, men også forstås som en flyt av arbeid og skapelse av verdi. Dette ga grunnlag for en helt ny forståelse av et prosjekt, kjent i dag som Transformation-Flow-Value-teorien, eller TFV-teorien. Teorien ble avgjørende for utviklingen av en ny og bedre form for prosjektstyring, kjent som Lean Construction (Bertelsen 2015).

Transformasjon omgjør input til output. I produksjonsprosessen er input ressurser som mannskap, planer, verktøy og materialer, mens output er sluttproduktet. Transformasjonsprosessen kan dekomponeres til flere delprosesser, hvor output av delprosess A er input i delprosess B. Dette illustreres i figur 1. Transformasjon ser altså på produksjon som en sammensatt serie av handlinger. Den grunnleggende tanken er at den totale kostnaden i en produksjonsprosess kan reduseres ved å redusere kostnadene til hver enkelt delprosess, forutsatt at de ulike delprosessene er uavhengig av hverandre (Koskela 2000).

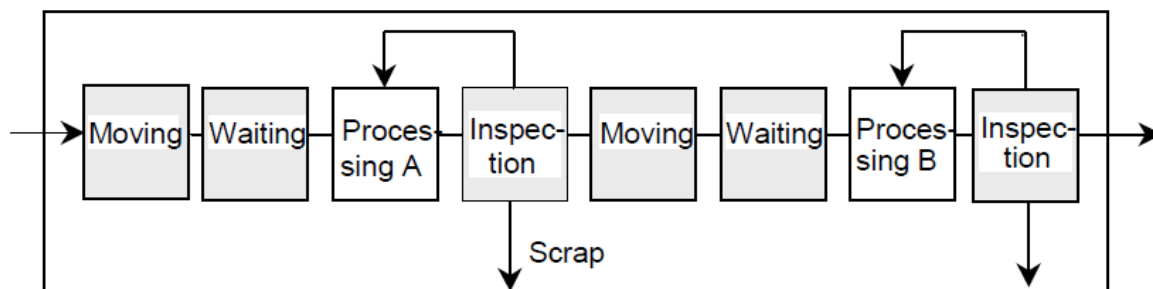


Figur 1: Transformasjon ifølge TFV-teorien (Koskela 2000 s. 42)

Den tradisjonelle byggeprosjektilnærmingen har et utelukkende fokus på transformasjoner. Hele byggebransjens system, regler, prosedyrer, praksis og atferd er nemlig basert på transformasjonstenkningen (Bertelsen 2005). Problemet med et transformasjonsfokus alene, er at aktivitetene som befinner seg mellom transformasjonene ikke blir tatt hensyn til. Det vil si at potensielle hindringer i strukturen rundt transformasjonene, som for eksempel inspeksjon, transport og ventetid, ikke blir vurdert.

Effektivisering av transformasjoner kan effektivisere transformasjonene lokalt. Dette vil imidlertid bremse flyten og følgende skape flaskehals, som igjen resulterer i en lavere produktivitet. Produktivitet måles nemlig på den samlede produksjonen, ikke på de enkelte transformasjonene. Derfor er det viktig å ikke kun se på produksjonsprosessen som en transformasjon, men også som en flyt (Bertelsen 2005).

Flyt ser på produksjon som en sammenhengende prosess som jevnlig tilføres nye aktiviteter. Hensikten med et flytfokus er å eliminere kø og ventetid mellom prosessene, da dette vil redusere gjennomføringstiden og øke kvaliteten i et byggeprosjekt. Med et flytfokus blir inspeksjon, transport og ventetid mellom transformasjonene sett på som ikke-verdiskapende aktiviteter, og ønskes eliminert (Koskela 2000). Dette visualiseres i figur 2.



Figur 2: Produksjon som en flytprosess. De grå boksene representerer ikke-verdiskapende aktiviteter, mens de hvite representerer verdiskapende aktiviteter (Koskela 2000 s. 56)

Flyt-tenkningen bryter med den tradisjonelle tenkningen, og det er derfor viktig at tankene formidles og forstås hos alle involverte i et prosjekt som benytter Lean (Bertelsen 2005).

I følge Bertelsen (2005) vil det alltid eksistere flaskehals i et byggeprosjekt, selv med et flytfokus. Den mest kritiske flaskehalsen bestemmer flytens intensitet, og dermed også gjennomløpet og produktiviteten i prosessene. Skal det bygges hurtigere, gjelder det å finne den kritiske flaskehals og øke dens gjennomstrømning. Dette kan gjøres ved å øke kapasiteten eller ved å avlaste oppgaver.

Koskela (2000) observerte at hver aktivitet i et byggeprosjekt har syv forutsetninger for å være «sunn». En sunn aktivitet er en aktivitet, som ikke har noen forhindringer for å bli gjennomført. De syv forutsetninger er følgende:

1. Foregående arbeid skal være avsluttet
2. Det skal være plass
3. Informasjon, tegninger og lignende skal foreligge
4. Mannskap skal være kvalifiserte og tilstede
5. Materiell skal være på plass og i orden
6. Materiale skal være tilstede
7. Ytre forhold som vær, tillatelser og lignende skal være i orden

Alle syv forutsetninger må være oppfylt for å kalle en aktivitet sunn. Fravær av en eller flere forutsetninger vil skape utfordringer for flyten i et byggeprosjekt.

I tillegg til transformasjon og flyt, er verdi et viktig konsept i TFV-teorien. Å skape verdi er nemlig hele byggeprosjektets formål. Skapes det ikke verdi, er produksjonen i seg selv meningsløs, og dermed ren ikke-verdiskapende arbeid. Verdiperspektivet må derfor være helt sentralt ved ledelsen av ethvert prosjekt (Bertelsen 2005).

2.3.2 The Last Planner system

The Last Planner System, også kjent som LPS, er et kontrollsystem utviklet av Glenn Ballard (2000a). Systemet bygger på forståelsen av prosjektet som et komplekst og dynamisk system. LPS antar at planer ikke holder, fordi deres forutsetninger forandrer seg fremdeles mens planen blir lagt. LPS vender derfor pyramiden på hodet og sier at det er mannen på stedet – the last planner – som kjenner situasjonen best, og det er derfor han som bør beslutte hva som vil skje (Bertelsen 2015).

Ballard (2000a) definerer to funksjoner i LPS; produksjonsenhetskontroll og arbeidsflytkontroll. Produksjonsenhetskontroll skal sikre god kvalitet på arbeidsoppgavene ved å stille krav til at oppgavene er godt definerte, oppgavene utføres i rett rekkefølge, oppgavene er av riktig størrelse, og at oppgavene som er planlagt er gjennomførbare. Arbeidsflytkontroll skal sikre god arbeidsflyt mellom produksjonsenhetene.

I følge Ballard (2000a) vil korrekt bruk av kontrollsystemet forbedre påliteligheten av arbeidsflyt, noe som gir store fordeler med tanke på prosjektkostnad og redusert tidsbruk. Kontrollsystemet vil også bidra til å skape et miljø for kontinuerlig forbedring. Kontrollsystemet er opprinnelig utviklet for byggefasen, men kan også implementeres i prosjekteringsfasen.

2.4 Lean Design

I følge Bertelsen (2005) kan prosjekteringen i Lean Design deles opp i to faser: verdidesign og verdileveranse. I verdidesign er hovedformålet å få kundens og brukerens verdier og behov frem og synliggjort i prosjektet. Verdiskapelse er i fokus og effektivitet er sekundær i de kreative faser. Når

rådgivernes detaljprosjektering starter går man fra en kreativ fase til noe man i en høyere grad kan kalle for en produksjon. Denne fasen blir derfor kalt verdileveranse. Her skal det skal strebes etter å utarbeide det riktige materialet første gang (Bertelsen 2005). Derfor må «ting gjøres rett» og ikke minst må «de riktige tingene» gjøres. Samtidig skal man sikre at verdiene fastholdes gjennom hele byggeprosessen. Det krever at de prosjekterende har overblikk over både sin egen oppgave og alle grenseflater til den øvrige prosjektering. Samtidig må de prosjekterende ha kunnskap om hvordan materialet skal brukes av de utførende. Dette krever en del kommunikasjon mellom de forskjellige parter, som ofte ikke finner sted i tradisjonell prosjektering. Ofte resulterer dette i flere prosjekterte tegninger og beskrivelser som aldri benyttes (Bertelsen 2005). Et annet problem i en tradisjonell prosjekteringsprosess er at prosjekteringsmateriale leveres ofte for sent og med feil til de utførende. Lav evne til å møte tidsfristene for leveranse av prosjekteringsmateriale, er som regel et resultat av lav effektivitet i prosjekteringen (Kristensen 2012). Av disse grunnene har Lean Design et fokus på flyt, god kommunikasjon og transparens i prosjekteringsfasen. I følge Howell og Ballard (1998) betyr transparens at systemets tilstand synliggjøres for personer som tar beslutninger, slik at de vil ta beslutninger som støtter systemets mål. Koskela (1992) mener transparente prosesser er viktig, da dette vil synliggjøre sløsing. En praktisk tilnærming for å øke transparensen er å måle prosessene, da dette vil gjøre de usynlige attributtene til prosessene synlig. Dette gjør det lettere å både oppdage og rette feil før de påvirker arbeidsflyten betydelig. Mangel på transparente prosesser vil imidlertid øke synligheten for feil, og minske motivasjonen for forbedring.

Prosjektering er i sin natur iterativ, som vil si at erfaringer som gjøres på et nivå, medfører at man må gå tilbake og gjøre endringer på et tidligere nivå. Iterasjon er avgjørende for å skape verdi i en prosjekteringsfase. Likevel skaper ikke all iterasjon verdi. Det skiller her mellom negativ og positiv iterasjon. Mens positiv iterasjon er verdiskapende, er negativ iterasjon en viktig kilde til sløsing i prosjekteringen. Negativ iterasjon kan elimineres uten verditap og uten å forårsake problemer for å fullføre prosjektet. Informasjonsundersøkelser estimerer at så mye som 50 prosent av prosjekteringstiden til et byggeprosjekt brukes på negative iterasjoner. Et sentralt prinsipp i Lean Design er derfor å redusere negativ iterasjon, for å skape en best mulig flyt i prosjekteringen. Et tiltak for å redusere risikoen for negative iterasjoner i den iterative prosjekteringen, er å utføre prosjekteringsoppgaver i en korrekt sekvens (Ballard 2000b).

2.5 Lean prinsipper

Prinsipper definerer en organisasjons tankemåte, i form av hvordan beslutninger skal tas og hva som skal prioriteres (Modig & Åhlstöm 2012). Med andre ord, vil prinsipper angi hvilken retning organisasjonen skal utvikle seg i. Dette delkapitlet tar for seg tre av de viktigste prinsippene i Lean-filosofien.

2.5.1 Just In Time

Just In Time (JIT) er et prinsipp for organisering av produksjon i organisasjoner for å øke effektiviteten og redusere sløsing, ved å motta alle deler som trengs til rett tid og sted i produksjonsprosessen (Hutchins 1999). Det handler om å skape flyt i produksjonen, ved å fjerne all lagerbeholdning, og kun produsere det kundene ønsker (Modig & Åhlstöm 2012). Metoden er utviklet av Toyota, og representerer et skifte fra den eldre Just-In-Case-metoden, hvor lagrene fylles opp for å oppfylle en eventuell høyere etterspørsel.

JIT i byggeprosjekter benyttes for å optimalisere ressursbruk, for å sikre mest mulig effektiv produksjon og for å oppnå en optimal produktivitet. Bruk av JIT byr også på utfordringer; det krever mye koordinering av arbeidet, og byggeprosessen er lettere utsatt for forstyrrelser.

JIT i byggefasen kan benyttes blant annet ved levering av materialer. Materialer vil da bli brakt til deres plassering for endelig installasjon, og vil bli installert umiddelbart ved adkomst. Det ultimate målet for JIT-produksjon er å levere de riktige materialene, til riktig tid og i riktig mengde, for hvert steg i prosessen.

JIT i prosjekteringsfasen kan benyttes ved at informasjonsmengden produseres til riktig tid, med riktig mengde og riktig detaljeringsgrad. Det skal ikke produseres mer informasjon enn nødvendig, og informasjonen skal tilpasses fasen man er i.

Toyota oppnådde JIT-produksjon ved å implementere ett pull-system. Pull er en metode for å introdusere materialer eller informasjon gjennom en produksjonsprosess (Ballard 2000a). I byggebransjen tar metoden utgangspunkt i at materialer eller informasjon trekkes gjennom systemet basert på tilstanden i byggeprosjektet. Den alternative metoden er push, som er den tradisjonelle metoden i byggebransjen. Push baseres på at materialer eller informasjon dyttes gjennom systemet, uavhengig av tilstanden i prosjektet. Dette kan føre til både overproduksjon og venting, som blir sett på som sløsing i Lean. Fordeler med ett pull-system fremfor et push-system er redusert sløsing og mer pålitelig arbeidsflyt. I tillegg vil et pull-system føre til økt produktivitet, som kan realiseres i kvalitetsforbedringer eller reduksjon av tid eller kostnad (Ballard 1999a).

2.5.2 Kontinuerlig forbedring

Kontinuerlig forbedring er et viktig prinsipp i Lean. En forutsetning for kontinuerlig forbedring, er reduksjon av sløsing. Sløsing refererer her til alt som bruker ressurser, men som ikke skaper verdi for kunden. Koskela (2000; 2004) definerer seks kategorier av sløsing i prosjekteringsfasen av et byggeprosjekt. Disse er beskrevet i tabell 2.

Tabell 2: Kategorier av sløsing i prosjekteringsfasen (Koskela 2000; Koskela 2004)

Sløsing i prosjektering	Forklaring
«Making Do»	En oppgave som starter uten all standard og nødvendig informasjon
Omarbeid	Prosjekteringsarbeid som må gjøres om igjen, på grunn av at løsningen ikke passer dets formål eller krav
Teknologiske løsninger	Mangel på systemstruktur, kontrollinstrumenter, forbedringsprosedyrer eller utilstrekkelig teknologiske løsninger
Informasjonslogistikk	Dårlig eller mangelfull overføring av informasjon mellom prosjekteringsdeltakerne internt og med andre interessenter eksternt
Unødvendig arbeid	Utarbeidelse av irrelevant prosjekteringsmateriale som leder til økt og unødvendig arbeid
Venting	Venting på informasjon som hindrer effektiv bruk av tid

Kategoriene i tabellen ovenfor, representerer overordnede temaer for en rekke ulønnsomme aktiviteter som ofte forekommer i prosjekteringsfasen.

Reduksjon av sløsing er en forutsetning for å skape en best mulig flyt i byggeprosesser. Reduksjon av sløsing og økt flyt i prosessene, er også de primære faktorene aktørene har for å maksimere sin verdi (Kristensen 2016). Dette vil igjen bidra til å bedre prosjektene, samtidig som det vil bedre de ulike aktørenes mulighet til å øke sin fortjeneste, i tillegg til sin konkurransevne (Johansen & Hoel 2016).

2.5.3 Standardisering

Ett av prinsippene i Toyotas produksjonssystem er å benytte standardisering for å redusere variabilitet, og dermed skape både fleksibilitet og forutsigbare utfall (Morgan & Liker 2006). Selv om byggebransjen er mindre standardiserbart enn industribransjen, er det flere som mener standardisering i byggebransjen vil være fordelaktig. I et byggeprosjekt vil nemlig variabilitet i arbeidsprosesser øke sannsynligheten for feil og negative iterasjoner, som igjen fører til overskridelser i både fremdrift og kostnader. Standardisering av prosesser vil imidlertid bidra til å redusere variabilitet, og følgende forbedre arbeidsflyt (Ballard & Feng 2008). I følge Koskela (2000) vil produksjonssystemer med mindre intern variabilitet, kreve mindre kapasitet, samtidig som det er i stand til å produsere høyere kvalitet. Alarcón og Mardones (1998) mener mangel på standardisering i prosjekteringsfasen resulterer i et tap av effektivitet i byggeprosjekter. Forfatterne foreslår derfor standardisering av prosjekteringsinformasjon som et tiltak for å redusere feil og kontinuerlige forandringer. De mener at dette vil bidra å forbedre kvaliteten av prosjekteringsmateriale. Ballard, Tommelein, Koskela og Howell (2002) mener standardisering av produkter og prosesser i et byggeprosjekt vil øke prestasjonen. De presiserer også at standardisering ikke trenger å kvele innovasjon. I følge Gibb og Isack (2001) finnes det en fremtid

for økt standardisering av prosesser i byggeprosjekter. Forfatterne presiserer imidlertid at standardisering krever at byggebransjen forstår de unike aspektene for hver enkelt kunde og responderer positivt til å møte deres behov. Egan (1998) og Wegelius-Lehtonen (2001) mener at de fleste byggeprosjekter vil gå gjennom de samme prosessen, selv om prosjekter per definisjon er unike. Standardisering av prosesser vil dermed være mulig.

2.6 Lean metoder

Metode definerer en organisasjons handlemåte, i form av hva en organisasjon må gjøre for å øke flyteeffektiviteten (Modig & Åhlstöm 2012).

2.6.1 PCP-planlegging

PCP-planlegging, Production Creation Process planlegging, er en metode som benyttes for å skape struktur i en kompleks og dynamisk byggeprosess, ved å kartlegge og diskutere den kommende prosess.

PCP-planlegging er et prosjekts milepælsplanlegging, som utvikles i innledningen til detaljprosjekteringen. Første skritt er å definere de ulike hovedprosessene til prosjektet, hvor de enkelte hovedprosessene blir tildelt en eier hver. Innenfor hver hovedprosess må de viktigste milepælene, både de kritiske og mindre kritiske, defineres etter kronologisk rekkefølge. Milepælene for hver prosess tildeles et nummer og en plassering i tiden, sett i forhold til interne prosesser og øvrige hovedprosesser. Planen blir da en logisk fremstilling av alle milepæler som må gjennomføres i prosjektet. Deretter må alle de nødvendige prosesser for å tilfredsstille alle kravene til de enkelte milepælene defineres. Denne planen blir underlaget for det taktiske planleggingsnivå (Kristensen 2016).

2.6.2 Planlegging på taktisk nivå

Planlegging på taktisk nivå er en metode som understøtter taktplanlegging, og innebærer å planlegge og oppdele prosjektets prosesser og aktiviteter i en jevn struktur som er tilpasset møtesekvenser. På det taktiske nivået legges det premisser for temaer, hvor et tema definerer prosesser som fører til milepæler utviklet i PCP-planen. Taktisk planlegging innebærer også å utarbeide de ulike anbud, som vil stimulere til rett innsats under prosjekteringen (Kristensen 2016).

Planlegging på taktisk nivå er normalt den vanskeligste delen av planleggingen i et prosjekt. Det krever både dedikasjon og en dyptgående innsikt i prosjektering og produksjon. Det krever også en god forståelse av kontrakter og en forståelse av brukernes behov. En god og intensiv planlegging på taktisk nivå, gir rådgiverne et godt grunnlag for effektivt arbeid på det operative nivået. Dette er

viktig for at rådgiverne skal nærme seg en optimal produktivitet gjennom prosjekteringsprosessen. Taktisk planlegging bør derfor være et hovedfokus i prosjekteringen av et prosjekt (Kristensen 2016).

2.6.3 Taktplanlegging

Taktplanlegging i byggebransjen er inspirert fra bilindustrien, og handler om å dele opp et bygg i ulike kontrollsoner. Deretter planlegges hver arbeidsoperasjon i riktig rekkefølge i de ulike kontrollsonene. På denne måten kan hvert fag arbeide uforstyrret i den enkelte kontrollsonen en gitt tid, såkalt takt tid. Når et fag er ferdig med en kontrollsonen, blir kontrollsonen overlatt til neste fag.

Hensikten med taktplanlegging, er å øke forutsigbarheten i prosesser. Dette gjøres ved å planlegge en jevn produksjon for hvert kontrollområde, og utvikle en jevn veksling i tid og sted mellom aktørene involvert i prosessen. I utgangspunktet er taktplanlegging tilpasset produksjon, men teknikken kan overføres til prosjektering (Kristensen 2016).

2.6.4 Frontloading

En unødvendig stor del av kostnadene til et prosjekt brukes vanligvis på retting av feil i prosjektering, utførelse og produkter. Dette resulterer i en merkostnad for kunden, da kundene betaler for produkter som ikke oppfyller de ønskede kravene (Johansen & Hoel 2016). Frontloading er et tiltak som forsøker å redusere disse kostnadene.

Frontloading betyr å legge flere ressurser i starten av et prosjekt. Det er fokus på å skaffe kunnskap om de problemstillinger som truer prosjektets suksess. Formålet er å unngå mange usikre beslutninger som gir kvalitetsproblemer og tilbakeslag i gjennomføringsfasen av prosjektet (Stokbro 2010). Frontloading innebærer altså at man bruker lang tid på å planlegge og prosjektere et prosjekt både detaljert og riktig, for å så å la selve byggingen til enhver tid foregå mest mulig smidig og rasjonelt. Dette medfører at man vil bruke mindre tid på byggingen.

2.6.5 Strukturerte samlokaliseringsprosesser

Strukturerte samlokaliseringsprosesser er kontraktuelle bindinger for å sikre at sentrale aktører i prosjektet fysisk sitter sammen og arbeider samtidig. Samlokalisering øker effektivitet og produktivitet i prosjektet, og benyttes for å spare tid og sikre bedre beslutninger for å øke verdiskapningen i prosjektet (Kristensen 2016).

2.6.6 Visuell planlegging

Visuell planlegging er en sosial planleggingsmetode som erstatter det tradisjonelle møtereferatet, ved å visuelt presentere planer (Kristensen 2016). Hensikten er å synliggjøre fremdriften til prosessen ved å visualisere prosess- og resultatorienterte mål (Modig & Åhlstöm 2012). På den måten blir det enklere å se og kontrollere statusen til flyten i de forskjellige delene av prosessene. Avvik som identifiseres skal håndteres fortløpende.

Som et hjelpemiddel for å fange opp spørsmål rådgiverne imellom, kan en dialogmatrise benyttes i planleggingen. I dialogmatrisen angir den vertikale aksene hvem som spør, mens den horisontale aksene angir hvem som er spurt. Spørsmål noteres på Post-It-lapper som festes i dialogmatrisen. Spørsmålene kan enten bli løst der og da, tas med i førstkommende arbeidsmøte, bli en aksjon i aksjonslisten eller så blir spørsmålene satt på vent til det er mulig å besvare dem. Ved å benytte verktøyet dialogmatrise i den visuelle planleggingen, vil man kunne sikre at spørsmål avklares, og at aktørene får den nødvendige informasjonen de trenger (Kristensen 2016).

2.6.7 Big Room

Big Room er et lokale som egner seg for møter og gruppearbeid tilpasset Lean-prinsipper, som synlighet, samhandling, åpenhet og informasjonsutveksling. Et Big Room er et stort rom hvor alle aktørene ser hverandre godt, og hvor veggene er dekket med relevante planer og audiovisuelt utstyr. Hensikten med et Big Room er at rommet skal tilrettelegge for samarbeid, som oppmuntrer til brainstorming, innovasjon, og rasjonell utnyttelse av tiden. Den økte graden av synlighet mellom aktører og den direkte tilgangen til planer, skal bidra til å unngå misforståelser og tap av tid. Bruk av Big Room krever tilrettelegging, og representerer en kostnadsøkning i forhold til tradisjonell gjennomføring. Kostnadsøkningen må derfor oppveies gjennom effektive prosesser og redusert sløsing, som er effekter Lean (Kristensen 2016).

2.7 Samhandling mellom aktører

Dagens byggeprosjekter har ofte mange involverte aktører. De fleste byggeprosjekter inneholder en økende grad av teknologi, som resulterer i tilsvarende flere spesialfelt og avdelinger. Denne økende fragmenteringen forårsaker en tilsvarende økende kompleksitet som skaper nye utfordringer for byggebransjen. For å håndtere den økende kompleksiteten, kreves det større grad av tverrfaglig samhandling og forståelse blant involverte aktører i byggeprosjektet. Graden av, og muligheten til, samhandling mellom aktører påvirkes av hvilken entreprisemodell som byggherren velger å benytte (Kristensen 2016).

2.7.1 Implementering av Lean i entreprisemodeller

Ambisjonsnivået i forhold til implementering av Lean må tilpasses til den valgte entreprisemodellen. Det er mulig å implementere Lean i alle entreprisemodeller, men hva og hvem som får noe ut av det, er avhengig av hvilken modell som blir valgt. Når det vurderes hvilken entreprisemodell som passer best til prosjektet, må derfor mulige positive effekter av Lean vurderes mot potensielle ulemper (Kristensen 2016).

Byggherrestyrte delentrepriser:

I byggherrestyrte delentrepriser, har byggherren separat kontrakt med rådgivere. Byggherren inngår også separate kontrakter med en rekke entreprenører, for ulike fagområder. Administrasjon og koordinering mellom aktørene er byggherrens ansvar. Byggherren kontrollerer altså både prosjekteringsprosessen og produksjonsentreprisen, og har derfor stor innflytelse og kontroll. Dette er en fordel når byggherren ønsker å implementere Lean, som er en relativt ny måte å jobbe på. Siden byggherren styrer byggeprosjektet og grensesnitt mellom aktører, vil entreprisemodellen ha en fordel i forhold til egnethet for Lean. Ulempen er at det er en ressurskrevende entreprisemodell, hvor byggherren har mange kontraktsparter å forholde seg til. Det krever at byggherren har rett kompetanse i forhold til byggeprosjektets kompleksitet (Kristensen 2016).

Integrert prosjektleveranse:

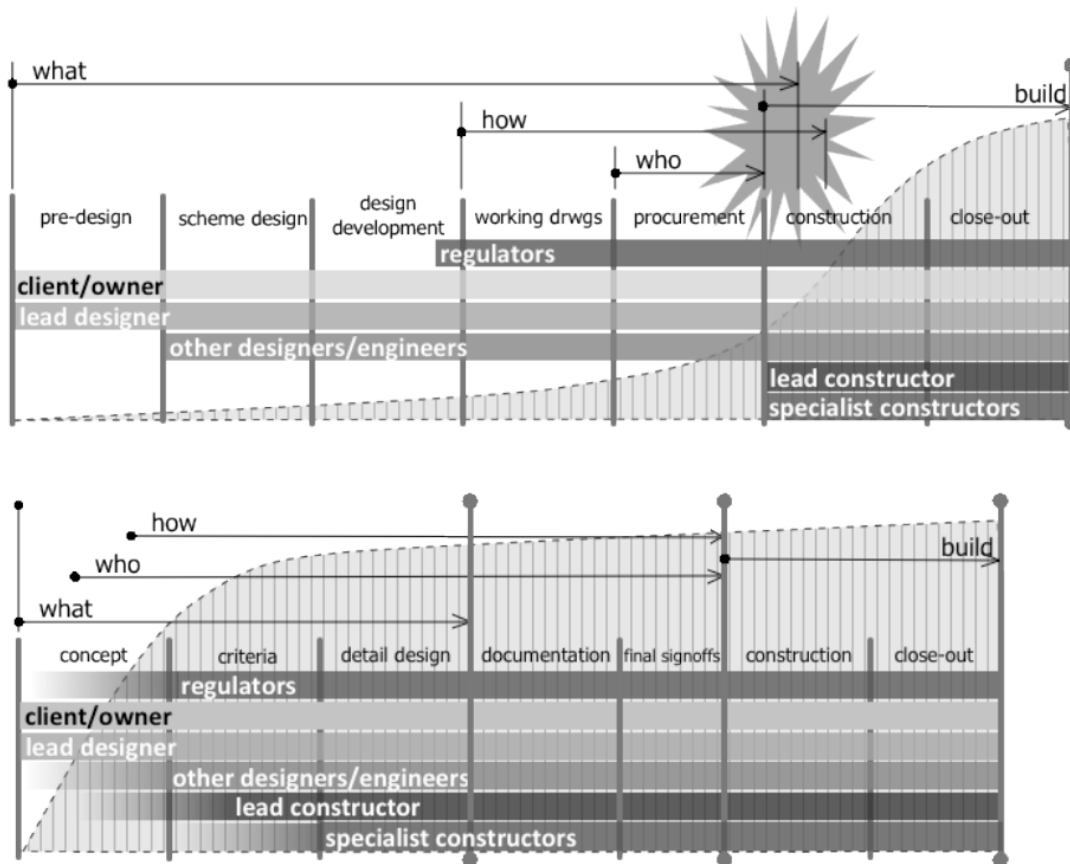
En ideell entrepriseform for et Lean-prosjekt, beskrives i litteraturen som Integrated Project Delivery, også kalt IPD (Ashcraft Jr 2014). IPD er nemlig tett knyttet til Lean-filosofien, da den gjennomgående tanken er å skape et best mulig prosjekt, på den mest effektive måten, ved å maksimere tverrfaglig samarbeid. Det finnes ikke en offisiell definisjon av IPD. American Institute of Architecture (AIA) har derimot prøvd å definere begrepet. En forenklet oversatt definisjon av IPD basert på AIA er følgende:

«IPD er en metode for prosjektgjennomføring hvor deltakerne samarbeider og utnytter hverandres kunnskap med felles verktøy og mål for å tilføre prosjektet mest mulig verdiskapning, og maksimere effektiviteten gjennom samtlige faser av byggeprosessen.» (AIA California Council 2007 s. 1)

IPD er en respons på behovet for omfattende samarbeid i stadig mer komplekse prosjekter. Entreprisemodellen tar utgangspunkt i tidlig kontrahering og samlokalisering av alle prosjektets aktører allerede fra prosjektets oppstart. Byggherre, rådgivere, entreprenører og eventuelle andre nøkkelparter, signerer en felles kontrakt som definerer felles ansvar. I fellesskap etablerer de mål, og binder deres individuelle fortjeneste til prosjektets ytelse. Det ligger felles insentiver innbakt i kontraktene, som styrker viljen og evnen til å samhandle.

Siden entreprenørene er med å prosjektere bygget, kan et prosjekt prosjektere de riktige løsninger første gang. Med andre ord vil IPD bidra til at et prosjekt tidlig avklarer hva som skal bygges, for deretter å avklare hvordan og hvem som skal bygge bygget allerede før byggestart. Dette fører til en

mer rasjonell oppstart av byggeprosessen, og er en forutsetning for en god produksjon. Dette er i motsetning til tradisjonelle entrepriser, hvor byggherren kjøper inn kompetanse gradvis mens prosjektet skrider fram (Mossman et al. 2010). Dette er illustrert i figur 3.



Figur 3: Forskjell på tradisjonell kontrahering og IPD (Mossman et al. 2010 s. 4)

Å benytte IPD som entrepriseform, eller å endre den tradisjonelle kontraheringstakten til en mer hyppig kontraheringstakt som IPD foreslår, vil ha en stor effekt på et prosjekt. I hvilken grad et Lean-prosjekt bør la seg inspirere av IPD sin foreslåtte kontraheringstakt er derfor noe en byggherre bør vurdere (Kristensen 2016).

2.8 BIM

BIM står for bygningsinformasjonsmodellering når man snakker om prosessen, og bygningsinformasjonsmodell når man snakker om produktet. BIM er et verktøy som muliggjør prosjektering av byggeprosjekter i 3D, og hvor man kan knytte informasjon til de tegnede objektene i modellen. BIM er med andre ord et objektbasert tegneprogram.

BIM gjør det mulig å se hvordan et bygg vil fungere, og kontrollere at bygget er byggbart. Visuell gjennomgang av 3D-modellen benyttes til diskusjoner, beslutninger og utvikling av generelle prosjekteringsprosesser. Dette gjør BIM til et sentralt prosjekteringsverktøy i et byggeprosjekt, hvor

3D-modellen danner grunnlaget for byggherrens beslutninger, og er produksjonsunderlaget til entreprenørene (Kristensen 2016).

BIM sørger for at hele byggeprosessen blir et stort digitalt samspill, hvor de ulike fagfelt arbeider med samme informasjon i en bygningsmodell. Informasjon lagres på et felles sted, og BIM benyttes derfor som en informasjonsplattform (Nelfo 2017). Informasjon fra en felles bygningsmodell kan enkelt legges inn og hentes ut av prosjektdeltakerne, noe som forbedrer informasjonsflyten i en prosjekteringsprosess (Nitithamyong & Skibniewski 2006). Tegninger blir oppdatert automatisk, og på den måten unngås det feil og mangler i tegningsunderlaget (Nelfo 2017).

En nyttig egenskap i BIM er muligheten til å utføre kollisjonskontroll. En kollisjonskontroll benyttes for å kontrollere kollisjoner mellom objekter og sikre at tegninger stemmer overens. På den måten sikrer BIM at mulige konflikter i prosjekteringsunderlaget oppdages så tidlig som mulig.

2.9 Systematisk ferdigstillelse

Om ferdigstillelsen av et bygg er vellykket, blir verifisert teknisk gjennom testing og igangsetting av byggets funksjoner. Tradisjonelt begynner denne testfasen i slutten av byggefasen. Dette betyr at prosjekterte løsninger, som ikke fungerer slik de i utgangspunktet var tiltenkt, ofte ikke oppdages før bygget er ferdig bygget. Dette er svært uheldig da det er vesentlig billigere å gjøre endringer i tidligfase, enn i de senere fasene av et byggeprosjekt (Johansen & Hoel 2016).

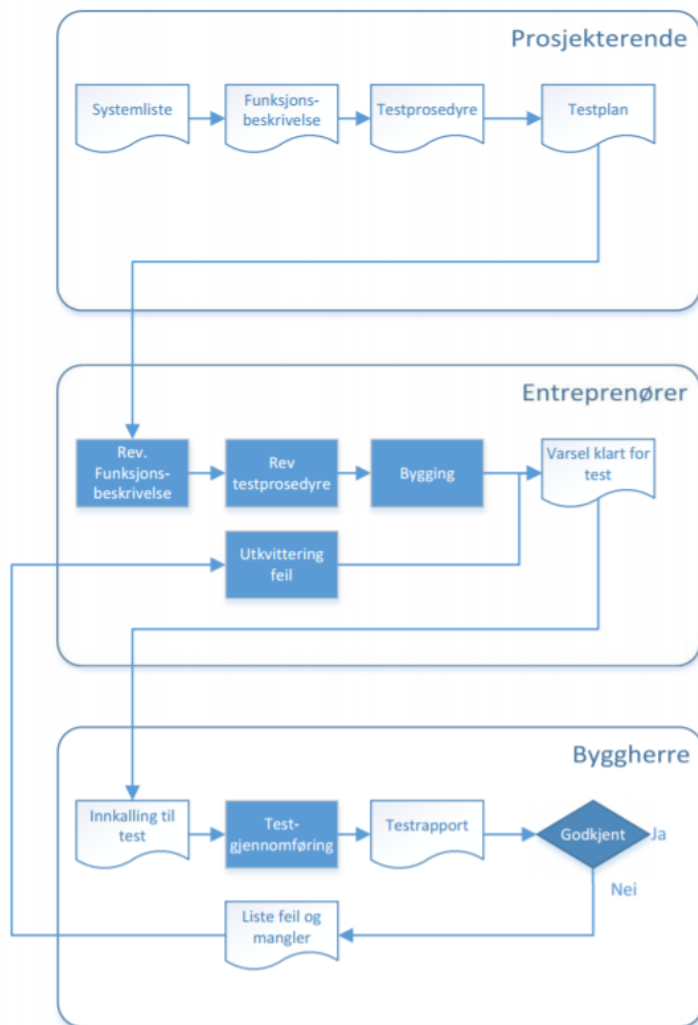
Dagens bygg har utviklet seg betraktelig i takt med den teknologiske utviklingen. Byggene inneholder som regel en rekke tekniske systemer som kommuniserer med hverandre, og byggene har av den grunn blitt langt mer komplekse enn tidligere. Dette har ført til at mange byggeprosjekter preges av at de prosjekterte funksjonene ikke fungerer som tiltenkt når bygget står ferdig. Byggebransjen må ta hensyn til den teknologiske utviklingen, for når sluttproduktet endres, må også produksjonen av produktet endres. Som et forsøk på ferdigstillelse av bygg med færre feil, har en ny metode - systematisk ferdigstillelse - blitt utviklet. Systematisk ferdigstillelse underbygger Lean i byggeprosjekter og defineres som:

«En sikkerhet for at prosjektet oppfyller alle funksjonskrav innenfor gitte tids-, kostnads- og kvalitetskrav, planlagt og verifisert gjennom en strukturert prosess som er ledelsesstyrt fra planlegging til overtakelse.» (Johansen & Hoel 2016 s. 9)

Systematisk ferdigstillelse handler om hvordan man gjennom hele prosjektet kan tilrettelegge for en suksessfull ferdigstillelse av det aktuelle bygget. Ved å etablere en plan for systematisk ferdigstillelse tidlig i prosjektet, vil man kunne tvinge fram et fokus på de tekniske systemene, så vel som hvilken rekkefølge systemene bør bygges og testes i.

Hensikten med systematisk ferdigstillelse er å skape kontinuerlig forbedring ved å ha et fokus på det endelige resultatet, endre kravene til hvordan enfaglige og tverrfaglige problemstillinger løses og beskrives, og søke å utføre arbeidet korrekt første gang. Dette gjøres ved at systemene til det

aktuelle bygget testes og kontrolleres fortløpende (Johansen & Hoel 2016). Innledningsvis er testene teoretiske, men etter hvert som systemene ferdigstilles på byggeplassen blir testene praktiske. Figur 4 illustrerer et prosesskart for utførelse av testing i systematisk ferdigstilling. For å sikre kontinuerlig forbedring bør også ledelsen benytte KPI'er. Johansen og Hoel (2016) har utviklet enkelte forslag til KPI'er som kan benyttes i utførelsesfasen og driftsfasen, i sin veileder for systematisk ferdigstilling.



Figur 4: Prosesskart for utførelse av tester (Johansen & Hoel 2016 s. 37)

2.9.1 Systematisk ferdigstilling i prosjekteringsfasen

I systematisk ferdigstilling ønsker man å teste så mye som mulig, så tidlig som mulig. Tidlig testing av byggets systemer vil bli vanskelig å gjennomføre dersom geometri og funksjon ikke passer sammen. Derfor er det viktig å fokusere på at bygningens geometri ses i sammenheng med hvordan de tekniske systemene skal fungere og hvilke områder de tar for seg. Under prosjekteringen utarbeides det derfor flere dokumenter for systematisk ferdigstilling, som blant

annet funksjonsbeskrivelser, integrerte funksjonsbeskrivelser og testprosedyrer (Johansen & Hoel 2016). I en funksjonsbeskrivelse stiller byggherren krav til produktenes funksjon, uten nødvendigvis å beskrive hvordan leverandørene skal oppnå disse funksjonene (Lædre 2012). Testprosedyrene forteller hvordan det aktuelle systemet skal testes. Testprosedyrene skal også inneholde konkrete akseptanskriterier. Dette fører til at aktører, allerede før testene gjennomføres, vet hva som må til for å få hele testen godkjent. Dette bidrar også til at det blir lettere å definere målbare milepæler av typen «gjennomført og akseptert test», i stedet for kun «gjennomført test». Hvis akseptanskriteriene er en del av kontraktsdokumentene, vil dette redusere sannsynligheten for uenigheter om testresultatene er rettmessig eller urettmessig underkjent (Johansen & Hoel 2016).

Etter utarbeiding av dokumentgrunnlaget må dette omforenes. Dette gjøres gjennom tabletester som gjennomføres mot slutten av detaljprosjekteringen, etter at entreprenører og deres leverandører er kontrahert, men før bestilling av utstyr og komponenter. Tabletest er en teoretisk test, hvor rådgivende, entreprenør og leverandør samles rundt et bord og gjennomgår prosjektets systemer enkeltvis eller i naturlig sammenhengende grupperinger. Her sjekker aktørene om dokumentgrunnlaget er tilstrekkelig å bygge etter, og om de utførende kan levere det som er beskrevet. Hensikten med å utføre tabletester er å tvinge aktørene til å utvikle et omforent grunnlag i god tid før oppstart på byggeplass. På den måten kan eventuelle uklarheter eller potensielle teoretiske feil avklares i tide til å ferdigstille prosjekteringen før bestilling av utstyr og bygging (Johansen & Hoel 2016).

2.10 Key Performance Indicator (KPI)

KPI står for Key Performance Indicator, og er en indikator for å måle prestasjon. Oversatt har David Parmenter (2015 s. 118) følgende definering på KPI:

«Key Performance Indicators (KPI'er) fokuserer på de aspekter av organisatorisk prestasjon som er mest kritisk for nåværende og fremtidig suksess for organisasjonen.»

Omformulert er KPI'er en beskrivelse av en organisasjons suksessfaktorer som er mest avgjørende for oppnåelse av suksess. Måling av KPI'er gir en indikasjon på om organisasjonen er på rett vei i forhold til å innfri sine overordnede mål og strategier. På den måten vil organisasjonen hurtig identifisere eventuelle avvik og hvor man må iverksette korrigerende tiltak.

Generelt kan KPI'er sies å falle i to kategorier; resultatparametre og prestasjonsdrivere. Eksisterende KPI'er i dagens byggebransje er hovedsakelig resultatparametre (Tatsiana & Saad 2008). Resultatparametre viser hvilken prestasjon som er oppnådd, og måles i etterkant av en operasjon, fase eller et prosjekt er fullført. Av den grunn har ikke parameterne så stor prediktiv evne. Parameterne er altså ikke brukbare til å spå fremtidig prestasjon, eller gi tidlig varslings om fallende prestasjon som vil føre til problemer senere i prosjektet (Langlo et al. 2015). Disse

parameterne vil dermed ikke gi et tilstrekkelig syn på potensialet for kontinuerlig forbedring, og er av liten nytte for å forbedre prestasjon underveis i et prosjekt (Tatsiana & Saad 2008).

Resultatparametre er med andre ord lette å måle, men vanskelig å forbedre eller påvirke. Likevel er resultatparametre verdifulle, både for å forstå hvilke prestasjoner som et prosjekt oppnår, og for å gjøre analyser og benchmarking mulig (Langlo et al. 2015). Benchmarking bidrar til at aktører kan fokusere på områder, som av dokumentert erfaring, viser de største forbedringsmulighetene.

Læring og erfaringsoverføring i en desentralisert bransje som byggebransjen, er nemlig ellers en utfordring. Aktørenes primære driver er å skape verdi, og denne verdiskapningen er som regel koblet opp mot egne interesser. Aktørene har lite insentiv til å endre sine prosesser, med mindre konkurrentenes verdiskapning er større enn deres. Det er først da aktørene er villige til å endre egne prosesser (Kristensen 2016).

Prestasjonsdrivere måler prosessene underveis i prosjektet. Dermed vil målingene ha en høyere evne til å forutsi fremtidige resultater. Dette gjør det mulig å iverksette korrigerende tiltak i løpet av prosjektet, for å sikre kontinuerlig forbedring (Langlo et al. 2015). Mangel på prestasjonsdrivere, eller såkalte prosessbaserte KPI'er, i dagens byggebransje er et av de største hindrene for å fremme kontinuerlig forbedring underveis i et prosjekt. For at kontinuerlig forbedring skal skje, er det nemlig nødvendig å måle effekten av forbedringstiltak (Alarcón & Serpell 1996). Flere forfattere anbefaler derfor å måle prosessene, slik at et prosjekt faktisk kan kontrollere og forbedre prosessene, mens prosjektet fremdeles er under utvikling (Alarcón & Serpell 1996; Beatham et al. 2004; Tatsiana & Saad 2008). Måling av prosesser vil gi de ulike aktørene innsikt i egne aktiviteter og prestasjoner (Langlo et al. 2015), som vil igjen medføre en økt bevissthet for mulighetene rundt forbedring av eget arbeid i prosjektet. Ikke bare vil dette bidra til å bedre prosjektene, men sannsynligvis vil det også bedre de ulike aktørenes mulighet til å øke sin fortjeneste, i tillegg til sin konkurranseevne (Johansen & Hoel 2016). Til tross for anbefalingene med å måle prosessene i byggeprosjekter, har det blitt gjort lite arbeid på denne fronten (Tatsiana & Saad 2008). Dette fremheves blant annet i arbeidet til Beatham et al. (2004), som har laget en kritisk oversikt over eksisterende KPI'er som benyttes i byggebransjen. Forfatterene avdekket at nesten alle KPI'ene er orientert rundt sluttproduktet. Dette indikerer et behov for prosessbaserte KPI'er, som kan kontrollere prosessene mens prosjektet fremdeles er under utvikling.

2.10.1 Hvordan utvikle KPI'er

En stor utfordring for organisasjoner, er å velge hvilke parametre som skal måle suksess. Kritiske suksessfaktorer varierer mellom ulike organisasjoner, og det er derfor helt avgjørende å identifisere og utvikle KPI'er for de virkelige kritiske faktorer, tilpasset den enkelte organisasjon (Parmenter 2015). Det er også avgjørende at organisasjonen fokuserer på de faktorer som kan måles, og som direkte relaterer seg til suksess innenfor det pågjeldende området. I følge Brown (1996) vil det være mer skadende å måle alt enn å måle ingenting. En organisasjon vil nemlig ikke klare å overvåke og kontrollere alt. Forfatteren påpeker derfor viktigheten av å måle de vitale få suksessfaktorene. Når

de kritiske suksessfaktorene for en organisasjon er identifisert, må man finne den beste måten å måle faktorene på (Brown 1996).

Det er viktig å finne en målemetode som kan kvantifisere den kritiske faktor, da subjektive suksessmål gir opphav til variasjon og uoverensstemmelser. Det er også viktig at målemetoden ikke er for komplisert, og at målerverdien er oppnåelig. Ifølge Brown (1996) bør et godt målesystem bestå av ulike målemetoder. Målene bør derfor være en blanding av både prestasjonsdrivere og resultatparametre.

I følge Schiemann og Lingle (1999) bør ikke KPI-målingene benyttes som et verktøy for å straffe eller belønne aktørene i prosjektet, som en konsekvens av måleresultatet. Dette fordi aktørene sannsynligvis vil klare å lure systemet med tiden, ved å lære seg hvordan de kan bruke reglene i systemet for å gi dem fordeler. Dette vil gi sekundære effekter, i tillegg til å bremse ned effektiviteten til den generelle prosessen. Dette samsvarer med Langlo et. al. (2015), som mener å straffe eller belønne aktørene i henhold til måleresultatene, vil kunne medføre dysfunksjonell adferd hos aktørene.

2.10.2 Eksisterende litteratur om KPI'er i prosjekteringsfasen

Egan (1998) utviklet en KPI hvor et prosjekt måler antall feil i prosjekteringsmateriale, for å kontinuerlig forbedre seg på dette området. Forfatteren mener at målet om null feil i et byggeprosjekt er mulig, men da må den tradisjonelle byggetilnærmingen endres (Egan 1998).

Ballard (1999b) utviklet måleindikatoren Prosent Plan Utført (PPU), som måler hvor mange av de planlagte arbeidsoppgavene som faktisk ble helt avsluttet. Men en fornuftig årsaksanalyse, vil PPU kunne avdekke flaskehals, da flaskehalsene naturligvis vil utløse ufullførte oppgaver, forutsatt at systemet er belastet hard nok. En PPU mellom 80 og 90 prosent er derfor den ideelle veien til forbedringer i flyten (Bertelsen 2005). PPU fører til en bedre kontroll over arbeidsflyten, og det forventes at en forbedret PPU vil forbedre prosjektresultatet betydelig (Ballard 1999b).

Dawood et al. (2006) utviklet ni 4D-baserte KPI'er for byggebransjen. Fem av KPI'ene er utviklet for detaljprosjektering, mens resten er utviklet for byggefasen. KPI'ene utviklet for detaljprosjektering presenteres i tabell 3. Forfatterens målesystem retter seg primært mot kontroll av sikkerhet, kundetilfredshet og tidsplaner. Sistnevnte går ut på viktigheten av pålitelighet. Ifølge forfatterne er påliteligheten av hver aktivitet i henhold til planen en kritisk suksessfaktor. Dette fordi en sen avslutning av en aktivitet kan hemme starten på en annen aktivitet, som igjen vil resultere i en økning i prosjektets varighet.

I følge Tribelsky og Sacks (2011), er det en utfordring å oppnå en jevn flyt av informasjon mellom de prosjekterende i et komplekst byggeprosjekt. Ofte bærer informasjonsflyten preg av både omarbeid, flaskehals, store partistørrelser og lange syklustider. Dette medfører ineffektiv flyt av informasjon, som igjen fører til flere typer sløsing. Forfatterne mener årsaken er mangel på forståelse for flyt av informasjon mellom forskjellige aktører i prosjekteringsfasen. Dette er delvis på grunn av mangel på teori og delvis på grunn av mangel på målinger. Av den grunn har

forfatterne utviklet syv KPI'er som tar hensyn til informasjonsflyt, både i tradisjonelle prosjekter og prosjekter som benytter BIM. Disse er presentert i tabell 3. Ved å måle informasjonsflyten i detaljprosjekteringen til byggeprosjekter, dokumenterte Tribelsky og Sacks (2010; 2011) en korrelasjon mellom stabil informasjonsflyt og suksessfulle prosjekter. Imidlertid fant ikke forfatterne en korrelasjon mellom subjektive synspunkt av et prosjekts suksess og informasjonsflyt.

Kristensen (2012) har i sin avhandling utviklet fjorten KPI'er til prosjekteringsfasen, som et verktøy for prosjekteringsleder å kontrollere og styre prosjekteringsprosessen. KPI'ene er delt opp i ulike nivåer; strategisk-, taktisk- og operasjonelt nivå. Seks av KPI'ene er utviklet for det strategiske nivået, fire for taktiske nivået, og de resterende fire for det operasjonelle nivået av et byggeprosjekt. KPI'ene utviklet for det operasjonelle nivået presenteres i tabell 3.

For å forbedre arbeid, må man kunne måle effekten av tiltakene som benyttes. Av den grunn har Langlo et al. (2015), som representerer BNL, SINTEF Teknologi og samfunn, NTNU, Catenda, og arkitektfirmaet Narud Stokke Wiig, utarbeidet en forprosjektrapport som ser nærmere på hvordan prestasjonsmåling for byggebransjen kan realiseres. I forprosjektrapporten presenteres en tabell med flere ulike mulige mål, på ulike nivåer, som forfatterne mener vil være nyttig å måle. Imidlertid må målene betraktes som en slags ønsketenkning (Langlo et al. 2015). Enkelte av Sintef sine forslag av målinger i prosjekteringen på et arbeidsprosessnivå presenteres i tabell 3.

Tabell 3: KPI'er i prosjekteringsfasen ut fra litteratur

Forfatter	Indikator	Funksjon
Egan (1998)	Antall feil	Antall feil i prosjekteringsmateriale
Ballard (1999b)	PPU	Måler arbeidsflyt-pålitelighet
Dawood et al. (2006)	Planleggingseffektivitet	Måler påliteligheten til planer
	Kommunikasjon	Måler informasjonsutveksling mellom deltakere
	Omarbeid	Måler mengden av omprosjektering på grunn av kundeforandringer og generelle feil
	Kostnad	Identifiserer kostnadsavvik
	Gruppeprestasjon	Måler klima i ulike grupper
Tribelsky og Sacks (2010; 2011)	Handlingsfrekvens	Frekvensen av informasjonsoverføring
	Pakkestørrelse	Kvantifiserer nivået av detaljer i informasjonspakker
	Pågående arbeid	Nummer av tilgjengelig, men ubrukt informasjonspakker
	Partistørrelse	Partivolumet av informasjonsoverføringer
	Utviklingshastighet	Hastigheten av informasjonsutvikling, representert av akkumulering av detalj
	Flaskehals	Identifiserer mulige flaskehals i prosessen
	Omarbeid	Kvantifiserer omarbeid, inkludert i informasjonspakker
Kristensen (2012)	Forespørsel etter informasjon	Den operasjonelle kvaliteten av prosjekteringsoutput, og nivået av forståelse på byggeplassen
	PPU	Graden av fullførte planlagte oppgaver fra møte til møte
	Deltakelse	Graden av deltakelse i møter
	Punktlighet	Punktligheten til prosjekteringsgruppen når det gjelder store prosjekteringsleveranser som tegninger og digitale modeller
Langlo et al. (2015)	Rettidig tegningsproduksjon	Varighet mellom ferdig tegning og start produksjon
	Tegningsrevisjoner	Antall tegningsrevisjoner
	Grad av standardisering	Antall varianter brukt av samme komponent
	Kollisjonskontroll	Antall kollisjoner mellom byggelementer avdekket i BIM-modell

3. METODE

Dette kapitlet introduserer metoden som er benyttet i denne oppgaven. Begrunnelsen bak valget av metode presenteres, og videre beskrives hvordan oppgavens data er samlet inn. Kvaliteten på de innsamlede dataene blir også belyst i dette kapitlet.

3.1 Hva er metode?

For å forklare hva en metode er, blir sosiologen Wilhelm Aubert sitert av Olav Dalland (2007 s. 71) på følgende formulering:

«En metode er en fremgangsmåte, et middel til å løse problemer og komme frem til ny kunnskap. Et hvilket som helst middel som tjener dette formålet hører til i arsenalet av metoder.»

Metoden er altså redskapet i en undersøkelse, som hjelper oss å samle inn data. Den valgte metoden bør kunne begrunnes med at den gir gode data, og belyser problemstillingen på en faglig interessant måte (Dalland 2007).

3.2 Litteraturstudie

Litteraturstudie er en kvalitativ forskningsmetode, og er en viktig del av informasjonssøkningen. En litteraturstudie går ut på å systematisk analysere relevant litteratur, av høy kvalitet. Studiet er omfattende, og krever tolkning av bestemte emner innenfor litteraturen. En fordel med en litteraturstudie, er muligheten til å oppdage kunnskapsgap. En svakhet ved en litteraturstudie, er at det nærmest er umulig å finne all relevant litteratur for problemstillingen til en oppgave.

Ved å benytte en litteraturstudie fikk forfatteren tilegnet seg et teoretisk fundament, som var nødvendig for å besvare problemstillingen tilstrekkelig. Forfatteren fant imidlertid lite eksisterende litteratur om bruk av KPI'er i prosjekteringsfasen, som et verktøy for å sikre kontinuerlig forbedring av flyt. Det finnes noe litteratur om KPI'er i prosjekteringsfasen, men med det meste hadde en annen hensikt enn å sikre kontinuerlig forbedring av flyt.

3.2.1 Søkestrategi

For å utføre litteraturstudiet systematisk, er det viktig med en klar søkestrategi. I denne masteroppgaven har strategien til litteraturstudiet blitt utviklet etter Aveyards (2010) prinsipper:

Fastslå hvilken type litteratur det søkes etter: Fagartikler og doktoravhandlinger har vært hovedfokuset ved søkingen, da informasjonen i denne type litteratur viste seg å være mest relevant.

Utvikle søkeord/søkekombinasjoner som er logiske og relevante: I litteraturstudiet ønsket forfatteren å få en bredere forståelse for bruk av Lean og KPI'er i byggebransjen. Søkeord som Lean Construction, Lean Design, Key Performance Indicators, og kombinasjoner av disse, ble naturlige søkeord og har blitt benyttet gjentagende ganger. Andre søkeord som forfatteren mener har vært hensiktsmessige, har også blitt benyttet i litteraturstudiet.

Videre undersøke relevante kilder sitert i funnet litteratur: Kilder som har blitt referert til gjentatte ganger, har blitt undersøkt for å dekke et stort område av litteraturen, og for å minke faren for å kun inkludere de første kildene som dukker opp i litteratursøket.

Velge hensiktsmessig og troverdig søkemotor: For å finne relevant og nyttig litteratur, har forfatteren brukt ulike søkemotorer. Blant annet har forfatteren benyttet søkemotoren ORIA. Søkemotoren gir tilgang til det Norske fagbiblioteks samlede ressurser, som blant annet bøker, artikler og tidsskrifter. Google Scholar er en annen benyttet søkemotor som har blitt benyttet. Denne søkemotoren gjør det mulig å søke på tvers av et bredt spekter av akademisk litteratur.

3.3 Valg av forskningsmetode

Ved valg av metode må en først vurdere om det skal benyttes en kvalitativt orientert eller kvantitativt orientert metode. En kvantitativ metode tar sikte på å omforme informasjon til tall og målbare enheter, mens en kvalitativ metode søker å fange opp det som ikke er målbart - som meninger og opplevelser (Dalland 2007). Hovedskillet mellom kvantitativ- og kvalitativ metode, er dermed om informasjonen kan uttrykkes i tall eller tekst.

Ved valg av kvantitativ eller kvalitativ metode, må man avgjøre følgende forhold (Halvorsen 2003):

Tilnæringsmåte: Her skilles det mellom en induktiv og hypotetisk-deduktiv tilnæringsmåte. En induktiv tilnæringsmåte assosieres med en kvalitativ metode, og går ut på å forsøke å nærme seg en virkelighet man ikke kjenner. Man har ikke klare hypoteser, og problemstillingen er upresis. Formålet er å utvikle begreper og skaffe en helhetsforståelse av et fenomen. En hypotetisk-deduktiv tilnæringsmåte blir vanligvis forbundet med en kvantitativ metode, og går ut på å teste hypoteser ved å vurdere holdbarheten til bestemte teorier. Dette forutsetter en presis problemstilling, og at man vet at informasjonen som skal innhentes er meningsfull.

Med utgangspunkt i oppgavens problemstilling, vil en induktiv tilnæringsmåte være passende. Problemstillingen har ingen klare hypoteser, og er lite presis. Det finnes lite forhåndskunnskaper på området, og er derfor ønskelig at datainnsamlingsmetoden kan bestemmes underveis.

Problemstilling: Det er viktig å analysere hvilke metoder som gir mest relevant data for den gitte problemstillingen. Det vil si at undersøkelsesmetode prinsipielt bør velges etter valg av problemstilling. En induktiv tilnærming har ofte en upresis problemstilling, men forskeren må uansett ha et fokus som utgangspunkt for sin forskning, som gir grunnlag for hvilken metode som bør velges.

I denne oppgaven er det nødvendig å skaffe en helhetsforståelse av hvordan prosjekteringen i prosjektet KHiB ble gjennomført, for å kunne belyse problemstillingen tilstrekkelig. Meninger, opplevelser og erfaringer er en viktig kilde for å skaffe denne forståelsen. Det må derfor benyttes en metode som søker å fange opp det som ikke er målbart.

Formålet med undersøkelsen: Her skilles det mellom helhetlig forståelse og representativ oversikt. En helhetlig forståelse av spesifikke forhold bunnar i en intensiv strategi hvor det er få undersøkelsesenheter og mange variabler. Dette innebærer at man må gå i dybden og forskningen må baseres på små utvalg, noe som tilsier en kvalitativ metode. En representativ oversikt over generelle forhold, utarbeides ved å innhente få opplysninger om mange undersøkelsesenheter. Dette assosieres med en kvantitativ metode.

For å belyse problemstillingen kreves det en helhetlig forståelse av ett enkelt prosjekt, nemlig KHiB-prosjektet. Det er altså kun en undersøkelsesenhet, og forfatteren må forske i dybden for å skaffe relevant og pålitelig data. Det må derfor velges en metode hvor datainnsamling foregår gjennom få studieobjekter, og hvor man forsker i dybden for å få den nødvendige helhetsforståelsen.

Egne forutsetninger og ressurser: Valg av metode er begrenset til tid, ressurser og hva forskeren behersker. Det er dermed mulig at den mest ideelle metoden er uaktuell.

Tid og ressurser vil naturligvis sette en begrensning for antall studieobjekter i oppgaven. Dette er tatt med i betraktning ved valg av metode.

Egenskaper ved studieobjektene: For å få god og relevant data er det viktig at studieobjektene må beherske den valgte metoden.

Da problemstillingen er avgrenset til å innhente data fra ett prosjekt, er det naturlig å velge studieobjekter som har deltatt i prosjektet. Om disse behersker den tenkte metoden, ble tatt hensyn til ved at forfatteren kontaktet en sentral prosjektdeltaker som kunne bekrefte dette.

Forskerens forhold til datakildene: Får man informasjon av mennesker, kan forholdet preges av nærhet eller avstand. Et nært forhold oppstår når forskeren arbeider med informanten, og innebærer at forskeren blir sensitiv ovenfor informantens virkelighetsoppfatning. Informasjonsinnhentingens låses ikke fast til et allerede utarbeidet skjema. Avstand innebærer at forskeren ikke har ansikt-til-ansikt-kontakt med informantene, og informasjonen som skal innhentes er bestemt på forhånd. Nærhet og sensitivitet assosieres med kvalitativ metode, mens avstand og selektivitet er assosiert med kvantitativ metode.

For å belyse problemstillingen til oppgaven på en best mulig måte, er det viktig å innhente data fra fagfolk som har jobbet med KHiB-prosjektet. Disse fagfolkene kan besitte med meget relevant informasjon som forfatteren ikke har, og det er derfor viktig at informasjonsinnhentingens ikke er låst fast til et allerede utarbeidet skjema.

Med utgangspunkt i de overstående forhold, er en kvalitativ forskningsmetode mest passende for å belyse oppgavens problemstilling, og ble derfor et naturlig valg. Kvalitativ forskningsmetode er godt egnet i tilfeller hvor det finnes lite forskning på området. Da bruk av Lean i prosjekteringsfasen er relativt nytt i byggebransjen i Norge, og KPI'er knyttet til prosjekteringsfasen er lite undersøkt, er kvantitativ forskningsmetode en hensiktsmessig tilnærming for å belyse problemstillingen. Datainnsamling i kvalitative metoder skjer ofte gjennom intervju eller observasjon. Da forfatteren hadde tilgang til et spesifikt prosjekt i Statsbygg, ble en casestudie valgt som forskningsmetode, hvor intervjuer ble utført for å innhente data.

3.4 Casestudie

I casestudier har vi bare en, eller noen få undersøkelsesenheter. Hovedmålsettingen til en casestudie er å få en dypere forståelse av aktører, relasjoner, atferd og følelser som oppstår i prosesser (Halvorsen 2003).

I følge Yin (2003) vil en casestudie være relevant dersom det er ønskelig å finne ut «hvordan» eller «hvorfor» et fenomen fungerer. For å kunne belyse oppgavens problemstilling tilstrekkelig, var det nødvendig å finne KHiB-prosjektets suksessfaktorer for flyt i detaljprosjekteringen. Av den grunn var det viktig å ta et dybdykk i prosjektet, for finne ut hvordan prosjektet har prøvd å skape en best mulig flyt i prosjekteringsfasen og hva som begrenset flyten. Dette taler for å benytte en casestudie. En casestudie kjennetegnes ved et avgrenset fokus på den enkelte casen, og en svært inngående beskrivelse (Johannessen et al. 2016), noe som understøtter valget om å benytte en casestudie i denne oppgaven.

Det har vært mye debatt rundt generaliserbarheten til en casestudie (Flyvbjerg 2006) (Yin 2003). Flere er svært kritiske til generalisering av funn fra enkelte caser, og mener at dette er en stor svakhet med en casestudie. Ifølge Flyvbjerg (2006), er dette en misforståelse han mener å motbevise i artikkelen «Five Misunderstandings About Case-Study Research». Oversatt på norsk skriver forfatteren blant annet:

«En kan ofte generalisere på bakgrunn av en enkelt case, og en casestudie kan være sentral for vitenskapelig utvikling via generalisering som et supplement eller et alternativ til andre metoder. Men formell generalisering er overvurdert som en kilde til vitenskapelig utvikling, mens «kraften av eksempler» er underestimert.» (Flyvbjerg 2006 s. 12)

Selv om kunnskap ikke formelt kan generaliseres (Flyvbjerg 2006), er det ønskelig at funnene og kunnskapen fra dette casestudiet kan benyttes og overføres til fremtidige prosjekter. Dette vil kunne tjene fremtidige prosjekter som benytter Lean prosjektering.

3.4.1 Intervju

Intervju er en viktig kilde til informasjon og bevis i en casestudie (Yin 2003), og intervju ble dermed et naturlig valg til datainnsamling i denne oppgaven.

Intervjuobjektene i casestudiet ble valgt ut i fra deres rolle i prosjektet. Det var helt sentralt å samle data fra fagpersoner i prosjektet, som har god kjennskap til prosjekteringen. Dette støttes av Halvorsen (2003), som påpeker viktigheten av å velge gode intervjuobjekter, som kan informere om faktiske forhold. Tabell 4 viser informasjon om intervjuobjektene.

Tabell 4: Informasjon om intervjuobjektene

Navn	Firma	Rolle i prosjektet
Hans Thomas Holm	Statsbygg	Prosjektsjef
Anders Kalstad	Statsbygg	Arkitekt og prosjekteringsansvarlig
Per Roger Johansen	Atkins	Ansvar for prosjekteringsledelsen
Sven Wertebach	Atkins	Ansvar for prosjekteringsledelsen
Astrid Renata Van Veen	Snøhetta	Hovedarkitekt

Det ble valgt fem intervjuobjekter til datainnsamlingen. En av grunnene til at det ble valgt akkurat fem intervjuobjekter, er at disse ble anbefalt av prosjektsjefen i KHiB, som har god oversikt over hvem som ville være de største bidragsyterne i forhold til å belyse oppgavens problemstilling. Det var viktig for forfatteren å velge et antall som ville gi nok informasjon, samtidig som tiden skulle strekke til. Fem intervjuobjekter, som med sikkerhet fra prosjektsjefen ville komme med troverdig og relevant informasjon, ble derfor ansett som et hensiktsmessig antall.

En intervjuguide, som er en plan for intervjuet, ble utviklet av forfatteren i forkant av intervjuene. Intervjuguiden inneholdt noen få temaer som ønsket belyst, men rekkefølgen til temaene var ikke bundet. Intervjuene kan derfor sammenlignes med en guidet samtale mellom intervjuobjekt og forfatter, hvor temaer som ønsket belyst ble diskutert. For forfatteren fungerte intervjuguiden som et hjelpemiddel for å holde intervjuene på rett spor, for å sikre at all nødvendig data ble samlet inn. Selv om forfatteren utviklet en guide i forkant av intervjuene, bærer intervjuene preg av spørsmål som ble utviklet underveis i samtalen og fulget opp av intervjuobjektets svar. Hensikten med et slikt intervju, såkalt ustrukturert intervju, er at intervjuobjektet dominerer samtalen med rettleiding fra forfatter. Dette gir en frihet for intervjuobjektet til å uttrykke sine synspunkter og erfaringer.

Forfatteren satte av 1 time og 30 minutter til hvert intervju. Dette ga nok tid til å få innhentet rikelig med data fra hvert intervjuobjekt. Forfatteren valgte å ta lydopptak av intervjuene. Ifølge Yin (2003) baseres dette valget på personlig referanse. Fordelen er at et lydopptak gir en nøyaktig gjengivelse av intervjuet. Likevel har lydopptak visse forbehold; det bør ikke benyttes hvis ikke intervjuobjektet er komfortabel med det, det bør ikke benyttes hvis det ikke finnes en spesifikk transkriberingsplan, det bør ikke benyttes hvis oppmerksomheten dras bort fra intervjuet grunnet tekniske vanskeligheter, og det bør ikke benyttes hvis det brukes som en unnskyldning av

intervjueren for å ikke høre etter. Grunnen til at forfatteren valgte å ta lydopptak av de enkelte intervjuene, var at hun ønsket å være tilstede i samtalen, og utvikle spørsmål underveis i samtalen. Ved å benytte lydopptak, kunne forfatteren la være å skrive ned det som ble sagt, og i stedet rette hele sin oppmerksomhet mot intervjuobjektene. Alle intervjuobjektene fikk beskjed om at det ble tatt lydopptak av intervjuet. Om ønskelig, hadde de mulighet til å avstå fra dette. Etter intervjuene var avsluttet, ble lydopptakene transkribert og sent til det aktuelle intervjuobjektet for godkjenning.

En av styrkene til ustrukturerte intervjuer som datainnsamlingsmetode, er muligheten for å studere et fenomen i dybden. Intervjuobjektet har nemlig mulighet til å forklare og utdype sine synspunkt og erfaringer knyttet til et fenomen, uten å bli tvunget inn i en bestemt måte å tenke på. Det finnes imidlertid flere svakheter med intervju som datainnsamlingsmetode. Intervjuobjektene velger selv hvor mye informasjon de ønsker å dele. Forfatteren må dermed forutsette at intervjuobjektene har fortalt alt de mener er viktig for å kunne besvare problemstillingen tilstrekkelig. En annen svakhet med intervju, er at måten spørsmål stilles på kan variere mellom ulike intervjuer. En svakhet ved ustrukturerte intervjuer, er at de ikke sikrer eksakt samme spørsmålsstilling i hvert tilfelle. Det kan dermed oppstå problemer med å reprodusere den samme informasjonen.

3.5 Validitet og reliabilitet

Det stilles to krav til data som har betydning for dataens bruk og verdi: validitet og reliabilitet (Dalland 2007). Begrepet validitet kan gjengis med relevans, og henviser i hvilken grad resultater fra en studie er gyldige. Dataene som samles inn må være relevante for problemstillingen for at dataene skal være gyldige. Høy validitet indikerer at forskeren har studert de de rette ting i forhold til problemstillingen, for å samle inn relevant data. Reliabilitet kan gjengis med pålitelighet, og henviser til kvaliteten på data. Høy reliabilitet indikerer små målefeil. Dette betyr at uavhengige målinger gir tilnærmet identiske resultater. Dette oppnås ved at måleprosessen er fri for unøyaktigheter i alle ledd (Halvorsen 2003).

3.5.1 Litteraturstudie

I en litteraturstudie er det viktig å være kritisk til forfatteren ved bedømmelse av validitet. Både forfatteren, litteraturens relevans, og utgiver må kvalitetssikres. I tillegg er forfatterens empiri en viktig faktor. Av den grunn ble all benyttet litteratur vurdert opp mot feltets eksisterende teori, og all litteratur som ble undersøkt ble vurdert om den var relevant for oppgavens problemstilling. Siden det eksisterer relativt lite forskning på problemstillingens felt, vil naturligvis utvalget av litteratur være noe begrenset. Validiteten til litteraturstudiet kunne av den grunn vært noe høyere. Undersøkt litteratur kan sies å være av høy kvalitet, da den er tilgjengelig for nye undersøkelser. Reliabiliteten til litteraturstudiet kan derfor sies å være god.

3.5.2 Intervjuer

For at dataene skal ha høy reliabilitet, må forskningen kunne gjentas og reprodusere tilnærmet identisk resultat. Dette kan være problematisk ved kvalitative forskningsmetoder, og spesielt ved ustrukturerte intervjuer. Ustrukturerte intervjuer fører nemlig ofte til at spørsmål og spørsmålsrekkefølgen varierer fra intervju til intervju, noe som gjør det vanskelig å oppnå de samme dataene ved en gjentakelse av intervjuene. Personkjemi mellom intervjuer og intervjuobjekt er også vanskelig å reprodusere. Dette er faktorer som vil bidra til å svekke reliabiliteten til oppgavens data. Imidlertid ble det benyttet en intervjuguide som inneholdt temaer som ønsket belyst under intervjuene, noe som gjør det mulig å utføre et noenlunde likt intervju. Det ble også benyttet lydopptak under alle intervjuene, som ga forfatteren mulighet til å høre intervjuene flere ganger i etterkant. Dette benyttet hun seg av ved transkribering av intervjunotater, som ble sent til det aktuelle intervjuobjektet for godkjenning. På denne måten kunne eventuelle misforståelser eller feiltolkninger rettes opp. Dette bidrar til å øke resultatenes reliabilitet.

For at dataene fra et forskningsintervju skal ha høy validitet må de rette intervjuobjektene benyttes, og deres troverdighet må betraktes som høy. I denne oppgaven ble de benyttede intervjuobjektene anbefalt av prosjektsjefen, som kunne bekrefte at disse var de største bidragsyterne i forhold til å belyse oppgavens problemstilling. Intervjuobjektene vurderes derfor som troverdige av forfatteren.

Det ligger en mulig feilkilde i selve kommunikasjonsprosessen i ethvert intervju, da fortolkning spiller en sentral rolle ved bruk av kvalitativ metode. Svar kan ikke kun tolkes ut i fra det som blir sagt av intervjuobjektet, men må også tolkes ut fra mimikk, tonefall og kopspråk. Dette var forfatteren fullstendig klar over under alle intervjuene, og er derfor tatt med i tolkningen. Dersom forfatteren var usikker på egen tolkning, ble det stilt kontrollspørsmål for å sikre at tolkningen var dekkende for det intervjuobjektet mente. Dette bidrar til å øke validiteten til oppgavens data.

I forkant av intervjuet fikk alle intervjuobjektene tilsendt en mail av forfatteren, hvor de ble forklart hva som ønsket belyst under intervjuet. Forfatteren la også ved noen spørsmål hun ba dem tenke over før intervjuet fant sted, slik at de skulle stille opp forberedt. Dette medførte at forfatteren fikk mer reflekterte og utdypende svar fra de forberedte intervjuobjektene. Forfatteren har også utvekslet flere e-poster og hatt telefonsamtaler med enkelte av intervjuobjektene i etterkant av intervjuene. Dette for å få utdypninger av enkelte samtaleemner diskutert under intervju, men også for å få tilleggsinformasjon om enkelte temaer forfatteren mener vil bidra positivt i oppgaven. Forfatteren mener at dette bidrar til å øke validiteten på resultatene.

4. CASE: PROSJEKTET KUNST- OG DESIGNHØGSKOLEN I BERGEN

I dette kapitlet presenteres bakgrunnsinformasjon om oppgavens case; prosjektet Kunst- og Designhøgskolen i Bergen.

4.1 Fakta om Kunst- og Designhøgskolen i Bergen



Figur 5: KHIB illustrasjon eksteriør (Statsbygg v/Snøhetta)

Kunst- og designhøgskolen i Bergen (KHiB) er en høgskole som tilbyr utdanning basert på det nyeste innen kunstnerisk forskning og erfaringskunnskap. KHiB leier per dags dato seks lokaler i Bergen, noe som har ført til tungvint drift. Ønsket om å samle KHiB i ett lokale har derfor eksistert over lengre tid, og i 2005 fikk Statsbygg oppdraget med å planlegge den nye høgskolen.

Arkitektfirmaet Snøhetta vant plan- og designkonkurransen i slutten av 2005. Videre fulgte programmeringsfasen, flere skisseprosjekt og et forprosjekt. Tidlig i 2012 ble prosjektet sendt til Stortinget for bevilgning av midler til gjennomførelse. I juni 2013 fikk KHiB gjennomføringsbevilgning fra Stortinget.

Den valgte entreprisemodellen for prosjektet er byggherrestyrte sideentrepriser, med totalt 11 sideentrepriser. Prosjektets hovedaktører er listet opp i tabell 5.

Tabell 5: Prosjektets hovedaktører

Aktør	Firma
Byggherre	Statsbygg m/Atkins Prosjekteringsledelse og Fylkesnes Byggeledelse
Arkitekt	Snøhetta Oslo AS
Rådgivende ingeniør	Rambøll AS
Lean rådgivning	Prosche Consulting

Bygget har per juli 2015 en kostnadsramme på 1086 millioner kroner, og et bruttoareal per april 2015 satt til 14 800 kvadratmeter. Bygget skal være ferdigstilt og klar til innflytting mai 2017. Deretter gjennomfører Statsbygg en 9 måneders prøvedrift før den endelige overtagelsen.

4.2 Bakgrunn for Lean i detaljprosjekteringen i KHiB

Byggebransjen har i flere år fått kritikk for at produktiviteten faller. Dette skyldes blant annet ineffektiv prosjektering. Som regel utføres prosjekteringen på samme måte, prosjekt etter prosjekt, og utfordringene er ofte de samme gang på gang. Vanlige utfordringer i detaljprosjekteringen er:

- Et ufullstendig definert produkt. For eksempel den nye, unike bygningen.
- Manglende felles retning og struktur. For eksempel ulike ressurser som arbeider med utydelige eller ulikt definerte prosesser, med ulike verktøy fra ulike type plattformer (2D, 3D, AutoCad med flere)
- Manglende felles kultur. For eksempel ressurser fra ulike selskap, som arbeider med ulike forutsetninger, i et ulikt tempo, med ulike kommunikasjonsvaner.

Ulike holdninger, verktøy og organisering mellom prosjekteringsdeltakere vil ofte dra en organisasjon fra hverandre. KHiB-prosjektet har derimot forsøkt å gjøre noe med dette problemet, og har valgt å tenke helt annerledes i detaljprosjekteringen. Lean-tankegang har derfor blitt benyttet i en utstrakt grad. Prosjektet har hatt et sterkt fokus på jevn flyt i alle prosessene i detaljprosjekteringen, og forventer at dette vil bidra til et prosjekt med høyere kvalitet til samme budsjett.

4.3 Lean-visjon for prosjektet KHiB

I 2013, etter KHiB fikk gjennomføringsbevilgning fra Stortinget, ble Hans Thomas Holm utpekt som prosjektsjef. Prosjektet KHiB var da klar for detaljprosjektering, og fra dette tidspunktet har prosjektet hatt en visjon om å være et ledende Lean-prosjekt i Statsbygg. Prosjektet har hatt som et uformelt mål om å være det mest Lean'e prosjektet i Norge per dags dato, både med hensyn til

Lean prosjektering og Lean bygging. Prosjektet har utviklet en egen måte å gjennomføre detaljprosjekteringen, hvor Lean prosessplanlegging og Lean prosjektering kan anses å være pionerarbeid. I Norges byggebransje finnes det per dags dato ingen sammenlignbare prosjekter

4.4 Lean-Kultur

I prosjektet KHiB har hele prosjektledelsen vært dypt engasjert og involvert i Lean-tankegangen. I tillegg deltok kontraherte kontraktsparter i prosjektet på grunn av sitt Lean-engasjement.

Prosjektledelsen har gjennom hele prosjektet forsøkt å få alle nivåer til å forstå viktigheten av å arbeide med samme mentalitet, med et primært fokus på flyt, prosesser, helhet, transparens og visualisering. Prosjektet opplevde likevel at kreftene som trakk oppmerksomheten bort fra Lean-tankegang og mot den tradisjonelle tenkningen, var ekstremt sterk. Opprettholdelse og vedlikeholdelse av en Lean-kultur, ble derfor et stort fokus gjennom hele prosjektet, hvor prosjektledelsen kontinuerlig ga næring til Lean-kulturen.

4.5 Motivering og pre-seminar

Ingen av de eksterne prosjektdeltakerne, Snøhetta, Atkins, Rambøll og Fylkesnes, var særlig kjent med Lean i begynnelsen av detaljprosjekteringen. Det ble derfor avholdt et to-dagers pre-Lean-seminar, hvor Porsche Consulting var veiledende konsulenter. Begrepene helhet, prosess og flyt ble her introdusert.

Seminaret bidro til å skape bånd mellom prosjekteringsdeltakerne. Samtidig ble prosjektdeltakerne kjent med det kommende bygget, noe som ga refleksjoner i forhold til byggbarhet. Dette medførte god input for den etterfølgende detaljprosjekteringen.

I tillegg til et pre-seminar, ble det også avholdt et foredrag med Niklas Modig, som er en av forfatterne bak bestselgerboken «Dette er Lean – et effektivitetsparadoks». Hensikten var å skape en felles plattform for Lean-kultur, for alle prosjekteringsdeltakerne.

5. RESULTATER

I dette kapitlet presenteres resultatene fra casestudiet, med detaljprosjekteringen i prosjektet Kunst- og Designhøgskolen i Bergen som undersøkelsesenheter. Kapitlet gir en beskrivelse av hvordan prosjektet har forsøkt å skape en jevn flyt i detaljprosjekteringen, ved å benytte Lean i en utstakt grad. Utfordringer som har begrenset flyten blir også belyst. Helt til slutt presenteres en tabell som gir en oversikt over suksessfaktorene for flyt i detaljprosjekteringen i KHiB.

5.1 Lean prosessplanlegging

Detaljprosjekteringen i KHiB-prosjektet startet med en grundig prosessplanlegging, både for at de prosjekterende skulle få et helhetsbilde av prosjektet, og for at de skulle få en bedre forståelse av hvordan alt hang sammen. Prosessplanleggingen foregikk over to separate uker, og Porsche Consulting hadde ansvaret for gjennomføring av planleggingen.

Første skritt i prosessplanleggingen var å definere hovedprosessene i prosjektet. Statsbyggs prosjektmodell, med tilhørende hovedmilepæler (også kalt IG-punkter = interne godkjenningpunkter), var utgangspunktet for å plassere hovedprosessene i system.

Definering av hvilke hovedprosesser som eksisterte i prosjektet utløste lengre diskusjoner. Under prosessplanleggingen kom prosjekteringsgruppen frem til syv hovedprosesser. Planen ble imidlertid revidert i løpet av prosjektet, og til slutt ble det definert åtte hovedprosesser. Disse var prosjektstyring, prosjektering, anskaffelser, bruker/brukerutstyr, produksjon/byggeprosessen, kvalitetsstyring, systematisk ferdigstillelse og offentlig saksbehandling. En begrensning for prosjektet er at det kun ble definert hovedprosesser for detaljprosjekteringen og byggingen. Tidligere og senere faser ble ikke definert nærmere.

Innenfor hver hovedprosess ble de viktigste milepælene definert i kronologisk rekkefølge. Disse milepælene ble kalt nøkkelpunkter, for å unngå å blande dem med hovedmilepælene til Statsbyggs prosjektmodell. Nøkkelpunktene i prosessplanen var utelukkende ferdigpunkter. Det ble dermed ikke angitt når en aktivitet startet opp. Nøkkelpunktene ble deretter satt i system i relasjon til hverandre i en PCP-plan (Product Creation Prosess Plan). Videre ble planen digitalisert i en datamodell utviklet av Porsche Consulting. Helt til slutt ble de enkelte nøkkelpunktene detaljert beskrevet punkt for punkt.

PCP-planen ble prosjektsjefens oversiktsplan for hele prosjektet. Utarbeidelse av planen ga de prosjekterende en felles helhetsforståelse av oppgaver og prosesser de hadde foran seg, og bidro til å redusere silo-arbeid. Prosjekteringsgruppen ble også mer fortrolig å tenke, styre og planlegge med prosesser etter arbeidet med prosessplanleggingen.

5.2 Lean prosjektering

Kunnskapen fra Lean prosessplanlegging og kjennskap til Porsche Takt, var opphavet til ønsket om en smidig og rasjonell Lean detaljprosjektering. Det finnes lite informasjon om Lean prosjektering, og KHiB-prosjektet utviklet derfor en egen måte å gjennomføre detaljprosjekteringen på.

Prosjekteringsledelsen i KHiB bestod av en trio: Statsbyggs designleder, Snøhettas leder og Rambølls leder. Sammen hadde denne trioen ansvaret for gjennomføring av KHiB sin detaljprosjektering, som skulle følge prinsippene for Lean i henhold til Porsche Consulting. Disse prinsippene er Just-In-Time, flyt, takt, pull og null feil. Enkelte prinsipper fra Scrum, som stammer fra IT-bransjen, ble også benyttet. KHiB-prosjektet ønsket imidlertid ikke å innføre begrepene fra Scrum.

Flyt, prosesser og helhet har vært det primære fokuset til prosjektet KHiB ved utvikling av Lean prosjektering. Reduksjon av sløsing har imidlertid ikke vært et utgangspunkt for hvordan prosjektet har arbeidet med prosjekteringen. Likevel mener KHiB-prosjektet at sløsing har blitt redusert som et resultat av en god prosessplanlegging og helhetstenkning gjennom hele prosjekteringsfasen.

I motsetning til byggefasen som er sekvensiell, består en prosjekteringsfase av dynamiske variasjoner og er av natur iterativ. Det betyr at prosjekteringen vil gå noen skritt frem og noen skritt tilbake, da erfaringer som gjøres på et nivå, medfører at man må gå tilbake og gjøre endringer på et tidligere nivå. Å få til en rettlinjert flyt i prosjekteringsfasen er dermed umulig. Prosjektet KHiB ønsket imidlertid å redusere antall iterasjoner, og har prøvd å legge opp til en prosjektering hvor man bedrer forholdet fra eksempelvis fire skritt frem og tre skritt tilbake, til fem skritt frem og ett skritt tilbake.

5.2.1 Temainndeling og arbeidspakker

Utfordringen som prosjekteringsgruppen i KHiB-prosjektet stod overfor i detaljprosjekteringen, var den store informasjonsmengden som skulle håndteres mellom blandede og store sammensatte prosjektorganisasjoner. Prosjekteringen som en enhet var alt for stor og opplevdes som uhåndterlig.

KHiB-prosjektet håndterte den store informasjonsmengden ved å dele opp prosjekteringsoppdraget i små håndterbare temaer. Hvorvidt temaene var enfaglige eller tverrfaglige ble definert. I et komplekst prosjekt som KHiB, ble de fleste temaene definert som tverrfaglige. I starten av prosjekteringen ble inndeling utført på et overordnet nivå, da det ikke var mulig å bryte ned prosjekteringsoppdraget i små håndterbare biter på et så tidlig stadium. De ulike temaenes detaljeringsgrad økte derfor i takt med anvendt tid, og ble derfor delt opp fra et grovmasket informasjonsnivå til et finmasket informasjonsnivå. Tabell 6 angir enkelte av temaene som ble behandlet i KHiB-prosjektet (listen er imidlertid ikke komplett).

Tabell 6: Eksempler på temaoppdeling i KHiB-prosjektet

Temaoppdeling	
T1	Bygningsfysikk
T2	Akustikk
T3	Miljø
T4	Brann
T5	Geoteknikk
T6	Systematisk ferdigstillelse
T7	Dagslys kunstbelysning
T9	Fundamentering råbygg
T10	Fasade – tett bygg
T11	Landskap
T12	VA, utendørs vann og avløp
T13	Teknisk infrastruktur EL, automatikk
T14	Tekniske rom, ventilasjon, sprinkling
T15	Planløsning – layout
T17	Materialer – overflater – ARK himling

For å skape en god flyt i den iterative prosjekteringen fulgte temaene en avtalt logisk, kronologisk rekkefølge. Videre fikk hvert tema tildelt én ansvarlig eier i prosjekteringsgruppen, en såkalt temaeier. En temaeier var ikke nødvendigvis en prosjekteringsleder eller prosjekteringsgruppeleder. Som regel var temaeierne fagrådgivere. Prosjektet fokuserte på å velge en temaeier som hadde de beste forutsetninger for å stille de riktige spørsmålene, og de som kjente best til hvilket behov som var nødvendig til hvilken tid.

Temaeieren, og temaeierens tverrfaglige temagruppe skulle løse de ulike problemstillingene knyttet til sitt respektive tema. Hvert tema ble nedbrutt i flere saker og undersøker. Sakene og undersøkene ble igjen nedbrutt i ulike arbeidspakker (leveranser). Arbeidspakkene definerte dermed de prosessene som ledet til prosjektets nøkkelpunkt og milepæler.

Prosjektet benyttet takting i detaljprosjekteringen, både for å øke forutsigbarheten i fremdriften og skape en jevn arbeidsrytme. En arbeidspakke skulle dermed løses innen en prosjekteringstakt. Prosjekteringstakten i prosjektet ble satt til hver fjortende dag, da de mente dette var en passende taktid. Denne hyppige prosjekteringstakten har bidratt til at prosjektet har oppnådd en mer forutsigbar og kontrollert fremdrift av fasen.

De tverrfaglige temagruppene var selv ansvarlig for å hente inn all nødvendig informasjon fra de andre prosjekterende, for å løse sin egen arbeidspakke. Denne delegeringen ga prosjekteringsdeltakerne en klar ansvarsfordeling, og et større eierskap til prosjektet.

En utfordring i KHiB-prosjektet var at flere saker ble beskrevet for generelt. Sakene definerte mer en oppstart av et arbeid som måtte gjøres, som skulle pågå eller repeteres over lang tid – mye lengre tid enn prosjekteringstakten på fjorten dager. Et eksempel på en generell beskrivelse av en sak var «sjekk lysberegning». Lysberegning skulle sjekkes i hele bygget, og i flere omganger, etter hvert som prosjekteringen utviklet seg fremover. Man ble med andre ord ikke ferdig med saken «sjekk lysberegning» på en fjorten dagers prosjekteringstakt. Saken burde blitt nedbrutt til et detaljnivå som gjorde det mulig å løse den innen en prosjekteringstakt, eksempelvis sjekk lysberegning for et spesifikt område. I KHiB-prosjektet har det vært mange slike eksempler på for generelle saker og oppgaver. Et stort læringspunkt er dermed å bli bedre på å definere og dele opp saker og oppgaver i mindre biter, slik at de er løsbare innen en prosjekteringstakt.

KHiB-prosjektet har også opplevd enkelte utfordringer med aktører som tok beslutninger på et feil grunnlag. Et eksempel var en spesialist som overleverte et prosjekteringsmateriale til prosjekteringsgruppen. Prosjekteringsgruppen fikk imidlertid ikke materialet til å stemme, da dette materialet ville vært et stort tilbakeskritt og hadde ført til en kjempeiterasjon i prosjekteringen. Prosjekteringsgruppen gikk derfor nærmere inn på detaljene til materialet. Det viste seg at spesialisten hadde brukt et utdatert grunnlag som han hadde funnet på prosjekthotellet. Dette medførte at spesialisten måtte utføre arbeidet en gang til, denne gangen med riktig grunnlag. Problemet med denne spesialisten var at han kom inn i prosjektet fra sidelinjen. Han var ikke kjent med Lean, og han fikk heller ikke noen opplæring. Dermed forstod han aldri hva prosjektet holdt på med, og arbeidet i egen silo slik han alltid hadde gjort.

5.2.2 BIM-modell

Et viktig verktøy for å implementere Lean-tankegangen i detaljprosjekteringen til KHiB-prosjektet, har vært å arbeide med en BIM-modell av det kommende bygget. Prosjektet krevde derfor at alle aktører skulle arbeide i en felles BIM-modell, både for å øke transparensen i prosjektet og for å etablere en felles informasjonsplattform.

KHiB-prosjektet har fokusert på flyteffektivitet fremfor ressurseffektivitet. Det vil si at de prosjekterende til enhver tid ikke skulle gjøre mer enn nødvendig for det stadiet de var på, og de skulle heller ikke benytte flere ressurser enn nødvendig. BIM-modellen ble definert som flytobjektet i detaljprosjekteringen, og dermed ble BIM-modellen jevnlig tilført verdi gjennom de ulike temaene som de prosjekterende arbeidet med. Dette ga prosjektet verdioverføring i en høy andel av den totale prosjekteringstiden. Temaene som økte i detaljeringsgrad i takt med anvendt tid, økte igjen modenheten i BIM-modellen fra et grovmasket informasjonsnivå til et finmasket informasjonsnivå.

Oppnåelse av flyteeffektivitet i prosjekteringen har vært noe varierende. Til tider opplevde prosjektet at noen få ressurser ble flaskehals. Dette kunne blant annet være enkeltindivider som ikke innfant seg med det systemet prosjektet hadde tilrettelagt for, individer som arbeidet med for store oppgaver eller individer som ikke behersket sin arbeidsoppgave. Selv om prosjektet sin strategi var å prioritere flyteeffektivitet fremfor ressurseffektivitet, valgte prosjektet å prioritere ressurseffektivitet fremfor flyteeffektivitet i tilfeller hvor ressurser ble flaskehals.

I prosjektet ble det utført kollisjonskontroll av BIM-modellen hver fjortende dag, for å avdekke kollisjoner mellom fagområdene, og videre plassere ansvar for oppretting av kollisjonene. Dette ga prosjektet den nødvendige tverrfaglige kvalitetssikringen på prosjekteringsmaterialet. Kollisjonskontroll ble derfor KHiB-prosjektets sentrale verktøy for å eliminere feil i modellen. Samtidig har prosjektet erfart at mye av det som vises som kollisjoner i BIM-modellen, egentlig ikke er kollisjoner, da det kan være objekter som fremdeles ikke er ferdig prosjektert. Disse kollisjonene har da de prosjekterende måttet friskmelde manuelt.

KHiB-prosjektet definerte et frystidspunkt hvor aktørene skulle være ferdig med tverrfaglig input til BIM-modellen, for å etablere en forutsigbarhet i forventningene til prosjekteringen. Tverrfaglig input vil si informasjon som påvirker flere fagområder. En dør er et eksempel på et element som påvirker flere fagområder, og er dermed tverrfaglig informasjon. Etter frystidspunktet skulle aktørene kun mette sitt eget fag i BIM-modellen. Likevel ble det lagt inn informasjon, som helt klart var tverrfaglig og påvirket flere fag, i BIM-modellen etter at BIM-modellen var lukket for tverrfaglig input. Dette har medført feil på byggeplass.

Det viser seg at det er mangel på tverrfaglig forståelse blant aktørene. Enkelte aktører har trodd de har jobbet enfaglig i BIM-modellen etter frystidspunktet for stopp av tverrfaglig input, men dette har imidlertid ikke vært tilfellet. Siden prosjekteringsgruppen ble informert om at aktørene arbeidet enfaglig, har ikke dette arbeidet blitt tverrfaglig avsjekket. Det er først ute på byggeplassen prosjekteringsgruppen har oppdaget alle feilene arbeidet har medført. Et eksempel var stikkontakter. Stikkontakter ble beskrevet som en post, men endelig plassering av alle stikkontakter ble ikke modellert i BIM-modellen før frystidspunktet. Stikkontaktene ble derfor ikke tverrfaglig avsjekket. Det var først når innerveggene var bygget, de innså at dette skapte problemer for brukeren.

Frystidspunktet for stopp av tverrfaglig input ble satt før utsendelse av anbud, og dette var alle aktørene omforent med. Imidlertid viste det seg at byggebransjens innkjøpssystem skapte noen utfordringer. Enkelte aktører var svært leverandøravhengige, og måtte vente til entreprenører og leverandører var kontrahert før de kunne prosjektere videre. For eksempel kan en VVS-ingeniør mene at han har prosjektert alt han kan før anbud. Imidlertid er dette kanskje kun 60 prosent av informasjonen som den samlede prosjekteringsgruppen trenger. VVS-ingeniøren må nødvendigvis legge inn informasjon i BIM-modellen etter kontrahering av entreprenør og leverandører. Denne informasjonen vil helt klart påvirke resten av prosjekteringen, og kan føre til store iterasjoner i prosjekteringen eller feil på byggeplass, på grunn av alle avhengighetene mellom fagområdene.

Dette kan illustreres med et konkret eksempel fra prosjektet; I korridoren til bygget ble det prosjektert en himling, det vil si en takflate, som hang ned fra etasjeskilleren. Dette skapte et mellomrom som skulle benyttes til skjult fremføring av tekniske installasjoner som blant annet ventilasjonskanaler og elektriske kabler. Ventilasjon og elektro er svært leverandøravhengig og fikk dimensjoner til sine produkter svært sent. Dimensjonene til produktene var imidlertid større enn forventet, noe som medførte at himlingen ble presset nedover. Dette skapte plassproblemer i korridoren, som igjen skapte problemer for de prosjekterte dørene.

5.2.3 Samlokalisering

Samlokalisering var en sentral del av prosjekteringen i KHiB-prosjektet. Hensikten var å sikre at alle aktørene satt fysisk sammen og jobbet samtidig, for å redusere silotenkningen og øke transparensten blant aktørene. Dessuten var samlokalisering et viktig hjelpemiddel for å sørge for at alle fagområdene holdt en likartet og jevn hastighet i prosjekteringen.

Samlokaliseringen foregikk i et Big Room i tre hele dager hver fjortende dag. Her ble de ulike temaene og sakene visualisert, bearbeidet, omforent og levert i forhold til avtalte planer og frister. Tverrfaglige problemstillinger ble spesielt trukket frem, og gitt ekstra prioritet under samlokaliseringene.

KHiB-prosjektet utviklet en møteplan for samlokaliseringen, ved at de enkelte temaene innmeldte sine møtebehov. På den måten kunne prosjektet styre ressursene, og prioritere de temaene som var viktigst å løse først. For å bruke tiden effektivt, ble det forsøkt å planlegge møter hvor alle som deltok var relevante bidragsytere. Tradisjonelle prosjekteringsmøter, der man sitter 15 stykker rundt et bord hvor kun en har ordet, har derfor vært fraværende i prosjektet. Ved at KHiB-prosjektet hele tiden har tenkt problemløsning og involvert de som er nødvendige til enhver tid, har de sluppet å kaste bort både tid og kompetanse. Det tradisjonelle møtereferatet, som blir sett på som sløsing av tid i henhold til Lean-tankegangen, ble erstattet med temalogger. Temaloggene definerte og håndterte temaene, i form av at de beskrev hvilke beslutninger som ble tatt.

På samlokaliseringdagene ble det benyttet en dialogmatrise. Matrisen fungerte som et hjelpemiddel for å fange opp spørsmål som dukket opp utenom de øvrige planverktøy mellom rådgiverne, og bidro til en god informasjonsflyt mellom aktørene. På det mest intense dukket det opp svært mange spørsmål i dialogmatrisen. Dette var nødvendig slik at de ulike temagruppene fikk hentet inn all nødvendig informasjon fra de andre prosjekterende, for å løse problemstillingene knyttet til sine respektive arbeidspakker.

5.3 Systematisk ferdigstillelse

Prosjektet KHiB har hatt et stort fokus på systematisk ferdigstillelse, hvor det overordnede målet har vært å overlevere et fungerende bygg til avtalt tid. Prosessen ble ansett som så viktig at den ble inkludert som en egen hovedprosess i prosjektet.

KHiB-prosjektet har prøvd å legge til rette for best mulig flyt og være mest mulig proaktive med prosessen systematisk ferdigstillelse. Prosjektet startet å planlegge for testing og verifisering av systemene allerede i detaljprosjekteringen. Dette ble gjort ved å benytte planleggingsmetoden bakoverplanlegging. Prosjektet startet dermed å bestemme hvordan det ferdige funksjonelle bygget skulle være, ved å tenke funksjon, funksjonstesting og byggbarhet allerede tidlig i prosjektet. Deretter planla prosjektet bakover i tid, for å finne ut hvilke prosesser som måtte være på plass for at bygget skulle bli ferdig. Ved å benytte bakoverplanlegging i prosjekteringen, ble det lagt et godt grunnlag for prosjektet. Planleggingsteknikken ga prosjektet mulighet til å ta hensyn til flyt-prinsipper for etterfølgende faser, med effekter som redusert sløsing, jevn tilførsel av verdier, og færrest mulig avvik og mangler.

Systematisk ferdigstillelse var ikke en del av prosjekteringsgruppens kontrakt, siden KHiB-prosjektet først fikk fokus på denne viktige prosessen etter at det meste var prosjektert. Dermed var mange av rammene allerede satt, med tanke på utforming og funksjoner. Likevel ble de delene av systematisk ferdigstillelse som fremdeles kunne bidra til å nå det overordnede målet om å levere et fungerende bygg til avtalt tid inkludert. Dette ble oppnådd ved å sette høye krav til funksjonsbeskrivelser, testprosedyrer og testing av tekniske systemer så tidlig som mulig.

I detaljprosjekteringen fokuserte prosjekteringsgruppen på å utarbeide et omforent grunnlag. Dette ble utført ved at prosjekteringsgruppen først utarbeidet dokumenter for systematisk ferdigstillelse, som funksjonsbeskrivelser og testprosedyrer. Disse dokumentene ble en del av tilbudsforespørselen til entreprenørene. Etter kontraktinngåelse med entreprenører og leverandører ble det utført tabletester. Dette resulterte i at prosjektet allerede i detaljprosjekteringen avdekket teoretiske feil i systemene. Eksempelvis ble det under tabletestingen avdekket at et lysstyringssystem måtte skiftes ut. Siden denne testen ble utført i detaljprosjekteringen, ble feilen avdekket før entreprenørene hadde kjøpt systemet. Dette sparte dem for en stor kostnad. Tabletesting har vært ønskelig i tidligere prosjekter, men det har først blitt realisert i KHiB-prosjektet.

5.4 Byggefase

Frontloading ble benyttet i detaljprosjekteringen til KHiB. Prosjektet bruket med andre ord lang tid på riktig og god prosjektering, for at byggingen forhåpentligvis skulle gå uhindret, og derav bidra til kortere byggetid.

Det oppstod flere endringsmeldinger i KHiB-prosjektet. Erfaringer fra prosjektet forteller at endringer av poster som regel er et utfall av tre muligheter; feilprosjektering, misforståelser eller leveranseavvik. Feilprosjektering vil si at prosjekteringsgruppen har prosjektert feil i forhold til hvilke krav og ønsker man har til produkter og systemer. Et eksempel på en feilprosjektering i KHiB var en resepsjonsdisk som ikke møtte kravene til universell utforming. Dette medførte en omprosjektering. Leveranseavvik betyr at leveransene avviker fra det som er beskrevet i posten. Årsaken kan være at leverandørene ikke evner å levere det som har blitt beskrevet. Et eksempel på et leveranseavvik i prosjektet KHiB var dører. Misforståelser er et resultat av at entreprenørene tolker en anbudspost annerledes i forhold til det de prosjekterende mener. Ved prising av anbud i KHiB-prosjektet har det enkelte ganger oppstått tvil om hva en post omfatter. Utfordringen ved utarbeidelse av poster i prosjektet, har vært at de prosjekterende ikke har fått lov til å være produktspesifikke. Det vil si at de prosjekterende ikke kunne beskrive et spesifikt produkt de ønsket seg, de kunne bare beskrive kravene som produktet skulle oppfylle. Anbudsposter som ble beskrevet for generelle og lite spesifikke i KHiB-prosjektet, førte til at entreprenørene fikk et tolkningsrom i forhold til hva som virkelig forlangtes av de prosjekterende. Enkelte ganger førte dette til at det oppstod motstrid i de generelle beskrivelsene, og resulterte med et behov for en ny beskrivelse av posten.

Prosjektet KHiB opplevde at en av de aller viktigste suksessfaktorene for god flyt var riktig leveranse til riktig tid, da de så at selv kun en forsinket leveranse av et prosjekteringsmateriale begrenset flyten i byggeprosessen. Et eksempel er igjen stikkontakter. Stikkontaktene som ikke ble tverrfaglig avsjekket, og som skapte problemer for brukeren, medførte et behov for en ny løsning av plassering til stikkontakter. Dette resulterte i en forsinket leveranse av prosjekteringsmateriale, og følgende redusert flyt på byggeplassen.

5.5 Oppsummering av resultater - suksessfaktorer for flyt i detaljprosjekteringen

Tidligere i dette kapitlet har det blitt beskrevet hvordan prosjektet KHiB har forsøkt å skape en jevn flyt i detaljprosjekteringen, ved å benytte Lean i en utstakt grad. Utfordringer som har begrenset flyten har også blitt beskrevet. I tabell 7 oppsummeres resultatene, hvor suksessfaktorene for flyt i detaljprosjekteringen til prosjektet KHiB listes opp.

Tabell 7: Suksessfaktorer for flyt i detaljprosjekteringen til KHiB

Suksessfaktorer for flyt	Hvorfor
Prosessplanlegging og PCP-plan	<ul style="list-style-type: none"> - Minimerer silo-arbeid - Gir et helhetsbilde av prosjektet - Gir en oversiktsplan for prosjektet som en helhet
Takt	<ul style="list-style-type: none"> - Krever inndeling i håndterbare temaer og arbeidspakker - Øker forutsigbarhet i prosesser - Skaper jevn arbeidsrytme - Bidrar til en forutsigbar og kontrollert fremdrift
Reduksjon av antall iterasjoner	<ul style="list-style-type: none"> - Færre tilbakeskritt i prosjekteringsprosessen
Felles BIM-modell som flytobjekt	<ul style="list-style-type: none"> - Gir verdioverføring i en høy andel av den totale prosjekteringstiden - Bidrar til å etablere en forutsigbarhet i forventningene til prosjekteringen - Øker transparensen - Gir en felles informasjonsplattform - Gir tverrfaglig kvalitetssikring
Samlokalisering og visuell planlegging	<ul style="list-style-type: none"> - Øker transparensen - Reduserer silo-arbeid - Bidrar til en jevn og likeartet hastighet blant de ulike fagområdene - Pull-system
Systematisk Ferdigstillelse	<ul style="list-style-type: none"> - Tydeliggjør kravene de prosjekterende har til leveransene - Tidlig testing bidrar til at prosjektet kan oppdage feil tidligere, slik at man unngår å måtte rette opp feil på helt på slutten av prosjektet
Frontloading	<ul style="list-style-type: none"> - Bidrar til riktig og god prosjektering - Bidrar til kortere byggetid

6. DISKUSJON

I resultatkapittelet ble prosjektet KHiB sine suksessfaktorer for flyt i detaljprosjekteringen presentert. I dette kapittelet drøftes det hvordan et prosjekt kan måle enkelte av disse suksessfaktorene, for å sikre kontinuerlig forbedring av flyt i sin detaljprosjektering. Denne generelle veien å utvikle KPI'er på støttes blant annet av Brown (1996).

6.1 Prosessplanlegging og PCP-plan

KHiB-prosjektet ønsket å minimere silo-arbeid, og utførte av den grunn en grundig prosessplanlegging i starten av detaljprosjekteringen. Dette førte til at de prosjekterende fikk et helhetsbilde av prosjektet, og en bedre forståelse av hvordan alt hang sammen. Etter prosessplanleggingen ble de prosjekterende også mer fortrolig å tenke, styre og planlegge med prosesser. Prosessplanleggingen ledet til en PCP-plan som ble en logisk fremstilling av alle milepæler som måtte gjennomføres i prosjektet (Kristensen 2016). Planen fungerte dermed som en oversiktsplan over prosjektet som en helhet for prosjektsjefen i prosjektet. En slik oversiktsplan er fordelaktig i et prosjekt, da denne planen gjør det enklere å korrigere kursen når avvik oppstår, og forbedre prosessene.

Ett av prinsippene i Toyotas produksjonssystem er å benytte standardisering for å redusere variabilitet, og dermed skape både fleksibilitet og forutsigbare utfall (Morgan & Liker 2006). Selv om byggebransjen har langt færre standardiserbare produkter og prosesser enn en samlebåndproduksjon, bør likevel byggebransjen standardisere der det er mulig. I et byggeprosjekt vil nemlig variabilitet i arbeidsprosesser øke sannsynligheten for feil og negative iterasjoner, som igjen fører til både fremdrifts- og kostnadsoverskridelser. Standardisering av prosesser vil imidlertid bidra til å redusere variabilitet, og følgende forbedre arbeidsflyt (Ballard & Feng 2008). I følge Koskela (2000), vil produksjonssystemer med mindre intern variabilitet kreve mindre kapasitet, samtidig som det er i stand til å produsere høyere kvalitet.

Til tross for dette, er standardisering lite benyttet i prosjekteringsfasen av et byggeprosjekt. I følge Alarcón og Mardones (1998) resulterer dette i et tap av effektivitet i byggebransjen. KHiB-prosjektet sin PCP-plan kan imidlertid være det første skrittet på vei mot standardisering av en PCP-plan for et byggeprosjekt. Selv om prosjekter per definisjon er unike, vil nemlig de fleste byggeprosjekter gå gjennom de samme prosessene (Egan 1998; Wegelius-Lehtonen 2001). Det vil kun være enkelte variasjoner mellom prosjekter. En standardisering av prosessene i et byggeprosjekt vil gjøre det lettere å oppnå gevinster, da man slipper å gjøre alt «for første gang» for hvert enkelt prosjekt. Dette er i overensstemmelse med Ballard, Howell, Koskela og Tommelein (2002), som mener at byggebransjen vil dra fordeler av standardisering, og hevder at standardisering av produkter og prosesser i et byggeprosjekt vil øke prestasjonen. Gibb og Isack (2001) mener også det finnes en fremtid for økt standardisering av produkter og prosesser i

byggebransjen, så lenge bransjen forstår de unike aspektene for hver enkelt kunde, og responderer positivt til å møte deres behov.

Standardisering av prosesser i prosjekteringsfasen vil gjøre det lettere å ta i bruk generiske KPI'er, som kan bidra til å identifisere forbedringsområder i prosjekteringen. Dette vil forenkle kontinuerlig og systematisk forbedring av aktiviteter og prosesser, som igjen vil bidra til å øke flyten i prosjekteringen. Standardisering av prosesser vil dessuten gjøre det enklere å sammenligne ulike prosjekters KPI-mål fra gang til gang, for dermed å kunne forbedre prosjektenes prestasjon.

En standardisert PCP-plan vil inkludere prosesser for alle prosjekttyper. Deretter går man inn i PCP-planen og velger til eller bort de prosesser og milepæler som kreves eller ikke kreves for det spesifikke prosjektet, slik at man får en PCP-plan tilpasset det aktuelle prosjektet. En standardisert PCP-plan vil dermed kunne gi en oversikt over hva prosjektet må gjennom på prosess- og milepælsnivå allerede ved oppstart.

6.2 Takt

Inspirert fra bilproduksjonen, har prosjektet KHiB brukt taktplanlegging (takting) i prosjekteringsfasen. I utgangspunktet er takting tilpasset produksjon, men teknikken kan overføres til prosjektering. Hensikten med takting er å øke forutsigbarheten i prosessene og holde en jevn arbeidsflyt (Kristensen 2016). Dette var også grunnene til at KHiB-prosjektet valgte å benytte seg av denne metoden.

For å kunne utføre takting i detaljprosjekteringen, måtte prosjektet dele opp prosjekteringsoppdraget i små håndterbare temaer, hvor et tema definerte de prosesser som førte til milepælene som ble utviklet i PCP-planen. Denne oppdelingen kalles for planlegging på taktisk nivå. En god og intensiv planlegging på taktisk nivå gir rådgiverne et godt grunnlag for effektivt arbeid på det operative nivået. Dette viktig for at rådgiverne skal nærme seg en optimal produktivitet gjennom prosjekteringsprosessen (Kristensen 2016)

Et tiltak for å redusere risikoen for negative iterasjoner og oppnå god flyt i den iterative prosjekteringen, er å utføre prosjekteringsoppgaver i en korrekt sekvens (Ballard 2000b). Derfor fulgte KHiB-prosjektets temaer og deres arbeidspakker (leveranser) en avtalt logisk, kronologisk rekkefølge. Arbeidspakkene var styrt av prosess, i motsetning til tradisjonell prosjektering hvor leveransene er styrt av klassiske leveranseplaner.

Prosjektet KHiB hadde noen utfordringer med arbeidspakker som ikke ble fullført og levert innen prosjekteringstakten. En av grunnene var at flere av sakene til de ulike arbeidspakkene ble definert for generelle, og var dermed ikke løsbare innen prosjekteringstakten på fjorten dager. I følge Bertelsen (2015), er pålitelighet en av nøklene til bedre flyt. Dette samsvarer også med Dawood et al. (2006), som mener en kritisk suksessfaktor i et byggeprosjekt er pålitelighet til aktiviteter i henhold til plan. En sen avslutning av en aktivitet kan nemlig hemme starten på en annen aktivitet,

noe som igjen kan resultere i en økning i prosjektets varighet. Hvis man ikke blir ferdig med en arbeidspakke vil man bryte påliteligheten, og følgelig redusere flyten. For å etablere forutsigbarhet i fremdriften kreves det kontroll på aktivitetene. Takt bidrar til å øke forutsigbarheten til fremdriften, siden man har kontroll på hvor lenge en aktivitet vil vare og når aktiviteten skal være gjennomført. Hvis en arbeidspakke imidlertid ikke blir levert innen takttiden, vil forutsigbarheten reduseres. En suksessfaktor for å oppnå en forutsigbar prosess og en best mulig flyt i prosjekteringen av et byggeprosjekt, er derfor at alle arbeidspakkene fullføres og leveres innen en prosjekteringstakt. Av den grunn kan det være hensiktsmessig å benytte en KPI som nettopp måler antall arbeidspakker som fullføres og leveres innen en prosjekteringstakt. Denne KPI'en vil bidra til å sikre god kvalitet på arbeidsoppgavene, ved å stille krav til at arbeidspakkene er godt definerte, utføres i rett rekkefølge, er av riktig størrelse, og at planlagte arbeidspakker er gjennomførbare. Dette samsvarer med hensiktene til produksjonskontroll i det anerkjente kontrollsystemet The Last Planner System (Ballard 2000a).

En KPI som måler antall arbeidspakker som fullføres og leveres innen en prosjekteringstakt, er tilsvarende lik måleindikatoren PPU som måler hvor mange av de planlagte arbeidsoppgavene som faktisk ble helt avsluttet. Ettersom PPU fører til bedre kontroll over arbeidsflyten (Ballard 2000a), er det rimelig å anta at en KPI som måler antall arbeidspakker som fullføres og leveres innen en prosjekteringstakt også vil bidra med dette.

For å kunne måle antall arbeidspakker som fullføres og leveres innen en prosjekteringstakt, må akseptkriteriene, altså forventningene, til hver arbeidspakke defineres svært nøye av sin respektive temaeier. På den måten kan en prosjekteringsleder enkelt godkjenne eller underkjenne arbeidspakken etter endt prosjekteringstakt. Dette vil derfor være en KPI som er lett å måle. Akseptkriteriene skal være definert så nøye at en prosjekteringsleder kan si ja eller nei på om arbeidspakken er helt fullført og levert eller ikke. Denne KPI'en er kvantifiserbar og gir dermed ikke opphav til uoverensstemmelser eller variasjoner, selv om det er ulike prosjekteringsledere som godkjenner eller ikke godkjenner en arbeidspakke. Dessuten krever ikke implementering av KPI'en ekstra arbeid, da en prosjekteringsleder må ha avsjekk av arbeidspakkene uansett.

Det er viktig å være oppmerksom på at KPI'en i seg selv ikke vil skape resultater. Det er arbeidet etter KPI-målingen som gir nytte til prosjektet. Etter måling vil det derfor være essensielt å avdekke hvorfor en arbeidspakke ikke ble fullført og levert til riktig tid, da dette vil gi viktig informasjon om hvilke tiltak som må til for å skape forbedringer i prosjekteringen. Hvis for eksempel en arbeidspakke ikke ble levert og fullført innen prosjekteringstakten fordi arbeidspakken ble beskrevet for generelt, vet man at temaeieren må definere neste arbeidspakke enda mer nøye og presis. Eksempelvis bør saken «sjekk lysberegning» brytes ned i undersøker, som for eksempel sjekk lysberegning for et spesifikt kontrollområde. På den måten vil man kunne beregne hvor mange lyskilder som er nødvendig for å oppnå ønsket lysstyrke for det aktuelle kontrollområdet. Dermed er lysberegning ferdig på dette kontrollområdet, og ved behov kan andre fag benytte seg av denne informasjonen. Dette gir en mer oversiktlig og forutsigbar prosjektering. Hvis arbeidspakken derimot hadde for stort arbeidsomfang, vet temaeieren at neste gang må han dele opp temaets

saker i enda mindre biter, slik at temagruppen rekker å utarbeide løsninger knyttet til arbeidspakken innen prosjekteringstakten. Eventuelt må temagruppen skaffe flere ressurser. Hvis en arbeidspakke ikke ble levert og fullført innen en prosjekteringstakt på grunn av manglende underlag/informasjon for å kunne løse alle arbeidsoppgavene i pakken, kan dette indikere at den prosessuelle vurderingen av hvilken informasjon som trengs til hvilken tid har vært feil. Med andre ord kan det indikere at rekkefølgen på arbeidspakken ikke var riktig, og at arbeidspakken ble plassert for tidlig i prosjekteringen. Det kan også tyde på at en temaeier har fokusert på ressurseffektivitet fremfor flyteffektivitet. Det vil si at i stedet for å fokusere på hvilken informasjon produktet (BIM-modellen) har behov for, har temaeieren fokusert på å løse sine egne problemstillinger raskest mulig. Dette er ikke ønskelig i en Lean prosjekteringsprosess, ettersom aktører som fokuserer på effektiv utnyttelse av ressurser vil skape merarbeid for seg selv, siden de bruker tid på ikke-verdiskapende arbeid (Modig & Åhlstöm 2012). Uansett årsak er det viktig at prosjektet iverksetter tiltak for å skape forbedring av flyt i prosjekteringen.

En fordel med en KPI som måler antall arbeidspakker som fullføres og leveres innen en prosjekteringstakt, er nettopp det at KPI'en blir målt hver prosjekteringstakt. Denne KPI'en er altså en prestasjonsdriver. Selv om det finnes lite forskning og bruk av prestasjonsdrivere i byggeprosjekter, er det flere forfattere som anbefaler å benytte slike målinger, slik at et prosjekt kan forbedre prosessene mens prosjektet fremdeles er under utvikling (Alarcón & Serpell 1996; Beatham et al. 2004; Tatsiana & Saad 2008). I KHiB-prosjektet var prosjekteringstakten på fjorten dager. Hvis et prosjekt benytter en hyppig prosjekteringstakt som KHiB-prosjektet, er muligheten for kontinuerlig forbedring av flyt i løpet av detaljprosjekteringen svært stor. Det vil også være rimelig å anta at denne KPI'en kan bidra til å etablere en kultur for kontinuerlig forbedring av hele prosjektet.

En bemerkelse av denne KPI'en er at man ikke får målt flyten av den faktiske utførelsen av arbeidet. En må også være oppmerksom på at enkelte aktører kan oppfatte målingen som kritikk, og føle at de blir overvåket og kontrollert på et høyt nivå. Det vil derfor være viktig å fremme at hensikten med målingen er å oppdage flaskehals, stimulere til pålitelighet, finne svikt i flyten og eliminere årsaken til svikt. Målingen skal med andre ord benyttes for å forbedre flyten underveis i prosjekteringen, ikke for å sette en karakter på de ulike aktørene. Det vil også være viktig å fremme at KPI-målingen ikke skal benyttes for å belønne eller straffe de ulike aktørene. Dette støttes av Schiemann og Lingle (1999), som mener at aktører som blir belønnet eller straffet som en konsekvens av måleresultatet, med tiden vil klare å lure systemet ved å lære seg hvordan de kan bruke systemets regler for å gi dem fordeler. Dette vil gi sekundære effekter, i tillegg til å bremse ned effektiviteten til den generelle prosessen. Langlo et. al (2015) mener også at KPI-målinger ikke skal benyttes for å belønne eller straffe de ulike aktørene, da dette kan medføre dysfunksjonell atferd.

Om det bør tilstrebes å oppnå en score på 100 prosent fullførte og leverte arbeidspakker i løpet av en prosjekteringstakt, er et område for diskusjon. En score på 100 prosent kan nemlig oppnås ved å planlegge for lite arbeid i en arbeidspakke. Hvis målet derimot er en score på 80-90 prosent, kan

svake ledd avsløres slik at de kan styrkes. Ettersom denne KPI'en er tilsvarende lik måleindikatoren PPU, samsvarer dette med Bertelsen (2005) som mener en PPU-score mellom 80 og 90 prosent er den ideelle veien til forbedringer i flyten.

En KPI som måler antall arbeidspakker som er helt fullført og levert innen en prosjekteringstakt, vil ikke si noe om verdiinnholdet til arbeidspakken. For å kunne måle verdiinnholdet til arbeidspakker, kreves det at verdi blir evaluert, slik at arbeidspakker kan sammenlignes og prioriteres. Evaluering av verdi gir imidlertid opphav til subjektive meninger, da verdi for en byggherre kan være ulik fra verdi for en rådgiver, for en entreprenør, for en bruker med flere. Subjektive meninger er dermed en kilde til variasjon og uoverensstemmelser, og bør av den grunn ikke være grunnlag for en KPI-måling. Dessuten fant ikke Tribelsky og Sacks (2011) en korrelasjon mellom subjektive synspunkt av et prosjekts suksess, og informasjonsflyt. Det faktum at den foreslåtte KPI'en ikke sier noe om verdiinnholdet til arbeidspakkene, blir dermed ikke ansett som en betydelig ulempe.

6.3 Reduksjon av antall iterasjoner

Prosjektet KHiB hadde noen utfordringer med aktører som tok beslutninger på feil grunnlag, som eksempelvis spesialisten som benyttet et utdatert grunnlag ved utarbeidelse av sitt eget prosjekteringsmateriale. Dette medførte at spesialisten måtte gjøre arbeidet en gang til, hvor han benyttet det rette grunnlaget. Ifølge Koskela (2000) anses omarbeid i prosjekteringen som sløsing, og ønskes eliminert for å forbedre flyten.

Problemet med spesialisten var at han kom inn i prosjektet fra sidelinjen, og var deltaker i prosjektet kun en kort periode. Spesialisten fikk dermed ikke noe opplæring i prosjektets måte å jobbe med Lean på, noe som resulterte i at spesialisten manglet et helhetsblikk på prosjektet, og fokuserte kun på sitt eget fag. Hadde han forstått konseptet med Lean-prosjektering, ville han ha spurt etter det riktige grunnlaget allerede før han hadde begynt å prosjektere. Dette ville spart både spesialisten og prosjektet for unødvendig bruk av tid på omarbeid.

Eksemplet om spesialisten viser hvor viktig det er at alle aktører i et Lean prosjekt arbeider med samme mentalitet, hvor helhetstenkning, transparens, visualisering, flyt og prosesser står i fokus. Selv om Lean har blitt benyttet i industrien i en årrekke, er arbeidsformen relativt ny i byggebransjen, spesielt i prosjekteringsfasen. Den tradisjonelle byggeprosjekttilnærmingen vil dermed naturligvis prege bransjen i stor grad. Dessuten er hele byggebransjens system, regler, prosedyrer, praksis og atferd basert på transformasjonstenkningen. Flyttenkningen bryter dermed med den tradisjonelle tenkningen. Derfor er det viktig at tankene formidles og forstås hos alle involverte i et Lean prosjekt (Bertelsen 2005). Det finnes også flere ulike definisjoner av Lean, noe som kan skape misforståelser blant ulike aktører. Derfor burde det være en forutsetning at alle aktører som bidrar i et Lean-prosjekt, må delta på et Lean-kurs, hvor det blant annet gis en innføring i hva Lean er, hvorfor det benyttes og hvilke grunnleggende Lean-elementer som skal brukes i det aktuelle prosjektet. Dette samsvarer med Shingo (1988), som mener at å forstå den japanske produksjonsfilosofien ikke kun er et spørsmål om know-how alene, men også know-why.

Effektive forbedringer er nemlig umulig uten know-why. Selv aktører som bare skal inn i prosjektet for en kort periode, og prosjektdeltakere som allerede har Lean erfaring, bør delta på kurset. Dette bidrar til at alle stiller med den samme grunnleggende forståelsen og kunnskapen om Lean, noe som gjør det lettere å oppnå samme mentalitet blant aktørene. For hovedaktører bør kurset innebære små prøveprosjekt eller simuleringer for å avdekke eventuelle misforståelser, slik at disse kan elimineres før det reelle arbeidet begynner. For aktører som kun skal inn i prosjektet for en kort periode, vil man måtte diskutere om dette er mer tids- og kostnadskrevenne enn det man får ut av tiltaket. Kurset bør foregå før prosjektdeltakerne får lov til å gjøre noe som helst i prosjektet, da dette vil bidra å sikre at hendelser som blant annet spesialisten som benyttet feil grunnlag, ikke oppstår.

Det er viktig å være oppmerksom på at en endring av måten å jobbe på krever vedlikehold. Et Lean-kurs i oppstartsfasen vil dermed ikke være nok. Likevel vil dette sørge for at alle går inn i prosjektet med samme forståelse for måten prosjektet ønsker å jobbe på. Dette vil bidra til å redusere sannsynligheten for at feil og sløsing oppstår.

Selv om kursing bidrar til å redusere sannsynligheten for at feil oppstår, er det viktig å eliminere årsakene til de feilene som faktisk oppstår i løpet av detaljprosjekteringen. Prosjektering er av natur iterativ og avgjørende for å skape verdi i prosjekteringsprosesser, men likevel er ikke alle iterasjoner ønskelig. I Lean design skilles det mellom positiv og negativ iterasjon. Mens positiv iterasjon er verdiskapende, er negativ iterasjon en viktig kilde til sløsing i prosjekteringen. Informasjonsundersøkelser estimerer at så mye som 50 prosent av prosjekteringstiden brukes på negative iterasjoner (Ballard 2000b). Beslutninger tatt på feil grunnlag vil kunne medføre store negative iterasjoner. Dessuten vil beslutninger som ble tatt på feil grunnlag skape et behov for omprosjektering og omarbeid. Dette gir opphav til sløsing, som ønskes eliminert for å forbedre flyten i prosjekteringen (Koskela 2000). Det er derfor ønskelig at aktører i et prosjekt skal være sikre på sine beslutninger, og på hvilket grunnlag beslutningene er tatt på. Det er ønskelig at alle utfører det riktige arbeidet første gangen, da det er vanskelig å opprettholde en god flyt hvis man til stadig vekk må tilbake for å endre materiale. For å kontinuerlig forbedre seg på dette, er det nødvendig å måle effekten av forbedringstiltak (Alarcón & Serpell 1996). En mulighet vil dermed være å benytte en KPI som måler hvor mange beslutninger som ble tatt på feil grunnlag i prosjekteringsfasen av et byggeprosjekt. Dette vil gi en måling av hvor mange ganger noe har gått feil i prosjekteringsprosessen. KPI'en vil dessuten bidra til å øke transparensen i prosjektet, da en praktisk tilnærming for å øke transparens i et prosjekt er å måle prosesser, slik at de usynlige attributtene til prosessene blir synliggjort (Koskela 1992).

Både Dawood et al. (2006) og Tribelsky og Sacks (2011) har utviklet en KPI som måler omarbeid knyttet til et byggeprosjekts BIM-modell, hvor omarbeid inkluderer både kundeendringer og generelle feil. En KPI som måler hvor mange beslutninger som ble tatt på feil grunnlag kan til en viss grad sammenlignes med forfatterens KPI. Imidlertid vil ikke en KPI som måler antall beslutninger som tas på feil grunnlag fastlåses kun til en BIM-modell. Den vil heller ikke ta hensyn til kundeendringer. Derimot vil KPI'en si noe om andelen omarbeid som gjennomføres i et prosjekt.

Det vil være essensielt å finne ut hvorfor en beslutning ble tatt på feil grunnlag. En problemløsningsteknikk som ofte benyttes i Lean er 5 hvorfor. Teknikken går ut på å spørre hvorfor gjentatte ganger, slik at man kommer forbi de åpenbare årsakene, og helt fram til den virkelige rot-årsaken. På den måten kan et prosjekt eliminere rot-årsaken, slik at ingen begår samme feil igjen (Serrat 2009). For eksempel da prosjekteringsgruppen i KHiB fant ut at en spesialist hadde benyttet et utdatert grunnlag, som han hadde funnet på prosjekthotellet, burde prosjektet umiddelbart oppdatert prosjekthotellet med det nyeste grunnlaget, slik at det ikke var mulig å benytte feil grunnlag. Samtidig burde de ha gitt klare beskjeder om hvilket grunnlag som var det rette å benytte til alle nye deltakere i prosjektet.

En ulempe med en KPI som måler hvor mange beslutninger som ble tatt på feil grunnlag, er at den kan medføre beslutningsvegning blant aktørene. Å samtidig måle når beslutninger blir tatt kan derfor være en mulig løsning.

6.4 BIM-Modell

Både Lean og BIM fokuserer på å visualisere byggeprosessen, forbedre informasjonshåndtering og forbedre samarbeid mellom ulike aktører. Et viktig verktøy for å implementere Lean-tankegangen i prosjekteringen til KHiB, var dermed å arbeide med en felles BIM-modell av det kommende bygget.

6.4.1 BIM-modell som flytobjekt

Forfatterne bak boken «dette er Lean – et effektivitetsparadoks» forklarer at organisasjoner som kun fokuserer på effektiv utnyttelse av ressurser vil skape merarbeid for seg selv, siden de bruker tid på ikke-verdiskapende arbeid (Modig & Åhlstöm 2012). Organisasjoner bør dermed fokusere på flyteffektivitet til fordel for ressurseffektivitet.

I byggebransjen er det få aktører som tenker flyteffektivitet over ressurseffektivitet. Siden byggherren har en viktig rolle i å påvirke byggeprosessen, bestemte Statsbygg at aktørene i KHiB-prosjektet skulle fokusere på flyteffektivitet fremfor ressurseffektivitet i prosjekteringsfasen. Det betydde at de prosjekterende til enhver tid ikke skulle gjøre mer enn nødvendig for det stadiet de var på, og de skulle heller ikke benytte flere ressurser enn nødvendig. Dette samsvarer med ett av hovedprinsippene i Lean, nemlig Just-In-Time (Hutchins 1999). Prosjektet definerte den felles BIM-modellen som flytobjektet i detaljprosjekteringen. Prosjekteringsgruppen skulle dermed jevnlig tilføre verdi til BIM-modellen. På den måten sørget prosjektet for effektiv bruk av prosjekteringstid med kontinuerlig verdiskapning i prosjekteringsfasen.

Oppnåelse av flyteffektivitet i prosjekteringen har imidlertid vært noe varierende. Til tider opplevde prosjektet at noen få ressurser ble flaskehalser. Dette kunne blant annet være enkeltindivider som ikke innfant seg med det systemet prosjektet hadde tilrettelagt for, individer som arbeidet med for store oppgaver, eller individer som ikke behersket sin arbeidsoppgave. I disse tilfellene valgte

prosjektet KHiB å prioritere ressurseffektivitet fremfor flyteffektivitet. Prosjektet gikk med andre ord bort fra sin strategi om å prioritere flyteffektivitet fremfor ressurseffektivitet. Dette kan være en følge av at et utelukkende fokus på flyt ville blitt for kostbart. Det må altså være en balanse mellom flyteffektivitet og ressurseffektivitet i et Lean prosjekt, og det er viktig å finne det optimale skjæringspunktet. Erfaringsvis vil en organisasjon kunne oppnå dette ved å fokusere på flyteffektivitet fremfor ressurseffektivitet (Modig & Åhlstöm 2012).

Den mest kritiske flaskehals fastsetter hastigheten til et flytsystem. For å øke flyt gjelder det derfor å øke gjennomstrømningen av denne flaskehalsen, enten ved å øke kapasiteten eller ved å avlaste oppgaver (Bertelsen 2005). En KPI som måler flaskehals i detaljprosjekteringen kan dermed være nyttig. Dette har allerede Tribelsky og Sacks (2011) utviklet, ved at forfatterne utarbeidet en algoritme som benytter normale verdier for pågående arbeid (work in progress) og utviklingshastighet (development velocity) for å avdekke det mest saktegående arbeidet i prosjektet. Samtidig må man være klar over at etter en flaskehals er identifisert og eliminert, vil en annen flaskehals dukke opp, og slik fortsetter det. Likevel bør et prosjekt fokusere på å eliminere så mange flaskehalsen en trenger for å oppnå den ønskede hastigheten til flytsystemet.

6.4.2 Fryns av produkter i BIM-modellen

Å etablere forutsigbarhet i forventningen til prosjekteringen, er en av suksessfaktorene i detaljprosjekteringen. Dette har imidlertid vært en utfordring for prosjektet KHiB, da det som ble kommunisert av enkelte aktører ikke møtte forventningene til prosjekteringsledelsen. Enkelte aktører har kommunisert til prosjekteringsledelsen at all tverrfaglig input var prosjektert ferdig innen frystidspunktet. Prosjekteringsledelsen forventet da at denne inputen var modellert inn i BIM-modellen, men dette var ikke tilfellet. Denne inputen ble dermed ikke tverrfaglig avsjekket, og det er først ute på byggeplassen man har oppdagat alle feilene dette har medført.

Det kan være flere årsaker til at denne inputen ikke ble modellert i BIM-modellen. For det første kan det ha vært dårlig kommunikasjon mellom partene. Likevel har KHiB-prosjektet vært veldig tydelige på at BIM-modellen var flytobjektet i detaljprosjekteringen, som jevnlig skulle bli tilført verdi gjennom arbeidspakkene. Aktørene bør dermed ha forstått at alt prosjekteringsmateriale skulle inn i BIM-modellen. En annen årsak kan være forglemmelser. Aktørene i prosjektet er alle mennesker, og kan glemme ting. En kort, men omfattende sjekkliste over hva som må inn i BIM-modellen for de enkelte fagene kan dermed være en mulig løsning for å hindre slike glemsomheter. En tredje årsak kan være mangel på tverrfaglig forståelse. Tverrfaglig forståelse er essensielt for å skape god flyt i en prosjekteringsprosess, spesielt i komplekse prosjekter hvor fagområdene er svært avhengig av hverandre. KHiB-prosjektet benyttet flere tiltak for å øke den tverrfaglige forståelsen. Blant annet hadde de et stort fokus på at prosjektet skulle være transparent. I følge Howell og Ballard (1998) betyr transparens at systemets tilstand er synliggjort for personer som tar beslutninger, slik at de vil ta beslutninger som støtter systemets mål. Å synliggjøre et prosjekts tilstand vil nemlig hjelpe de ulike aktørene å se hvordan deres rolle spiller inn i prosjektet som en

helhet, og hvordan deres prestasjon påvirker de andre aktørene. Dette vil igjen redusere silotenkning og følgelig øke den tverrfaglige forståelsen. Prosjektet KHiB synliggjorde prosjektets tilstand ved å benytte samlokalisering med visuell planlegging, og en felles BIM-modell som gradvis visualiserte det kommende bygget. Til tross for dette, opplevde prosjektet at det fremdeles var mangel på tverrfaglig forståelse blant aktørene. Enkelte aktører har trodd de har jobbet enfaglig i BIM-modellen etter frystidspunktet for stopp av tverrfaglig input, men dette har imidlertid ikke vært tilfellet. Flyten til prosjekteringen i KHiB ble dermed begrenset på grunn av mangel på tverrfaglig forståelse blant aktørene

Erfaringer fra prosjektet KHiB viser at det er behov for å etablere en forutsigbarhet i forventningen til prosjekteringen av et byggeprosjekt, og øke den tverrfaglige forståelsen blant aktørene. En mulighet for å oppnå dette, er å knytte en KPI opp mot frys av produkter i et prosjekts BIM-modell underveis i prosjekteringen. Det er da viktig å være presis på hvilket produkt som skal inn til hvilken tid. Etter frys av et produkt, skal man være ferdig med informasjonsleveringen til BIM-modellen. Det som da kan måles er hvor mange ganger frysprodukter revideres. Denne KPI'en støttes av Langlo et al. (2015), som også mener det vil være nyttig å måle antall tegningsrevisjoner i en prosjekteringsprosess. Forfatterne hevder nemlig at en slik KPI vil skape bevissthet, og gi grunnlag for forbedring. Dette kan imidlertid være en vanskelig KPI å måle, men en mulighet vil være å låse BIM-modellen for revidering etter et produkt er fryst. Det vil si at aktøren som har et fryst produkt må be om tillatelse til å låse opp modellen for å endre eller legge til ekstra informasjon. Denne KPI'en vil da både gi bedre kontroll over fremdriften til BIM-modellen, og bidra til å øke transparensen i prosjektet. Dette er i overensstemmelse med Koskela (1992), som mener en praktisk tilnærming for å øke transparensen i et prosjekt er å måle prosessene.

Antall revideringer etter frys vil kunne si noe om hvor godt temaerierne forstår prosessuelt hvilke produkter man må levere, på hvilket tidspunkt. Med andre ord vil den si noe om den strategiske vurderingen som blir gjort. Å forstå prosessuelt hvilke produkter man må levere, på hvilket tidspunkt, er essensielt i Lean. Største muligheten for å oppnå flyt er nemlig å gjøre de riktige tingene i riktig rekkefølge til riktig tid. Dette fordi flyt ser på produksjon som en sammenhengende prosess som jevnlig tilføres nye aktiviteter (Koskela 2000). Det er vanskelig å oppnå flyt i prosjekteringen, hvis man stadig vekk må gå noen skritt tilbake for å endre prosjektert materiale, og da spesielt i komplekse prosjekter hvor avhengigheten mellom fagene er svært stor.

Målingen vil også kunne si noe om modenheten til de enkelte temagruppene, og hvor flinke de er til å forstå hva som må til på hvilket tidspunkt for å få til en best mulig flyt av verdi til BIM-modellen. KPI'en vil dermed gi de ulike aktørene innsikt i egne aktiviteter og prestasjoner (Langlo et al. 2015), som igjen vil medføre en økt bevissthet for mulighetene rundt forbedring av eget arbeid i prosjektet. Dette vil forhåpentligvis bidra til en økt forståelse og et økt fokus på flyteffektivitet fremfor ressurseffektivitet blant aktørene, da reduksjon av sløsing og økt flyt i prosessene er de primære faktorene aktørene har for å maksimere sin verdi (Kristensen 2016). Dette vil igjen bidra til å bedre prosjektene, samtidig som det vil bedre de ulike aktørenes mulighet til å øke sin fortjeneste, i tillegg til sin konkurranseevne (Johansen & Hoel 2016).

Å måle antall revideringer etter frys vil bidra til økt tverrfaglig forståelse blant aktørene. Hvis et fag reviderer sitt produkt, må sannsynligvis flere fag revidere sine produkter, på grunn av alle avhengighetene mellom fagene. Dette vil gjøre aktørene mer obs på hvilke konsekvenser feilprosjektering eller endringer av eget prosjekteringsmateriale medfører. Dette vil igjen føre til at aktørene forstår viktigheten av å levere riktig informasjon til riktig tid i BIM-modellen.

Siden en KPI som måler antall revideringer etter frys er en prestasjonsdriver, kontrolleres prosessene mens prosjektet fremdeles er under utvikling (Beatham et al. 2004). Dette gjør det mulig å kontinuerlig forbedre prosessene underveis i det aktuelle prosjektet (Tatsiana & Saad 2008). Med andre ord kan et prosjekt, som måler hvor mange ganger frysprodukter revideres for deretter å identifisere årsakene til revideringene, ta lærdom og kontinuerlig forbedre prosessene der og da for å øke flyten i prosjekteringen. Tatsiana og Saad (2008) Beatham et al. (2004) Alarcón og Serpell (1996) er noen av flere forfattere som anbefaler at prosjekter tar i bruk slike type målinger.

Det kan imidlertid være gode grunner for at man fortsetter å jobbe i BIM-modellen etter frys av enkelte produkter, siden BIM-modellen kontinuerlig utarbeides etter hvert som prosjektet skrider frem. Man må derfor definere hva som er revidering. Å mate modellen med produktspesifikk informasjon etter kontrahering av entreprenører og leverandører vil være naturlig i tilfeller der det ikke er lov å være produktspesifikk ved utarbeidelse av anbud. Dette bør dermed ikke være en revisjon etter frys. Derimot å revidere beslutninger som er uavhengig av produktspesifikk informasjon, som eksempelvis å flytte rør, vegger og lignende etter frys, vil helt klart være en revisjon.

Det er viktig å definere og bruke KPI'en korrekt, slik at man unngår at KPI'en gir en motsatt effekt av hva man ønsker. Måler man hvor mange ganger frysprodukter revideres, vil en motsatt effekt av KPI'en være at man flytter frys så sent som mulig. Venter man imidlertid for lenge med å sette frys, åpner man muligheten for å kunne gjøre flere ting om igjen, og skape flere iterasjoner. Derfor kan det være lurt å måle når man setter frys på et produkt, da dette vil kunne ha en sammenheng med antall iterasjoner produktet går gjennom.

6.4.3 BIM som informasjonsplattform

Det at prosjektet KHiB hadde en felles BIM-modell bidro til at all informasjon ble lagret på et felles sted. BIM-modellen ble derfor prosjektets informasjonsplattform (Nelfo 2017). Å ha en felles informasjonsplattform, i stedet for at informasjon går på kryss og tvers mellom alle aktørene, forbedrer informasjonsflyten i en prosjekteringsprosess (Nitithamyong & Skibniewski 2006). Dette er viktig, da prosjekter med jevn informasjonsflyt vil opptre mer stabilt enn de prosjekter med forstyrret eller ineffektiv informasjonsflyt (Tribelsky & Sacks 2011).

For å få til en best mulig informasjonsflyt var prosjektet KHiB imidlertid avhengig av at BIM-modellen ble tilført riktig informasjon til riktig tid. Dette samsvarer med Lean-prinsippet Just-In-

Time (Hutchins 1999). Imidlertid viste dette å være utfordrende for enkelte fag i prosjektet, som blant annet ventilasjon og elektro. Disse fagene var svært leverandøravhengige, og hadde dermed ikke mulighet til å prosjektere like mye som andre fagområder før kontrahering av entreprenører og leverandører. Ventilasjon og elektro måtte derfor nødvendigvis prosjektere videre etter frystidspunktet for stopp av tverrfaglig input, som vil si etter kontrahering av entreprenører og leverandører. I et komplekst prosjekt som KHiB hvor avhengigheten mellom de ulike fagene er stor, medførte dette problemer for fag som allerede hadde prosjektert sine løsninger. Dette viser viktigheten av samhandling og tidlig involvering av de utførende, siden informasjon fra entreprenører og leverandører vil påvirke prosjekteringsmateriale.

KHiB-prosjektet sin entrepriseform var delte entrepriser. Dermed så kontrollerte Statsbygg både prosjekteringsprosessen og produksjonsentreprisen. Dette ga Statsbygg stor innflytelse og kontroll, noe som var en fordel i forhold til å implementere Lean i prosjektet (Kristensen 2016). Det er imidlertid mulig å implementere Lean i alle entreprisemodeller, men hva og hvem som får noe ut av det, er avhengig av hvilken modell som blir valgt. Når det vurderes hvilken entreprisemodell som passer best til prosjektet, må derfor mulige positive effekter av Lean vurderes mot potensielle ulemper (Kristensen 2016). Problemet med tradisjonelle entrepriseformer er imidlertid at byggherren kjøper inn kompetanse gradvis mens prosjektet skrider fram. Dette kan ofte resultere i en kronglete oppstart av byggeprosessen, hvor det blir avklart hva som skal bygges etter det har blitt avklart hvem som skal bygge. Dessuten blir hvordan man skal bygge avklart lenge etter oppstart (Mossman et al. 2010). Dette fordi samhandlingsfasen med entreprenørene foregår etter en omfattende prosjektering, og som nevnt ovenfor vil informasjon fra entreprenører og leverandører vil påvirke, og i flere tilfeller medføre endringer av prosjektert materiale. Å gjøre de riktige tingene første gangen, blir dermed vanskelig og kan begrense flyten i prosjekteringen. De tradisjonelle entrepriseformene er av den grunn ikke optimale for et Lean-prosjekt.

En ideell entrepriseform for et Lean-prosjekt, beskrives i litteraturen som Integrated Project Delivery, også kalt IPD (Ashcraft Jr 2014). IPD er en entreprisemodell hvor den gjennomgående tanken er å skape et best mulig prosjekt, på den mest effektive måten, ved å maksimere tverrfaglig samarbeid. Byggherre, rådgivere, entreprenører og eventuelle andre nøkkelparter, signerer derfor en felles kontrakt som definerer felles ansvar. I fellesskap etablerer de mål, og binder deres individuelle fortjeneste til prosjektets ytelse. Entrepriseformen er en respons på behovet for omfattende samarbeid i stadig mer komplekse prosjekter, og tar derfor utgangspunkt i tidlig kontrahering og samlokalisering av alle prosjektets aktører allerede fra prosjektets oppstart (AIA California Council 2007). Entreprenørene er dermed med å prosjektere bygget, slik at man kan prosjektere de riktige løsninger første gang. Med andre ord så vil IPD bidra til at man tidlig avklarer hva som skal bygges, for deretter å avklare hvordan og hvem som skal bygge bygget allerede før byggestart. Dette fører til en bedre flyt i prosjekteringsprosessen og en mer rasjonell oppstart av byggeprosessen, noe som er en forutsetning for en god produksjon i et byggeprosjekt (Mossman et al. 2010). Å benytte IPD som entrepriseform, eller å endre den tradisjonelle kontraheringstakten til en mer hyppig kontraheringstakt som IPD foreslår, vil derfor ha en stor effekt på et prosjekt. I

hvilken grad et Lean-prosjekt bør la seg inspirere av IPD som entrepriseform eller IPD sin foreslåtte kontraheringstakt, er derfor noe en byggherre burde vurdere (Kristensen 2016).

6.4.4 Tverrfaglig kvalitetssikring gjennom kollisjonskontroll

En nyttig egenskap i BIM er muligheten til å utføre kollisjonskontroll, som benyttes for å kontrollere kollisjoner mellom objekter og sikre at tegninger stemmer overens. Prosjektet KHiB utførte kollisjonskontroll hver fjortende dag, for å avdekke kollisjoner mellom fagområdene, og videre plassere ansvar for oppretting av kollisjonene. Kollisjonskontroll ble derfor KHiB-prosjektets sentrale verktøy for å eliminere feil i modellen. Ved å rydde unna disse kollisjonene i prosjekteringen, la prosjektet til rette for at byggingen skulle foregå mest mulig smidig og rasjonelt.

Det er mulig å knytte en KPI opp mot antall kollisjoner som oppstår i et prosjekts BIM-modell, og antall kollisjoner som bli redusert ettersom tiden går. Dette er også ett av KPI-forslagene til Langlo et al. (2015). Hvorvidt dette vil være en nyttig KPI er imidlertid en annen sak. Selv om få kollisjoner i et prosjekt er ønskelig, vil ikke dette nødvendigvis en suksessfaktor for flyt i et prosjekt. Antall kollisjoner er nemlig avhengig av hva som er modellert i BIM. For eksempel så kan ikke en bjelke kollidere med en ventilasjonskanal, hvis ikke ventilasjonskanalen er modellert inn i BIM-modellen. Med andre ord vil ikke få eller ingen kollisjoner nødvendigvis fortelle at de prosjekterende er ferdig med prosjekteringen. Det kan likegodt fortelle at de prosjekterende ikke har prosjektert noe i det hele tatt. Hvis aktører ikke har modellert tverrfaglig informasjon inn i BIM-modellen før tverrfaglig avsjekk, slik som prosjektet KHiB opplevde enkelte ganger, vil det kunne oppstå feil på byggeplassen. Dette kan medføre et behov for omprosjektering og oppretting, som igjen begrenser flyten i både prosjekterings- og byggefasen (Koskela 2000). Få kollisjoner gir dermed ikke en garanti for en god flyt i prosjekteringen.

Antall kollisjoner som oppstår i en BIM-modell er også helt avhengig av nøyaktighetsgraden som defineres. Eksempelvis vil et prosjekt få mange flere kollisjoner i BIM-modellen dersom de har definert en nøyaktighetsgrad som måler antall kollisjoner med en avstand på 1 centimeter, enn om de har definert en nøyaktighetsgrad på 10 centimeter. Er ikke nøyaktighetsgraden høy nok, er det mulig at det oppstår kollisjoner på byggeplass som ikke har blitt oppdaget i prosjekteringen, og vil dermed begrense flyt både i prosjekteringsfasen og i byggefasen, da dette må omprosjekteres og rettes opp.

Det er en stor jobb å klargjøre modellen for kollisjonskontroll. Først må alle fagene kjøre en enfaglig kollisjonskontroll for å finne sine interne kollisjoner. Da vil man oppdage at mye av det som vises som kollisjoner i BIM-modellen, egentlig ikke er kollisjoner, da det kan være objekter som fremdeles ikke er ferdig prosjektert. Det kan også være at BIM-modellen avdekker kollisjoner som enkelt kunne blitt håndtert på byggeplassen. I stedet må disse kollisjonene friskmeldes manuelt i modellen. Deretter kjører man en kollisjonskontroll i den tverrfaglige BIM-modellen, hvor man også her må friskmelde alle kollisjoner som egentlig ikke er kollisjoner. Det er først etter alle disse friskmeldingsrundene man sitter igjen med de virkelige kollisjonene. Det kan derfor bli

tidskrevende med en KPI knyttet opp mot kollisjonskontroll underveis i prosjekteringen. I tillegg vil man sitte igjen med usikkerheten om alt faktisk er tegnet inn i BIM-modellen.

6.5 Samlokalisering og visuell planlegging

Samlokalisering og visuell planlegging var en sentral del av prosjekteringen i KHiB-prosjektet, og en av suksessfaktorene for å oppnå god flyt. Samlokalisering er et viktig Lean-element, da dette øker effektivitet og produktivitet i et prosjekt, ved å sørge for at all relevant kompetanse og alle beslutningstakere er samlet og jobber fysisk på samme sted. Samlokalisering er altså et verktøy for å forenkle samhandling mellom de ulike aktørene. Metoden benyttes for å spare tid og sikre bedre beslutninger, for å øke verdiskapningen i et prosjekt (Kristensen 2016).

Samlokaliseringen i prosjektet KHiB foregikk i et Big Room. Dette er et lokale som egner seg for møter og gruppearbeid tilpasset viktige Lean-elementer som synlighet, samhandling, åpenhet og informasjonsutveksling (Kristensen 2016). Den økte graden av synlighet mellom aktører og den direkte tilgangen til planer, skal bidra til bedre kommunikasjon mellom aktørene, kortere beslutningsveier, og et mer transparent prosjekt. Det vil også bidra til at alle fagområdene holder en likartet og jevn hastighet i prosjekteringen. Dette vil igjen føre til færre misforståelser, bedre flyt og bedre kvalitet i prosjektet.

Prosjektet KHiB benyttet seg av pull prinsippet. Det betydde at de tverrfaglige temagruppene måtte selv sørge for å hente inn all nødvendig informasjon fra de andre prosjekterende, for å løse problemstillingene knyttet til sine respektive arbeidspakker. Informasjonen ble dermed trukket gjennom systemet basert på tilstanden i byggeprosjektet, i motsetning til det tradisjonelle push prinsippet hvor informasjonen dyttes gjennom systemet uavhengig av tilstanden til prosjektet (Ballard 2000a). Dette bidrar til å redusere sløsing, som blant annet overproduksjon og venting, noe som vil øke flyten i prosjekteringen (Koskela 2000). Som et bidrag til pull-systemet, benyttet KHiB-prosjektet en dialogmatrise under samlokaliseringen. En dialogmatrise er et hjelpemiddel for å fange opp spørsmål som dukker opp utenom de øvrige planverktøy mellom rådgiverne. Spørsmålene kan enten bli løst der og da, tas med i førstkommende arbeidsmøte, bli en aksjon i aksjonslisten, eller så kan spørsmålene bli satt på vent til det er mulig å besvare dem (Kristensen 2016).

På det mest intense dukket det opp svært mange spørsmål i dialogmatrisen til KHiB-prosjektet. Hvis man ser på antall spørsmål i en dialogmatrise som tegn på et behov, vil en mulighet være å benytte en KPI som måler antall uløste spørsmål i dialogmatrisen de ulike fagene har gjennom hele prosjektet. Eksempelvis vil arkitektens graf illustrere hvor mange spørsmål arkitekten trenger svar på fra andre fag, men som ikke har blitt løst. Ved å visualisere hvor mange uløste spørsmål et fagområde har gjennom hele prosjekteringsfasen, vil prosjekteringsdeltakerne bli mer oppmerksom på den tverrfaglige avhengigheten mellom alle fagene. Dette vil igjen bidra til å øke den tverrfaglige forståelsen. I tillegg kan visualisering av antall uløste spørsmål for de ulike fagene bidra til å synliggjøre flaskehalser. Den aktøren som har flest uløste spørsmål vil potensielt være

den mest kritiske flaskehals, da denne aktøren sannsynligvis har størst behov for både informasjon og avklaringer for å komme seg videre i prosjekteringen. Den mest kritiske flaskehals fastsetter hastigheten til et flytsystem (Bertelsen 2005). Derfor gjelder det å øke gjennomstrømningen av denne flaskehalsen, ved å løse spørsmålene raskest mulig. Ved å visualisere antall uløste spørsmål vil det altså bli enklere å både se og kontrollere flyten i de forskjellige delene av prosessene (Modig & Åhlstöm 2012). Siden denne KPI'en er en prestasjonsdriver, vil den gi store muligheter for kontinuerlig forbedring i et prosjekt (Alarcón & Serpell 1996). Ettersom dialogmatrisen kun fanger opp spørsmål som dukker opp utenom de øvrige planverktøy mellom rådgiverne, vil imidlertid ikke KPI'en gi et reelt bilde av antall spørsmål som har blitt stilt i løpet av prosjektet. En annen ulempe med denne KPI'en, er at det kan være vanskelig å definere en generell akseptgrense for hvor mange spørsmål som kan være uløst i løpet av de ulike periodene av detaljprosjekteringen til byggeprosjekter.

Det vil også være mulig å benytte en KPI som måler antall spørsmål som dukker opp i dialogmatrisen, og hvor hurtig disse spørsmålene blir løst. Dette vil kunne gi en indikasjon på intensiteten og leveransedyktigheten i prosjektet. Hvis man er litt systematisk, og holder antall spørsmål som stilles og løses opp mot hvert enkelt tema, vil det være mulig å lage en intensitetskurve til de ulike temaene. I etterkant vil man kunne ta lærdom, da intensitetskurven til et tema vil gi en indikasjon på om dette var riktig tema til riktig tid. Hvis et tema dukker opp igjen, for eksempel 2 måneder senere, med samme intensitet vil dette sannsynligvis indikere at temaet ble plassert for tidlig i prosjekteringen. På den måten vil man kunne lære noe om flyten i prosjekteringen. Dette vil dog være en resultatparameter, og det vil derfor være vanskelig å forbedre eller påvirke prosjekteringen i det aktuelle byggeprosjektet. Likevel er resultatparametre verdifulle, både for å forstå hvilke prestasjoner som et prosjekt oppnår og for å gjøre analyser og benchmarking mulig (Langlo et al. 2015). Dette muliggjør forbedring til neste prosjekt, da en av hovedhensiktene til benchmarking nettopp er forbedring.

6.6 Systematisk ferdigstillelse

Om ferdigstillelsen av et bygg er vellykket, blir verifisert teknisk gjennom testing og igangsetting av byggets funksjoner. Tradisjonelt begynner denne testfasen i slutten av byggefasen. Dette betyr at prosjekterte løsninger som ikke fungerer slik de i utgangspunktet var tiltenkt, ofte ikke oppdages før bygget er ferdig bygget (Johansen & Hoel 2016). Som et forsøk på ferdigstillelse av et bygg med færre feil, har prosjektet KHiB benyttet systematisk ferdigstillelse. Hensikten med systematisk ferdigstillelse er å skape kontinuerlig forbedring ved å fokusere på det endelige resultatet, innføre egnede arbeidsprosesser for å støtte opp om funksjoner og geometriske løsninger, samt utføre arbeidet riktig første gang (Johansen & Hoel 2016). Dette samsvarer med ett av hovedprinsippene i Lean, nemlig kontinuerlig forbedring (Koskela 1992) Dette er også i overensstemmelse med Bertelsen (2005), som mener at det er viktig å strebe etter å utarbeide det riktige materialet første gang når det benyttes Lean i prosjekteringsfasen. Derfor må «ting gjøres rett», deretter må «de

riktige tingene gjøres», og ikke minst må «de riktige tingene gjøres til rett tid». Dette viser at systematisk ferdigstillelse kan utføres i overenstemmelse med Lean-prinsipper.

Funksjonsbeskrivelser, som danner grunnlaget for prosjektering, utførelse, testing og verifisering, er noen av de viktigste dokumentene som blir utarbeidet i systematisk ferdigstillelse (Johansen & Hoel 2016). I en funksjonsbeskrivelse stiller byggherren krav til produktenes funksjon, uten nødvendigvis å beskrive hvordan leverandørene skal oppnå disse funksjonene (Lædre 2012). Funksjonsbeskrivelsene bør være utarbeidet før man begynner å modellere i BIM. Ved at man har gjort seg en tanke om hvordan et system skal fungere før man begynner å modellere i BIM, vil man nemlig kunne unngå at andre fagområder baserer sine løsninger på et underlag hvor man kun har tenkt geometri og ikke funksjon. Hvis funksjonsbeskrivelsene må utarbeides før man begynner å modellere i BIM, vil de prosjekterende tvinges til å fokusere på at bygningens geometri ses i sammenheng med hvordan de tekniske systemene skal fungere, og hvilke områder de skal ta for seg (Johansen & Hoel 2016). Dette vil bidra til at de prosjekterende utfører det riktige arbeidet første gang, noe som øker flyten i prosjekteringen (Bertelsen 2005). Det kan derfor være nyttig med en KPI som måler hvor mange godkjente funksjonsbeskrivelser som er utarbeidet før man har modellert i BIM-modellen. Dette krever at man på forhånd har definert hvilken kvalitet og hvor detaljert den aktuelle funksjonsbeskrivelsen skal være ved levering.

En hypotese, som per dags dato ikke er bekreftet, er at funksjonsbeskrivelser som utarbeides til riktig tid, vil medføre færre feil under testing (Johansen 2017). Færre feil under testing medfører mindre omarbeid for de prosjekterende, noe som igjen bidrar til å øke flyten i prosjekteringen (Koskela 2000). Det vil derfor være interessant med en KPI som måler hvor mange korrekte funksjonsbeskrivelser som avdekkes under tabletestingen. Å måle dette vil også kunne være en motivasjonsfaktor for aktørene å utarbeide det riktige arbeidet første gangen, slik at de ikke får et dårlig måleresultat. Det vil være essensielt å finne ut om de korrekte funksjonsbeskrivelsene var utarbeidet på riktig tidspunkt, det vil si før løsningen har blitt modellert i BIM-modellen.

Prosjektering er den teoretiske verden, så det er først etter entreprenørene og deres leverandører er kontrahert funksjonsbeskrivelsene får sitt svar. En KPI som måler antall korrekte funksjonsbeskrivelser som avdekkes under tabletestingen vil dermed gi en indikasjon på hvor godt de prosjekterende traff i prosjekteringen. Det vil være nødvendig å avklare om eventuelle feil i funksjonsbeskrivelsene som avdekkes under tabletestingen skyldes dårlig eller feil prosjektert løsning for å oppnå ønsket funksjonalitet, eller om leverandøren ikke evner å levere det som er prosjektert.

Å definere målbare milepæler i et prosjekt er som regel en utfordring, og det er ikke uvanlig at det etableres milepæler av typen «gjennomført test» (Johansen & Hoel 2016). Denne typen milepæl er målbar i form av at den kan måle hvor mange tester som er gjennomført. Likevel sier ikke målingen noe om testen er akseptert eller ikke. Ved å etablere testplaner med tilhørende testprosedyrer, vil prosjekteringsgruppen kunne utarbeide akseptanskriterier for testene. Akseptanskriterier vil da definere de kriteriene som skal til for å anse den aktuelle testen som godkjent. Disse akseptanskriteriene vil da danne grunnlaget for milepæler som «gjennomført og akseptert test» (Johansen & Hoel 2016). Det betyr at en milepæl ikke oppnås hvis den aktuelle testen har mindre mangler.

Hvis akseptansekriteriene er en del av kontraktdokumentene, vil dette redusere sannsynligheten for uenigheter om testresultatene er rettmessig eller urettmessig underkjent (Johansen & Hoel 2016). Dette er svært positivt, da det ønskes færrest mulig uenigheter i løpet av et prosjekt. Uenigheter kan nemlig bidra til sløsing i prosjektet i form av venting (Koskela 2000), siden uenigheter skaper behov for avklaringer. Dette vil hindre effektiv bruk av tid. Av den grunn bør testprosedyrer utarbeides før utsending av kontrakt til entreprenørene. En mulighet vil da være å måle antall systemer av det totale antallet, som har utviklet testprosedyrer før utsending av kontrakt til entreprenørene. En antagelse, som ikke er underbygget med erfaringstall, er at testprosedyrer som utarbeides før kontraktutsending vil medføre færre feil under testing (Johansen 2017). Denne KPI'en kan dermed med fordel også knyttes mot en KPI i bygge- og driftsfasen som måler antall korrekte systemer, for å kunne underbygge antagelsen. Hvis antagelsen er korrekt, vil færre feil under testing medføre økt flyt både i prosjekteringen og på byggeplassen, siden færre feil reduserer behovet for omprosjektering og oppretting av feil.

En god KPI burde være generisk. Det er derfor viktig at disse KPI'ene defineres slik at man kan sammenligne resultatet med andre prosjekter, uavhengig av størrelse, antall systemer og kompleksitet på prosjektet. Det er ekstremt viktig at KPI'ene defineres korrekt, slik at man unngår effekten av at mindre kontroll gir bedre resultat.

Selv om disse tre foreslåtte KPI'ene for systematisk ferdigstilling er resultatparametre, og av den grunn vanskeliggjør kontinuerlig forbedring i det aktuelle prosjektet, vil de allikevel være verdifulle (Langlo et al. 2015). KPI'ene muliggjør nemlig benchmarking, og med benchmarking kan hypotesen og antagelsen, som beskrevet ovenfor, antageligvis underbygges med erfaringstall. Dette kan bidra til læring og erfaringsoverføring, som ofte er en utfordring i en desentralisert bransje som byggebransjen. Aktørens primære driver er å skape verdi, og denne verdiskapningen er som regel koblet opp mot egne interesser. Aktørene har lite insentiv til å endre sine prosesser, med mindre konkurrentenes verdiskapning er større enn deres. Det er først da aktørene er villige til å endre prosessene (Kristensen 2016). Benchmarking av de foreslåtte KPI'ene kan imidlertid bidra til at aktørene innser store forbedringsmuligheter ved å benytte systematisk ferdigstilling i sine prosjekter, og følgende endre de tradisjonelle prosessene hvor testing foregår etter byggefasen.

I følge Johansen og Hoel (2016) bør ledelsen i et byggeprosjekt som benytter systematisk ferdigstilling ta i bruk KPI'er for å sikre kontinuerlig forbedring. Imidlertid har forfatterne kun nevnt forslag til KPI'er for utførelsesfasen og driftsfasen av et byggeprosjekt, i deres veileder for systematisk ferdigstilling. Disse tre foreslåtte KPI'ene kan derimot benyttes i prosjekteringen, og vil derfor være et ekstra tilskudd til forfatterens forslag over KPI'er for systematisk ferdigstilling.

6.7 Frontloading

En unødvendig stor del av kostnadene til et prosjekt brukes vanligvis på retting av feil i prosjektering, utførelse og produkter. Dette resulterer i en merkostnad for kunden, da kundene betaler for produkter som ikke oppfyller de ønskede kravene (Johansen & Hoel 2016). Av den

grunn benyttet KHiB-prosjektet frontloading i detaljprosjekteringen. Frontloading betyr å legge flere ressurser i starten av et prosjekt, hvor det er fokus på å skaffe kunnskap om de problemstillinger som truer prosjektets suksess. Formålet er å unngå mange usikre beslutninger som gir kvalitetsproblemer og tilbakeløp i gjennomføringsfasen av et prosjekt (Stokbro 2010). Det betyr at et prosjekt bruker lang tid på riktig og god prosjektering, for at byggingen skal gå uhindret, og derav bruke mindre tid på selve byggingen av bygget. Hvorvidt et prosjekt oppnår dette avdekkes imidlertid først i byggefasen. Det kan derfor være nyttig med KPI'er som kan fange opp resultatet av prosjekteringen. Dette vil være såkalte resultatparametre, og kan dermed ikke benyttes for å forbedre eller påvirke prosessen underveis (Tatsiana & Saad 2008). Derimot kan et prosjekt ta lærdom av hva som må gjøres bedre i neste prosjekt for å øke flyten, både i prosjektering og på byggeplass.

6.7.1 Riktig prosjektering

Byggefasen er svært avhengig av riktig og feilfritt prosjekteringsmateriale til riktig tid, for å oppnå en god flyt. Imidlertid oppstår det som regel alltid endringsmeldinger i et byggeprosjekt, men antallet varierer. Erfaring fra KHiB-prosjektet viser at endringer av poster som regel er et utfall av tre muligheter: leveranseavvik, feilprosjektering eller misforståelser.

Feilprosjektering og misforståelser skaper et behov for en ny beskrivelse av posten, og bidrar til omarbeid i prosjekteringen av et byggeprosjekt. I Lean blir omarbeid sett på som sløsing. En av forutsetningene for kontinuerlig forbedring, og skape en god flyt i prosesser er å redusere sløsing (Koskela 2000). Det er derfor ønskelig med færrest mulig endringsmeldinger i et prosjekt, for å opprettholde en best mulig flyt. En mulighet vil derfor være å benytte en KPI som måler antall endringer av poster i et prosjekt. Dette er i overensstemmelse med Egan (1998) som mener man bør måle antall feil ved overlevering av prosjekteringsmateriale til de utførende, for å kontinuerlig forbedre seg på dette området. Forfatteren mener nemlig at målet om null feil i et byggeprosjekt er mulig, hvis den tradisjonelle byggetilnærmingen endres.

Etter et prosjekt har målt antall endringer av poster, må de kategoriseres etter feilprosjektering, leveranseavvik og misforståelser. Antall poster som endres på grunn av feilprosjekteringer og misforståelser vil gi en indikasjon på hvor riktig beskrivelsene har vært totalt sett i forhold til sluttresultatet. Er beskrivelsene riktig, vil dette være et tegn på god tverrfaglig prosjektering. KPI'en vil dermed gi en pekepinn på hvor suksessfull prosjekteringen til et prosjekt har vært.

Det vil være veldig interessant å se om prosjekter som har benyttet Lean og frontloading i prosjekteringsfasen vil ha færre endringsmeldinger knyttet til feilprosjektering og misforståelser enn prosjekter med tradisjonell prosjektering. Denne KPI'en kan dermed være en måte å måle hvor suksessfullt det er å benytte Lean i prosjekteringsfasen. Imidlertid må en ha i baktankene at fremgangsmåten og tankegangen i en Lean prosjekteringsprosess er helt annerledes enn det normale. Det tar tid til å venne seg til en ny og annerledes måte å tenke og arbeide på, og derav må en ta høyde for at resultatene ikke nødvendigvis vil være av betydelig størrelse i første omgang.

En KPI som måler antall endringer av poster på grunn av feilprosjektering og misforståelser vil være relativ enkel å måle. Hver gang en post må endres, blir dette lagt inn i en endringsliste. I endringslisten står det alltid om postene har utgått, endret seg, eller om mengden har endret seg. Å måle KPI'en krever dermed ikke noe særlig ekstra arbeid, da et prosjekt vil ha alt datagrunnlag som trengs i deres endringsliste.

6.7.2 Riktig leveranse til riktig tid

Et av hovedprinsippene i Lean er Just-In-Time. En viktig suksessfaktor i Lean er dermed riktig leveranse til riktig tid. Av den grunn er en av forutsetningene for god flyt i byggefasen at informasjon, tegninger og lignende skal foreligge før en aktivitet skal utføres (Koskela 2000). Bare én forsinket eller feil leveranse av et prosjekteringsmateriale vil begrense flyten i byggeprosessen. Dette er noe KHiB-prosjektet har erfart med eksempelvis stikkontakter. Stikkontaktene ble ikke tverrfaglig avsjekket og medførte feil på byggeplass. Dette medførte et behov for omprosjektering, og følgende ble prosjekteringsmaterialet levert for sent. Dette begrenset flyten i både prosjekteringsfasen og byggefasen.

Det er ønskelig at 100 prosent av prosjekteringsmaterialet i et byggeprosjekt skal leveres til de utførende til riktig tid. Det kan derfor med fordel knyttes en KPI opp mot denne suksessfaktoren. Dette er en KPI som består av harde målinger, hvor man enkelt teller levert prosjekteringsmateriale opp mot planer og frister. KPI'en må betraktes som en resultatparameter, og kan derfor ikke benyttes til å måle prosessene underveis i prosjekteringsfasen (Langlo et al. 2015). KPI'en kan imidlertid fortsatt betraktes som relevant og verdifull, da den vil gi en indikasjon på hvor god flyteffektiviteten har vært i prosjekteringsprosessen. Hensikten med Lean og dets flytfokus er å eliminere kø og ventetid mellom prosessene, da dette vil redusere gjennomføringstiden og øke kvaliteten i et byggeprosjekt (Koskela 2000). Imidlertid vil en prosjekteringsprosess som har en lav evne til å møte tidsfristene for leveranse av prosjekteringsmateriale indikere at flyteffektiviteten ikke har vært god nok. Lav evne til å møte tidsfristene for leveranse av prosjekteringsmateriale er nemlig som regel et resultat av lav effektivitet i detaljprosjekteringen (Kristensen 2012).

En KPI som måler prosentandel prosjekteringsmateriale som er levert til de utførende til riktig tid, vil også kunne si noe om hvor godt et prosjekt har frontloadet. Lav evne til å møte tidsfristene for leveranse av prosjekteringsmateriale kan nemlig også være et resultat av for mye overlapp mellom prosjektfasene. Jo mer prosjekteringsfasen overlapper med byggefasen, jo mer utfordrende blir det nemlig å planlegge aktiviteter og tidspunkt for leveranser. Dette kan illustreres med et eksempel. Avvanning fra taket vil påvirke hvordan byggegroppen må utformes. I prosjekteringsfasen må man dermed bestemme seg for noen prinsippløsninger for taket før man utformer byggegroppen. Når disse prinsippløsningene er satt, vil prosjekteringen fortsette og byggegroppen kan utformes. Etter hvert vil prosjekteringen komme tilbake til utformingen av taket, denne gangen kanskje i forbindelse med statikken hvor man for eksempel ser på hva som skjer hvis det oppstår jordskjelv. Hvis man da velger å gå bort fra prinsippvalgene som allerede er satt for taket, må man tilbake for

å omprosjekttere byggegruppen. Problemet er at de utførende kanskje allerede har bygget byggegruppen, hvis prosjekteringsfasen ligger tett på byggefasen. Eksempelet viser at jo mer prosjekteringsfasen og byggefasen overlapper, og jo mindre et prosjekt frontlader, jo vanskeligere vil det være få korrekte leveranser til riktig tid. Målet til prosjekteringsfasen bør dermed være å fullføre alt prosjekteringsmateriale før byggefasen starter. Det er imidlertid mulig å håndtere overlappende faser, men det krever svært dyktige ledere, entreprenører og rådgivere for å unngå uventede problemer.

En KPI som måler prosentandel prosjekteringsmateriale som er levert til de utførende til riktig tid, vil få støtte fra Kristensen (2012). Forfatteren mener nemlig punktlighet er helt avgjørende, da de utførende sjeldent forbereder slakk i tidsplanen med hensyn til prosjekteringsleveransene. Hver enkelt forsinkelse av prosjekteringsmateriale hindrer dermed produksjonen, og representerer en dårlig start på byggeprosessen. Kristensen (2012) mener dermed at et prosjekt bør måle punktligheten til prosjekteringsgruppen når det gjelder store prosjekteringsleveranser som tegninger og digitale modeller til de utførende.

Etter KPI-målingen er det viktig å avdekke årsakene til eventuelle forsinkelser av prosjekteringsmateriale, ved for eksempel å benytte problemløsningsteknikken 5 hvorfor (Serrat 2009). Dette vil muligens gi informasjon om årsakstrender. Hvis man i tillegg klarer å sette en sum på kostnaden knyttet til de forsinkede leveransene, vil dette vise hvor viktig det er å få leveranser tidsnok, og øke bevisstheten til aktørene.

6.8 Oppsummering over KPI'er

I diskusjonskapittelet har forfatteren diskutert hvilke KPI'er som kan benyttes i en Lean prosjekteringsprosess for å kontinuerlig forbedre flyten. Forfatteren har kommet frem til ti forslag, og fordelene og ulempene med disse KPI'ene er oppsummert i tabell 8.

Tabell 8: Oversikt over oppgavens ti foreslåtte KPI'er

KPI	Fordeler	Ulemper
Antall arbeidspakker som fullføres og leveres innen en prosjekteringstakt	<ul style="list-style-type: none"> - Bidrar til godt definerte arbeidsoppgaver - Bidrar til at arbeidsoppgaver utføres i rett rekkefølge - Bidrar til at arbeidsoppgaver er av riktig størrelse - Bidrar til at planlagte arbeidsoppgaver er gjennomførbare - Enkel å måle - Krever ikke ekstra arbeid - Måles kontinuerlig i løpet av detaljprosjekteringen, som gir store muligheter for kontinuerlig forbedring i prosjektet 	<ul style="list-style-type: none"> - Får ikke målt flyten av den faktiske utførelsen av arbeidet - Enkelte aktører kan oppfatte målingen som kritikk - Vil ikke si noe om verdiinnholdet til arbeidspakken
Antall beslutninger tatt på feil grunnlag	<ul style="list-style-type: none"> - Bidrar til at aktørene blir sikrere på sine beslutninger og på hvilket grunnlag beslutningene er tatt på - Bidrar til at aktørene utfører det riktige arbeidet første gangen - Måles kontinuerlig i løpet av detaljprosjekteringen, som gir store muligheter for kontinuerlig forbedring i prosjektet 	<ul style="list-style-type: none"> - Kan medføre beslutningsvegring
Antall revideringer etter frys av produkter i felles BIM-modell	<ul style="list-style-type: none"> - Bidrar til å etablere en forutsigbarhet i forventningen til prosjekteringen - Bidrar til å øke den tverrfaglige forståelsen blant aktørene - Bidrar til å øke aktørenes forståelse for hvilke produkter man må levere, på hvilket tidspunkt - Kan bidra til et økt fokus på flyteeffektivitet fremfor ressurseffektivitet - Måles kontinuerlig i løpet av detaljprosjekteringen, som gir store muligheter for kontinuerlig forbedring i prosjektet 	<ul style="list-style-type: none"> - Kan medføre at frys blir satt så sent som mulig - Kan være vanskelig å måle

Antall uløste spørsmål i dialogmatrisen	<ul style="list-style-type: none"> - Synliggjør den tverrfaglige avhengigheten mellom alle fagene - Synliggjør flaskehals - Bidrar til å øke den tverrfaglige forståelsen - Synliggjør fremdriften i prosjekteringen - Enkel å måle - Måles kontinuerlig i løpet av detaljprosjekteringen, som gir store muligheter for kontinuerlig forbedring i prosjektet 	<ul style="list-style-type: none"> - Fanger kun opp spørsmål knyttet til dialogmatrisen - Vanskelig å sette en akseptgrense for antall uløste spørsmål
Intensitetskurve - Antall spørsmål som stilles i dialogmatrisen og hvor fort disse løses	<ul style="list-style-type: none"> - Gir en indikator på intensiteten og leveransedyktigheten i prosjektet - Gir en indikasjon på om riktig tema ble utarbeidet til riktig tid 	<ul style="list-style-type: none"> - Vanskelig å forbedre eller påvirke prosjekteringen i det aktuelle byggeprosjektet
Antall godkjente funksjonsbeskrivelser utarbeidet til riktig tid	<ul style="list-style-type: none"> - Bidrar til at aktører baserer sine løsninger på et underlag hvor man har tenkt både geometri og funksjon, som igjen bidrar til at arbeidet utføres riktig første gang - Bidrar til å øke sannsynligheten for at de prosjekterende har prosjektert et prosjekt, som i tillegg til å være skrudd sammen riktig, fungerer slik det er tiltenkt - Kan bidra færre feil under tabletestingen 	<ul style="list-style-type: none"> - Vanskelig å forbedre eller påvirke prosjekteringen i det aktuelle byggeprosjektet
Antall korrekte funksjonsbeskrivelser som avdekkes under tabletesting	<ul style="list-style-type: none"> - Gir en indikasjon på hvor godt de prosjekterende traff i prosjekteringen - Kan bidra til økt motivasjon for å utarbeide riktig funksjonsbeskrivelser første gangen 	<ul style="list-style-type: none"> - Vanskelig å forbedre eller påvirke prosjekteringen i det aktuelle byggeprosjektet
Antall systemer med utviklet testprosedyrer før utsending av kontrakt til entreprenørene	<ul style="list-style-type: none"> - Danner grunnlag for målbare milepæler - Reduserer sannsynligheten for uenigheter om testresultatene er rettmessig eller uterettmessig underkjent - Kan bidra til færre feil under testing 	<ul style="list-style-type: none"> - Vanskelig å forbedre eller påvirke prosjekteringen i det aktuelle byggeprosjektet
Antall poster som endres på grunn av feilprosjekteringer og misforståelser	<ul style="list-style-type: none"> - Gir en pekepinn på hvor suksessfull prosjekteringen har vært - Enkel å måle - Krever ikke ekstra arbeid 	<ul style="list-style-type: none"> - Vanskelig å forbedre eller påvirke prosjekteringen i det aktuelle byggeprosjektet
Prosentandel prosjekteringsmateriale som leveres til de utførende til riktig tid	<ul style="list-style-type: none"> - Gir en indikasjon på hvor god flyten har vært i prosjekteringsprosessen - Bidrar til god flyt i byggefasen - Enkel å måle 	<ul style="list-style-type: none"> - Vanskelig å forbedre eller påvirke prosjekteringen i det aktuelle byggeprosjektet

6.9 Diskusjon av metodevalg

Oppgaven har tatt for seg en casestudie, hvor det er benyttet intervju for å innhente data. Oppgavens funn er derfor basert på kvalitative og subjektive data. Fra en forskers perspektiv vil dermed funn være basert på svake data. Derav vil det være vanskelig å gi konkrete konklusjoner og anbefalinger. Oppgavens registrerte funn, anbefalinger og konklusjoner må ta forbehold om denne svakheten.

De valgte intervjuobjektene var i all hovedsak en del av ledelsen av prosjekteringen i prosjektet KHiB. I ettertid ser forfatteren at det kunne vært hensiktsmessig å intervju andre aktører i tillegg, som fagrådgivere og spesialister, da dette muligens ville gitt flere ulike perspektiver. Dette ville ha utvidet oppgavens datagrunnlag.

6.10 Begrensninger og veien videre

KPI'ene er utviklet med utgangspunkt i suksessfaktorene for detaljprosjekteringen i KHiB-prosjektet. Det medfører visse forbehold for fremtidige Lean prosjekter som ønsker å teste disse KPI'ene. For eksempel må takting, systematisk ferdigstillelse, samlokalisering med dialogmatrise, og en felles BIM-modell være en del av prosjekteringen for å kunne ta i bruk enkelte av KPI'ene. Dette er imidlertid viktige Lean tiltak for å øke flyt, og et prosjekt bør derfor vurdere å ta i bruk disse tiltakene ved anvendelse av Lean i detaljprosjekteringen.

For å utvikle KPI'er i detaljprosjekteringen bør fokuset ligge på de faktorer som kan måles, og som direkte relaterer seg til suksess innenfor det pågjeldende området. I prosjekteringsfasen til KHiB finnes det flere suksessfaktorer for flyt, som blant annet felles kultur, engasjement, motivasjon og transparens, som ikke er lett å dekke med KPI-målinger. Dette er nemlig subjektive suksessmål som gir opphav til variasjon og uoverensstemmelser. Subjektive suksessfaktorer bør derfor helst ikke være basis for en KPI, og har av den grunn ikke blitt foreslått i denne oppgaven. Imidlertid mener forfatteren at dette ikke er et stort tap for denne oppgaven. Tribelsky og Sacks (2011) fant nemlig ikke en korrelasjon mellom subjektive synspunkt av et prosjekts suksess og informasjonsflyt i deres forskning.

Kontinuerlig forbedring av prosesser i detaljprosjekteringen vil øke flyten i prosjekteringen. Likevel er det ikke sikkert at en god flyt i detaljprosjekteringen vil være en suksessfaktor for byggeprosjektet. En god flyt i detaljprosjekteringen betyr nemlig ikke nødvendigvis at det vil oppstå god flyt i de etterfølgende fasene. En suksessfaktor vil derfor være å oppnå god flyt i alle byggeprosjektets fasene, og ikke kun en sub-optimalisering av detaljprosjekteringen. Av den grunn kan det med fordel etableres KPI'er for alle prosjektets fasene. Dette vil også kunne bidra til å forklare hva som skiller forskjellige prosjekter i de ulike fasene, og hvorfor enkelte prosjekter lykkes

bedre enn andre. Av den grunn anbefales det å arbeide videre med utvikling av KPI'er til alle fasene av et byggeprosjekt.

I denne masteroppgaven har forfatteren utviklet et sett med KPI'er som virker fornuftige for å kontinuerlig forbedre flyten i detaljprosjekteringen. Fremtidig forskning og testing er imidlertid nødvendig for å evaluere, justere og eventuelt utvikle KPI'ene før de kan implementeres inn i virkelige byggeprosjekter. Dette vil bidra til å forsikre KPI'enes validitet og reliabilitet. Det vil også være nødvendig å finne en oversiktlig måte å visualisere KPI-målene. I den anledning bør man vurdere hvor mye informasjon som skal visualiseres, i lys av hva som virkelig er nyttig for aktørene.

7. KONKLUSJON

I denne masteroppgaven gis det forslag til ti KPI'er som kan benyttes i en Lean prosjekteringsprosess for å sikre kontinuerlig forbedring av flyt. Disse er som følgende:

1. Antall arbeidspakker (leveranser) som fullføres og leveres innen en prosjekteringstakt
2. Antall beslutninger tatt på feil grunnlag
3. Antall revideringer etter frys av produkter i en felles BIM-modell
4. Antall uløste spørsmål i dialogmatrisen
5. Intensitetskurve - Antall spørsmål som stilles i dialogmatrisen og hvor fort disse løses
6. Antall godkjente funksjonsbeskrivelser utarbeidet til riktig tid
7. Antall korrekte funksjonsbeskrivelser som avdekkes under tabletesting
8. Antall systemer med utviklet testprosedyrer før utsending av kontrakt til entreprenørene
9. Antall poster som endres på grunn av feilprosjekteringer og misforståelser
10. Prosentandel prosjekteringsmateriale som leveres til de utførende til riktig tid

Fremtidig forskning og testing av KPI'ene er imidlertid nødvendig for å evaluere, justere og eventuelt utvikle KPI'ene, før de kan implementeres inn i virkelige byggeprosjekter. Dette vil bidra til å sikre KPI'enes validitet og reliabilitet.

Ytterligere anbefalinger for å øke flyt er å standardisere prosesser i prosjekteringsfasen. KHiB sin Product Creation Proses Plan (PCP-plan) kan være det første skrittet på vei mot standardisering av en PCP-plan for et byggeprosjekt. Det anbefales også å benytte Integrated Project Delivery (IPD) som entrepriseform for å oppnå best mulig flyt i prosjekteringen.

8. REFERANSER

- AIA California Council. (2007). *Integrated Project Delivery – A Working Definition*. Sacramento, California. Tilgjengelig fra: <http://aiacc.org/wp-content/uploads/2010/07/A-Working-Definition-V2-final.pdf> (lest 13.02.2017).
- Alarcón, L. F. & Serpell, A. (1996). Performance Measuring Benchmarking, and Modelling of Construction Projects. I: *Proceedings of the 4th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Birmingham, UK.
- Alarcón, L. F. & Mardones, D. A. (1998). Improving the design-construction interface. I: *Proceedings of the 6th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Guarujá, Brazil.
- Ashcraft Jr, H. W. (2014). The Transformation of Project Delivery. *Construction Lawyer*, 34.
- Aveyard, H. (2010). *Doing A Literature Review In Health And Social Care - A Practical Guide*. 2. utg.: Open University Press. 184 s.
- Ballard, G. (1999a). Can pull techniques be used in design management? I: *Conference on Concurrent Engineering in Construction*. Helsinki, Finland.
- Ballard, G. (1999b). Improving work flow reliability. I: *Proceedings of the 7th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, s. 275-286. Berkeley, USA.
- Ballard, G., Tommelein, I., Koskela, L. & Howell, G. (2002). Lean construction tools and techniques. 227-255.
- Ballard, G. & Feng, P. P. (2008). Standard Work From a Lean Theory Perspective. I: *Proceedings of the 16th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Manchester, UK.
- Ballard, H. G. (2000a). *The last planner system of production control*. Doktoravhandling: The University of Birmingham, Faculty of Engineering.
- Ballard, H. G. (2000b). Positive vs negative iteration in design. I: *Proceedings of the 8th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, s. 17-19. Brighton, UK.
- Beatham, S., Anumba, C., Thorpe, T. & Hedges, I. (2004). KPIs - A critical appraisal of their use in construction. *Benchmarking: An International Journal*, 11 (1): 93-117.
- Bertelsen, S. (2003). Complexity - Construction in a new Perspective. I: *Proceedings of the 11th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Virginia, USA.
- Bertelsen, S. (2005). *Håndbog i Trimmet Byggeri Lean Construction på dansk: Foreningen Lean Construction - DK*. Tilgjengelig fra:

- <http://www.leanconstruction.dk/media/8947/H%C3%A5ndbog%20v%202.1.pdf> (lest 01.02.2017).
- Bertelsen, S. (2015). *Det ureglerlige projekt: Lean Construction DK/Strategisk Rådgivning*. 140 s.
- Brown, M. G. (1996). *Keeping score - Using the right metrics to drive world-class performance*: AMACOM. 198 s.
- Dalland, O. (2007). *Metode og oppgaveskriving for studenter*. 4. utg.: Gyllendal akademisk. 297 s.
- Dawood, N., Sikka, S., Marasini, R. & Dean, J. (2006). Development of key performance indicators to establish the benefits of 4D planning. I: *Proceedings 22nd Annual ARCOM Conference*. Birmingham, UK.
- Egan, J. (1998). *Rethinking Construction*. London.
- Flyvbjerg, B. (2006). Five misunderstandings about case-study research. *Qualitative inquiry*, 12 (2): 219-245. doi: 10.1177/1077800405284363.
- Gibb, A. G. & Isack, F. (2001). Client drivers for construction projects - Implications for standardization. *Engineering Construction and Architectural Management*, 8 (1): 46-58. doi: 10.1046/j.1365-232x.2001.00184.x.
- Halvorsen, K. (2003). *Å forske på samfunnet - En innføring i samfunnsvitenskapelig metode*. 4. utg.: Cappelen Akademisk Forlag. 208 s.
- Howell, G. & Ballard, G. (1998). Implementing lean construction - Understanding and action. I: *Proceedings of the 6th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Guarujá, Brazil.
- Hutchins, D. (1999). *Just in time*. 2. utg.: Gower Publishing, Ltd.
- Johannessen, A., Tufte, P. A. & Christoffersen, L. (2016). *Introduksjon til samfunnsvitenskapelig metode* 5. utg.: Abstrakt forlag. 458 s.
- Johansen, P. R. & Hoel, T. I. (2016). *Veileder - Systematisk ferdigstillelse*.
- Johansen, P. R. (2017). *Intervju med Per Roger Johansen, en av de ansvarlige for prosjekteringsledelsen i prosjektet KHiB* (03.03.2017).
- Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction*, b. Technical Report 72. Stanford, CA: Stanford University
- Koskela, L. (2000). *An exploration towards a production theory and its application to construction*. VTT Technical Research Centre of Finland. 296 s.
- Koskela, L. (2004). Making-do - The eighth category of waste. I: *Proceedings of the 12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Helsingør, Denmark.

- Kristensen, K. H. (2012). *Building design management - Management of the cooperative design and its interdisciplinary functions*. Doktoravhandling: Norwegian University of Science and Technology, Department of Civil and Transport Engineering.
- Kristensen, K. H. (2016). Veileder - Lean i byggeprosjekter. 43.
- Langlo, J. A., Bakken, S., Karud, O. J., Landet, R. R. & Andersen, B. (2015). Prestasjonsmåling i norsk BAE-næring.
- Lædre, O. (2012). Gjøre det selv eller betale andre for jobben. Tilgjengelig fra: https://www.ntnu.no/documents/1261860271/1262010610/Temahefte_Kontraktstrategi_webutgave.pdf/4854197e-6f54-408c-a5bf-5b86d720307a (lest 18.04.2017).
- Modig, N. & Åhlstöm, P. (2012). *Dette er Lean - Løsningen på effektivitetsparadokset*: Rheologica Publishing. 166 s.
- Morgan, J. M. & Liker, J. K. (2006). *The Toyota product development system*. 4. utg. New York: Productivity Press. 363 s.
- Mossman, A., Ballard, G. & Pasquire, C. (2010). Lean Project Delivery - Innovation in integrated design & delivery. *Architectural Engineering and Design Management*: 1-28.
- Nelfo. (2017). *Digitale bygningsinformasjonsmodeller – BIM*. Oslo. Tilgjengelig fra: <http://nelfo.no/Documents/Dokumenter,%20rapporter,%20publikasjoner/Faktahefter/1/faktahefte%20bim%202017.pdf> (lest 14.02.2017).
- Nitithamyong, P. & Skibniewski, M. J. (2006). Success/failure factors and performance measures of web-based construction project management systems: professionals' viewpoint. *Journal of construction engineering and management*, 132 (1): 80-87.
- Parmenter, D. (2015). *Key performance indicators - Developing, implementing, and using winning KPIs*. 3. utg. Washington, DC: Asian Development Bank. 448 s.
- Schiemann, W. A. & Lingle, J. H. (1999). *Bullseye - Hitting your strategic targets through high-impact measurement*. New York: Free Press 206 s.
- Serrat, O. (2009). The five whys technique.
- Shingo, S. (1988). *Non-stock production - The Shingo system of continuous improvement*. Cambridge, Massachusetts: Productivity Press. 479 s.
- Stokbro, K. (2010). *Innovationsprosessen - Lean-tanken når innovationsprosjekter gjennomføres*: DI. Tilgjengelig fra: <http://di.dk/SiteCollectionDocuments/Shop/Bog4-www.pdf?productid=8659&downloadType=Produkt> (lest 02.02.2017).
- Tatsiana, H. & Saad, A.-J. (2008). Identifying the KPIs for the design stage based on the main design sub-processes. I: *Proceedings of Joint CIB Conference: Performance and Knowledge Management*, s. 14-23. Rotterdam, Netherlands.

- Tribelsky, E. & Sacks, R. (2010). The Relationship Between Information Flow and Project Success in Multi-Disciplinary Civil Engineering Design. I: *Proceedings of the 18th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Haifa, Israel.
- Tribelsky, E. & Sacks, R. (2011). An Empirical Study of Information Flows in Multidisciplinary Civil Engineering Design Teams using Lean Measures. *Architectural Engineering and Design Management*: 85-101.
- Wegelius-Lehtonen, T. (2001). Performance measurement in construction logistics. *International journal of production economics*, 69 (1): 107-116. doi:10.1016/S0925-5273(00)00034-7.
- Yin, K. R. (2003). *Case study research - Design and methods*. 3. utg. Thousand Oaks, California: Sage Publications Inc. 181 s.

9. VEDLEGG: INTERVJUGUIDE

Intervjuguide

Intervjuobjekt:

Dato:

- Avklare anonymitet/åpenhet
- Informere om at det aktuelle intervjuobjektet vil bli tilsendt intervjunotater for godkjenning i etterkant
- Finne ut av om det er greit med lydopptak av intervjuet.

MIN MASTEROPPGAVE:

- For å øke flyt er det viktig å kontinuerlig forbedre prosesser, noe som krever at det aktuelle prosjektet vet hva som kan forbedres og effekten av tiltakene som blir iverksatt. Dette kan oppnås ved å måle såkalte Key Performance Indicators (KPI'er), som er en indikator for å måle prestasjon. Hensikten til denne masteroppgaven er derfor å finne ut hvilke KPI'er som kan utvikles for å sikre kontinuerlig forbedring av flyt i en Lean prosjekteringsprosess.

TEMAER SOM ØNSKES BELYST:

- Generelt om KHiB sin prosjekteringsprosess
 - Hvordan og hvorfor prosjektet har benyttet Lean i detaljprosjekteringen?
- Flyt
 - Hva var avgjørende for oppnåelse av jevn flyt i prosjekteringen?
 - Hva har begrenset flyten?
- KPI'er i en prosjekteringsprosess
 - Hva bør/kan måles i en prosjekteringsprosess?



Norges miljø- og biovitenskapelig universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway