

Prosjektering i forhold til bruk av BIM og lean

Hvordan BIM kan bidra til en mer leanorientert prosjekteringsfase

Stian Kristiansen

Veileder

Bo Terje Kalsaas

*Masteroppgaven er gjennomført som ledd i utdanningen ved
Universitetet i Agder og er godkjent som del av denne utdanningen.*

Design in relation to the use of BIM and lean

How BIM can contribute to a more lean oriented design phase

Stian Kristiansen

Supervisor

Bo Terje Kalsaas

This Master's Thesis is carried out as a part of the education at the University of Agder and is therefore approved as a part of this education.

PROSJEKTERING I FORHOLD TIL BRUK AV BIM OG LEAN

HVORDAN BIM KAN BIDRA TIL EN MER
LEANORIENTERT PROSJEKTERINGSFASE

STIAN KRISTIANSEN

*Masteroppgaven er gjennomført som ledd i utdanningen ved
Universitetet i Agder og er godkjent som del av denne utdanningen.*

FORORD

Denne masteroppgaven er utarbeidet gjennom Universitetet i Agder ved masterprogrammet ”Industriell økonomi og teknologiledelse” hvor jeg er avgangstudent året 2011. Oppgaven omhandler hvordan BIM og lean kan være med på å effektivisere prosjekteringsfasen i byggeprosjekter.

Oppgaven er skrevet hos Rambøll i Bergen, hvor min bedriftskontakt har vært Hans-Kristian Jacobsen. Ved å få sitte på deres kontor har jeg fått et innblikk i deres hverdag, og hvordan de arbeider. Dette har gjort at jeg bedre har kunnet tilpasse oppgaven for Rambøll og deres interessefelt, som primært er rådgiving og prosjektering innen bygg og design.

Veileder ved UiA har vært Bo Terje Kalsaas. Han har vært svært behjelpelig med litteraturhenvisninger og gitt meg konstruktive tilbakemeldinger underveis i utarbeidelsen av oppgaven.

Hans-Kristian Jacobsen har satt meg i kontakt med aktuelle personer, og kommet med litteraturhenvisninger. Både veileder og bedriftskontakt har i tillegg stilt spørsmål, kommentert, og kommet med gode ideer og forslag til oppgaven. Under oppgaven har jeg sett nærmere på det nye Nasjonalmuseet som skal bygges på Vestbanen i Oslo. Det er et krav til at BIM brukes under prosjektet, samtidig som de involverte bruker flere prinsipper hentet fra lean filosofien. Rambøll er valgt som totalrådgiver, mens Statsbygg er byggherre på Nasjonalmuseet. Jeg fikk intervju sentrale personer på prosjektet fra både rådgiversiden og byggherresiden på prosjektet. Dette gav meg verdifull breddeinformasjon til oppgavens analyse og diskusjon. I tillegg fikk jeg intervju andre ansatte hos Rambøll som innehar erfaringer fra tidligere BIM-prosjekter.

Temaene BIM, lean og prosjektering har av flere grunner vært svært spennende å arbeide med. Blant annet fordi både BIM og lean var relativt nytt for meg, og fordi det er noe som stadig blir mer aktuelt, samtidig som kompetansen på disse områdene etterspørres. Det har også vært inspirerende å skrive for Rambøll som har satt seg som mål å være ledende innen bransjen på BIM. Jeg vil derfor takke ansatte ved Rambøll i Bergen som allerede fra første dag av har vist interesse, og engasjert seg i oppgaven. De bidro stadig med anvendelig informasjon og nye synsvinkler på oppgaven.

Jeg vil spesielt få takke min veileder og bedriftskontakt, samt Elisabeth Heier, Geir Hovden, Rune Breistein og andre informanter som har gitt meg viktig informasjon og kunnskap.

Stian Kristiansen

25. mai 2011, Bergen

SAMMENDRAG

At byggeprosjekter i dagens samfunn består av feil og mangler er heller regelen enn unntaket. Forbedringspotensialet finnes i alle prosjektets faser, fra ide - og planleggingsfasen til FDV-fasen, og inkluderer områder som kostnader, ressursforbruk, effektivitet og kvalitet. Byggebransjen har lenge vært kjent for å være konservativ, og kjøre idet samme sporet som tidligere. I perioden 1964–2004 har det vist seg at produktiviteten i byggenæringen har hatt en nedgang på 10 %, mens andre næringer har mer enn doblet sin produktivitet. Samtidig viser forskning at 30 % av de totale kostnadene i et prosjekt går med til å rette opp feil og mangler. Den siste tiden har derimot flere bedrifter vist positiv utviklingsvilje og tatt i bruk innovative verktøy og teorier som har oppstått og vist seg å være lønnsomme, slik som BIM og lean.

Oppgaven går ut på å se på hvordan BIM kan bidra til en mer lean filosofi under prosjekteringsfasen, slik at effektiviteten i byggeprosjekter kan økes. Selv om oppgaven primært dreier seg om prosjekteringsfasen, er noe av informasjonen også koblet opp mot andre faser for å vise hvilken innvirkning og konsekvenser valgene en tar under prosjekteringen kan ha. En kobling av BIM og lean under prosjekteringen skaper fordeler for kunden, de prosjekterende og entreprenørene. Dette er fordeler som bedre arbeidsflyt, høyere kvalitet, mer arbeid tilpasset det kunden verdsetter, mindre sløsing, mindre tid brukt på utarbeidelse av dokumenter og redusert prosjektid

BIM blir stadig mer utbredt blant aktørene i byggebransjen, og beskrives av mange som et paradigmeskifte. I Europa har BIM vært i bruk i noen år, mens en i USA har opplevd en enorm vekst i antall brukere av BIM. Blant annet krever både Statsbygg og Forsvarsbygg at store prosjekter skal gjennomføres ved bruk av BIM. Flere rådgivende ingeniørbedrifter som Rambøll og Multiconsult har gått hardt ut og sagt at de skal satse stort på BIM.

Flere fordeler kan trekkes frem etter implementeringen av BIM, hvorav økt felles forståelse i prosjekteringsfasen, forbedret kvalitet på materialet som leveres, høyere effektivitet på noen områder og mindre rework er noen av poengene som kan trekkes frem. Under implementeringen har en også opparbeidet seg erfaring om hvor det finnes forbedringspotensial. Her nevnes det blant annet at BIM fortsatt er i startgropen og trenger tid på å ”sette seg” i bransjen. I tillegg fungerer ikke alltid kompatibiliteten like godt når informasjon skal konverteres mellom proprietære modeller og det åpne filformatet IFC. Et interessant spørsmål som de norske bedriftene nå stiller seg, er om implementeringen av BIM til nå har vært lønnsom. Grunnen til at dette ikke er målt tidligere er blant annet fordi BIM er nytt, og mange er usikre på hvordan de skal måle lønnsomheten. Statsbygg jobber nå med en rapport som skal vurdere om BIM har vært lønnsomt til nå. Informantene er usikre på hva som er riktig svar nå, men i fremtiden er de sikre på at BIM vil bidra til høyere fortjeneste. I USA har derimot avkastningen blitt målt, og det har kommet frem at 2 av 3 BIM-brukere har positiv avkastning. I tillegg tror 93 % av de amerikanske brukerne at avkastningen vil øke dersom satsingen på BIM fortsetter.

Oppgaven beskriver bruken av **lean** som opprinnelig stammer fra stasjonær produksjon i bilindustrien hvor Ford og Toyota stod for mye av arbeidet. Ford kom opp med prinsippet, mens Toyota videreutviklet ideene. Ordet ”lean” er i utgangspunktet engelsk, og kan oversettes til ”slank”. I norsk litteratur brukes derimot ordet ”lean”, og vil derfor brukes videre i denne oppgaven. Lean er tuftet på en ledelsesfilosofi, hvor hovedmålet er å fjerne all sløsing gjennom kontinuerlig forbedring i alle involverte prosesser. I denne sammenhengen betegnes sløsing som aktiviteter som ikke er verdiskapende for prosjektet. “The seven wastes” kan brukes for å identifisere flere former for sløsing i alle prosjektets faser. Prinsippene fra lean kan brukes innenfor flere bransjer som helse, bank og olje. Lean kan også kobles opp mot byggebransjen - lean construction.

Mye av litteraturen som er skrevet om lean construction omhandler produksjonsfasen i prosjektene, og er således rettet mot entreprenører. Dette har gjort arbeidet med å finne relevant informasjon til oppgaven vanskelig. Imidlertid finnes det noe litteratur vinklet opp mot lean under prosjekteringsfasen (design phase). Lean construction kan ha en stor innvirkning på selve produksjonen på byggeplass, men dette kontinuerlige arbeidet med eliminering av sløsing kan og bør starte allerede under prosjekteringsfasen. Studier har vist at jo tidligere en er i prosjektet, desto mindre er terskelen for å gjøre endringer, og desto mindre vil også kostnadene være. Mange prosjekter som gjennomføres med BIM og lean ønsker derfor å flytte prosjekteringsfasen tidligere frem, slik at muligheter, feil og mangler oppdages raskere.

Mange feil blir først oppdaget på selve byggeplassen, men ved å kunne fremskynde prosjekteringen til et tidligere tidspunkt, samtidig som en bygger modellen elektronisk vil en kunne oppdage slike feil tidligere. Det er billigere å rette opp feil i et modelleringsprogram, enn på en virkelig byggeplass. I BIM-modeller har en mulighet til finne slike feil gjennom en funksjon som kontrollerer bygget mot kollisjoner mellom objekter. I en kollisjonskontroll kan alle fagmodellene samkjøres til en felles modell. Denne funksjonen er blant de mest brukte i dagens BIM-prosjekter. BIM åpner også for et stort antall analysemetoder som bl.a. energiberegning, brannsimulering, akustikk og fremdriftssimulering. Det har derimot vist seg at disse analyseverktøyene brukes i liten grad, fordi brukerne ikke føler at de har tilstrekkelig med kompetanse til å benytte seg av verktøyene. Denne kompetansen er imidlertid planlagt å styrke.

Koblingen mellom BIM og lean byr på flere spennende synergier i prosjekteringsfasen, hvilket den empiriske dataen også peker på. Informantene har en positiv holdning ovenfor både BIM og lean, noe som må ligge til grunn for at koblingen skal fungere. Selv om BIM fortsatt sitter i startgropen så viser det seg at implementeringen i flere bedrifter har vært god, eller er på god vei til å innføres. Selv om holdningen til lean har vært positiv, viser det seg at kunnskapen i stor grad er varierende. Samtaler med informantene i etterkant av intervjuene har vist at de i større grad enn tidligere har lagt merke til lean, noe som kan tyde på at mer informasjon er tilgjengelig enn man tidligere har trodd.

Viljen til å satse på BIM er tilstede og i god gang, hvorav flere av de store rådgivende ingeniørbedriftene satser på å bli bransjeledende. Interessen for lean er også tilstedeværende, men man er i noe mindre grad villig til å satse like stort på det som på ved BIM. Empirien viser at man gjerne vil vente med innføringen av lean filosofien til bedriften har opparbeidet seg større kompetanse og kunnskap. De vil gjerne også se eksempler fra andre rådgivende ingeniørbedrifter som har innført dette med lønnsomhet, før de velger å gå videre.

Blant andre synergier som kommer frem av koblingen BIM og lean er mindre sløsing av ”the seven wastes”, innføring av pull-prinsippet, mer gjennomsiktighet, samt en bedre og mer pålitelig arbeidsflyt hvor riktig og tilstrekkelig informasjon kommer til riktig tid. Gjennom å bruke ”Integrated Design & Delivery” kan en tidligere integrere de andre aktørene i prosjektet. En måte å øke deres forståelse for hverandre, er gjennom bruk av BIM under samarbeidet.

Arbeidet under oppgaven bygger på kvalitativ metode. Bakgrunnen for valget av denne metoden følger naturlig av oppgavens valg av tema og case. Under innsamlingen av empirien ble åtte personer intervjuet, samtidig som jeg observerte andre ansatte under hele perioden. Fordelene med metoden er flere, som at temaet er begrenset og en får da konsentrert seg om et lite område, en har mulighet til å oppklare eventuelle misforståelser, og diskutere spørsmål eller temaer. Metoden har også ulemper, og en av disse er at dataene ikke er generaliserbare. Andre ulemper er at tolkingen kan ta lang tid, og svarene kan mistolkes. Informantene, de intervjuede, var strategisk utvalgte personer som er sentrale innenfor BIM, lean og prosjekteringsledelse hos Rambøll Norge og Statsbygg.

Opgaven har tatt for seg prosjekteringen av det nye Nasjonalmuseet på Vestbanen i Oslo som case. Prosjektet skal ferdigstilles mellom 2017–2018. Under oppgaveskrivingen har prosjektet vært inne i en forprosjektfase hvor Rambøll er totalrådgiver, og Statsbygg er byggherre. For å delta i konkurransen om

få prosjektere Nasjonalmuseet var det et krav om bruk av BIM. I tillegg vil prosjektet også brukes prinsipper hentet fra lean filosofien. BIM-modellen som vant Nasjonalmuseet måtte tilfredsstillende tre kriterier, som var; ha god visualisering ved hjelp av siktlinjer, gjøre mengdeuttak av arealer og volumer, samt lage et energiregnskap. Vinnermodellen ble utarbeidet av arkitektbedriften Kleihues + Schuwerk Gesellschaft von Architekten mbH. Da Rambøll vant prosjekteringen utarbeidet de en "BIM Utføringsplan" hvor de satt opp mål, arbeidsroller, kvalitetssikring, definert arbeidsflyt og hva BIM-modellen skal brukes til under prosjekteringen. Et slikt dokument har vist seg å være til god hjelp under arbeidet i prosjekteringsfasen.

Forskerspørsmålet som oppgaven er utarbeidet med tanke på, er som følger:

"Hvordan kan BIM bidra til en mer leanorientert prosjekteringsledelse, og hvilke muligheter åpner dette for?"

"BIM is the tool, lean is the process" (McGraw-Hill Construction, 2009:49).

INNHold

FORORD	4
SAMMENDRAG	5
FORKORTELSER	11
1 INNLEDNING	13
1.1 Introduksjon til BIM og lean	13
1.2 Bakgrunn for valgte temaer	14
1.3 Forskerspørsmål	15
1.4 Avgrensing av oppgaven	16
1.5 Oppgavedisposisjon	16
2 METODEBESKRIVELSE	17
2.1.1 Kvalitativ metode – Sterke vs. svake sider – Hvorfor er denne metoden valgt	18
2.1.2 Hvordan datainnsamlingen har foregått ved kvalitativ metode	19
2.1.3 Informanter og bakgrunn for valg av dem:	19
2.1.4 Analyse	20
2.1.5 Reliabilitet ved data og metode	20
2.1.6 Validitet ved data og metode	21
2.1.7 Etikk	21
3 MODELLERING AV BYGNINGSINFORMASJON - BIM	23
3.1 Hva er BIM?	23
3.2 Bruken av BIM frem til i dag	24
3.3 Bidrar BIM til å skape merverdi?	25
3.4 BIM-TREKANTEN	27
3.4.1 IFD – International Framework for Dictionaries - Terminologi	27
3.4.2 IDM – Information Delivery Manual - Prosess	27
3.4.3 IFC – Industry Foundation Classes - Lagringsformat	28
3.5 buildingSMART – “Bidra til et bærekraftig miljø”	28
3.5.1 Standardisering av prosessene	29

3.6	Kommunikasjon	29
3.7	Hva BIM kan ha innvirkning på i prosjekter	30
3.8	Kollisjonskontroll	31
3.9	Forbedringspotensial ved BIM	32
3.10	BIM hos Rambøll – En av Nordens ledende rådgiverbedrifter	33
3.10.1	Rambøll sin strategi og hovedmål ved BIM	34
<hr/>		
4	PROSJEKTERINGSLEDELSE	35
4.1	Prosjekteringsfase vs. utførelsesfase	36
4.2	Prosjekteringsvalg og arbeidsmetode	37
4.3	Feil og sløsing under prosjekteringsfasen	38
4.4	Ønsket prosjekteringsprosess kontra tradisjonell prosjekteringsprosess	39
4.5	Produktivitet	40
<hr/>		
5	LEAN CONSTRUCTION I PROSJEKTERINGSFASEN	41
5.1	Historien bak lean filosofien	41
5.2	De fem hovedprinsippene innen lean filosofi	42
5.3	The seven wastes	43
5.3.1	Eliminering av sløsing	44
5.4	Verdikjeden	46
5.4.1	Push-prinsippet	46
5.4.2	Pull-prinsippet	46
5.5	Lean construction	47
5.5.1	Transformation, Flow and Value	47
5.5.2	Last Planner System™	48
5.6	Lean Project Delivery – Integrated Design & Delivery	50
5.6.1	Teknikker og verktøy i lean construction under prosjekteringsfasen	51
5.7	Lean filosofi hos Rambøll – En av Nordens største rådgiverbedrifter	52
<hr/>		
6	ANALYSE AV KOBLINGEN BIM OG LEAN UNDER PROSJEKTERINGSFASEN	57
6.1.1	Variasjon og “Integrated Design & Delivery”	58
6.1.2	Økt fleksibilitet	59
6.1.3	Visuelle effekter	59
6.1.4	System – Pull vs. Push	60
6.1.5	Seks aktuelle koblinger mellom BIM og lean	60

6.1.6	Produktivitet	62
6.1.7	BIM og lean construction under prosjekteringen	63

7	ERFARINGER FRA RAMBØLL OG NASJONALMUSEET	65
7.1	Innledning	65
7.2	Beskrivelse av caset – Nytt Nasjonalmuseum på Vestbanen i Oslo	65
7.2.1	Bakgrunn for nytt nasjonalmuseum:	65
7.2.2	Fakta om det nye Nasjonalmuseet	67
7.2.3	Kort om Rambøll	67
7.2.4	Bruken av BIM i prosjekteringsfasen idag:	68
7.2.5	Bidrar BIM til lønnsomhet?	68
7.2.6	Fremtidsutsikter for BIM	69
7.2.7	Muligheter og utfordringer ved BIM	69
7.2.8	Erfaringer fra BIM	73
7.2.9	Generell kunnskap og holdninger til lean	73
7.2.10	Bruk av lean og “12 tools” under prosjekteringsfasen hos Rambøll	74
7.2.11	Fremtidsutsikter for lean innenfor prosjekteringsfasen	76
7.2.12	Muligheter og utfordringer ved lean for de prosjekterende	77
7.2.13	Koblingen mellom BIM og lean	80
7.2.14	Andre prosjekter hvor BIM og lean construction er kombinert	80

8	KONKLUSJON	81
9	ETTERORD	83
	LITTERATURLISTE	85
	TABELLOVERSIKT	91
	FIGUROVERSIKT	93

FORKORTELSER

0D: Nulldimensjonal

2D: Todimensjonal

3D: Tredimensjonal

4D: Firedimensjonal (Fremdriftsplanlegging)

5D: Femdimensjonal (Kostnadsplanlegging)

6D: Seksdimensjonal (Driftsledelse, levetidskostnader, og miljøkonsekvenser for bygget)

AHJ: Authorities Having Jurisdiction

BIM: Building Information Model (Bygningsinformasjonsmodell / Bygningsinformasjonsmodellering)

BPMN: Business Process Modeling Notation

DAK: Dataassistert Konstruksjon

FDV: Forvaltning, Drift og Vedlikehold

GIS: Geografiske Informasjonssystemer

GUID: Global Unique Identifier

HBMN: Helsebygg Midt-Norge

HMS: Helse, Miljø og Sikkerhet

IDM: Information Delivery Manual

IFC: Industry Foundation Classes

IFD: International Framework for Dictionaries

KPI: Key Performance Indicator

LPD: Lean Project Delivery

LPS: Last Planner System™

MRP: Materials Requirement Planning

NOBB: Norsk byggvaredatabase

PGL: Prosjekteringsgruppeleder

R-verdi: Varmemotstandsverdi

RFI: Request For Information

RIB: Rådgivende Ingeniør Byggeteknikk

RIE: Rådgivende Ingeniør Elektro

RIF: Rådgivende Ingeniørers Forening

RIV: Rådgivende Ingeniør Ventilasjon (inkl. varme og sanitær)

ROI: Return On Investment (Avkastning på investering)

SSB: Statistisk Sentralbyrå

TPS: Toyota Production System

U-verdi: Varmegjennomgangskoeffisient

UiA: Universitetet i Agder

1 INNLEDNING

1.1 Introduksjon til BIM og lean

Forbedringspotensialet i byggenæringen er stort. I 2009 hadde byggenæringen en total omsetning på over 250 milliarder kroner (Byggenæringens Landsforbund, 2010). I gjennomsnitt brukes 30 % av totalkostnadene i et byggeprosjekt på å rette opp feil og mangler (buildingSMART Norge, 2010). Av disse unødvendige kostnadene kan dårlig planlegging og prosjektering være skyld i 60 % av feilene på prosjektene (Byggekostnadsprogrammet, 2010). Dersom en klarer å forbedre seg på dette området, ligger det med andre ord potensielt enorme besparelser for bransjen her.

Underveis i hele prosjektet går kommunikasjonen på kryss og tvers av hverandre, og med mange aktører inne i bildet er sannsynligheten for feil eller slurv tilstedeværende. At den samme detaljen nedskrives syv ganger i samme prosjekt i gjennomsnitt kan også bidra til at andelen av feil øker (buildingSMART, 2008). Når kommunikasjonen går gjennom e-post, papir, telefon eller møter kan endringer hele tiden oppstå. Dersom disse endringene fortsatt skal kommuniseres på tradisjonell måte kan det være vanskelig for aktørene å forbedre resultatene sine. Om informasjonen kan digitaliseres, og automatisk oppdateres i en felles modell og database, vil hver enkelt ha muligheten til å hente ut den nødvendige informasjonen når behovet oppstår. På denne måten kan en også unngå misforståelser, fordi alle får identisk informasjon.

BIM står for både bygningsinformasjonsmodell og bygningsinformasjonsmodellering. BIM er dermed et produkt og en prosess for å komme frem til produktet. Fokuset på BIM øker stadig, og store aktører som Statsbygg og Forsvarsbygg krever i dag BIM på deres prosjekter. Når aktører av en slik størrelsesorden går ut og krever fokus på BIM, fører det til at andre aktører som også vil delta må innrette seg etter dette. Mange bedrifter forsøker dermed å øke kompetansen sin på BIM, slik at en fremover kan utnytte dette for å vinne oppdrag for Statsbygg og Forsvarsbygg. Om BIM implementeres på riktig måte i bedriften skal de store gevinstene være billigere prosjekt, komprimert prosjektperiode, og høyere kvalitet.

BIM kan sees på som en database hvor de involverte i prosjektet kan gå inn og hente ut prosjektinformasjon når de har behov for den. Informasjonen kan hentes ut gjennom en tredimensjonal bygningsmodell, samtidig som dimensjonene tid (4D), kostnader (5D), driftsstyring (6D) inkluderes. Det bør nevnes om hvorvidt 6D skal få integreres blant i BIM-egenskapene under diskusjon pr. dags dato. I dag finnes det utallige former for nettbaserte eller serverbaserte databaser og webhoteller som en kan legge prosjektinformasjon inn i og dele seg imellom. Informasjonen i slike løsninger ligger ofte fordelt på ulike mapper, som kan gjøre det vanskelig å finne informasjonen en er på utkikk etter. I en BIM-modell er derimot all informasjon samlet i modellen, og en kan bl.a. finne den ved å trykke på objektene en trenger informasjon om.

I BIM står bokstaven I for informasjon. Dette kan være informasjon om dimensjonering, farge, egenlast, brannklasse, U-verdi, R-verdi og annen materialkunnskap. Slik type informasjon er essensiell i BIM, og viser med det hvordan BIM revolusjonelt skiller seg fra tradisjonelle 3D-modeller. De tradisjonelle 3D-modellene inneholder begrenset informasjon, og spiller derfor på den visuelle delen. Dette er blant grunnene som gjør at BIM-modeller kan kalles intelligente modeller.

Softwareprogrammer som støtter BIM, har den egenskapen at modellen kan lagres i det åpne formatet IFC. Dette lagringsformatet gjør at de prosjekterende kan eksportere og importere modellen ut og inn i sitt eget proprietære modelleringsprogram. Dermed har de prosjekterende mulighet til å åpne samme modell og informasjon uavhengig av hvilket modelleringsprogram de bruker, så lenge det støttes av IFC-formatet. Slike muligheter for informasjonsdeling kan gjøre planleggingen med nøyaktig, kollisjoner

mellom objekter kan unngås og kompliserte beregninger kan utføres raskere. Slike muligheter gjør at modellen kan gjennomgå flere iterasjoner for å finne det beste alternativet for kunden.

BIM er fortsatt i startfasen og står av den grunn ovenfor flere utfordringer. Dette er områder som å lede prosjekter med et nytt verktøy, endrede arbeids- og samarbeidsmetoder, tilvenning av ny software, investeringskostnader, og ha tid til kursing og trening av ansatte.

Ordet ”lean” kan på norsk oversettes til ”slank”, men har også fått flere andre oversettelser som eksempelvis ”trimmet”. Dersom ikke annet passer bedre inn i sammenhengen, brukes ordet ”lean” videre i oppgaven. Lean er en ledelsesfilosofi som opprinnelig ble utviklet med hensyn på stasjonær bilproduksjon. Ford innførte tankegangen ved å ta i bruk samlebånd i 1908, som førte til en kraftig økning innen produktivitet. Bilprodusenten Toyota videreutviklet disse tankene til å utvikle Toyota Production System (TPS) som dannet nye prinsipper, ideer og verktøy. Lean filosofien går ut på å eliminere all sløsing gjennom å kontinuerlig være på utkikk etter hva som kan forbedres, jevne ut arbeidsflyten og øke fleksibiliteten. Sløsing i denne forstand er ment som ressurser brukt på aktiviteter som ikke er verdiskapende. Prinsippene og verktøyene som skal ”slanke” alle prosesser kan også overføres til å gjelde for flere bransjer som bank, helse og bygg.

Innen byggebransjen er dette kjent som lean construction, og bygger på konseptene fra TPS. Samtidig har lean construction egne verktøy som skiller seg fra TPS. Dette er en ny måte å prosjektere og produsere bygg på. Lean construction skiller seg på mange måter fra den tradisjonelle arbeidsmåten med prosjekter. I lean construction har en utviklet Last Planner System™ (LPS) som skal bidra til en mer pålitelig og forbedret arbeidsflyt. Tradisjonell arbeidsmåte forsøker ofte å optimalisere hver enkelt aktivitet som kan gjøre at den totale verdien for kunden reduseres, mens i lean construction forsøker en å se på helheten slik at kunde verdien maksimeres. Lean construction bruker pull som en arbeidsmetode, mens tradisjonell arbeidsmetode benytter push-prinsippet. Lean construction forsøker altså å gjennomføre raskere prosjekter med sikrere arbeidsflyt enn tidligere ved å fordele ansvaret utover flere. Mye av teorien som er skrevet om lean construction er beregnet på utførelsesfasen, noe har gjort arbeidet med prosjekteringsfasen utfordrende.

Prosjekteringsfasen kan deles i flere mindre faser som en gjennomgår. Disse er gjerne skisseprosjekt, forprosjekt og detaljprosjekt hvor en tilpasser arbeid og detaljeringsgrad etter hver fase. I denne fasen foretar man arkitektoniske, tekniske og organisasjonsmessige valg. Under denne fasen legges mye av føringene for det videre prosjektarbeidet (Føyen, 2009). Dersom BIM og lean implementeres på riktig måte kan en i denne fasen i mindre grad, måtte inngå kompromisser innen prosjekttrekanten, enn tidligere.

RIF har tidligere uttalt at av alle byggeskader som oppstår kan 35–45 % spores tilbake til de prosjekterende (Ingvaldsen, 1994). Om en samtidig tenker på at 60 % kostnadene som oppstår under et prosjekt er grunnet feil under planlegging og prosjektering, viser dette hvor avgjørende arbeidet under prosjekteringen kan være.

1.2 Bakgrunn for valgte temaer

Både BIM og lean blir stadig mer aktuelt, og kompetanse på hvert av områdene etterspørres i høyere grad enn tidligere. Koblingen mellom disse to temaene har ved flere anledninger vært etterspurt, men lite arbeid har blitt gjort, noe som gjør valget av oppgave interessant. Noe av grunnen til at det ikke til nå har vært et stort fokus på denne koblingen kan være at både BIM og lean construction er relativt nytt. BIM er på vei ut av startgropen, mens lean construction først ble introdusert for byggebransjen på starten av 1990-tallet. I tillegg kan prosjekteringen ha en avgjørende rolle under et prosjekt med hensyn på

finansiering, valg av løsninger, osv. Lite arbeid er til nå gjort om koblingen mellom disse tre temaene, og er derfor en spennende utfordring.

Begrunnelsen for at jeg har valgt å holde fokus på BIM og lean i prosjekteringsfasen består av to årsaker. Den første årsaken er at oppgaven er skrevet i samarbeid med Rambøll, og mye av deres arbeid er rådgivertjenester under prosjekteringsfasen. Å ha muligheten til å hjelpe de med forslag til hvilke muligheter de kan få ved å utnytte og videreutvikle BIM-kompetansen deres på en bedre måte, så jeg på som en svært interessant utfordring. Den andre årsaken er at lean construction til nå har hatt hovedfokus på produksjonsfasen, mens mulighetene for å benytte seg av lean filosofien i prosjekteringsfasen absolutt er tilstede, og fortjener mer fokus enn hva den har fått.

Dersom en velger å se på dette i en større sammenheng, kan disse funnene og forslagene overføres til andre bedrifter i en liknende situasjon, eller med liknende mål. Allerede har flere bedrifter innført BIM i deres prosjekteringsarbeid. Noen av disse bedriftene kan også finne koblingen opp mot lean interessant. Om en eventuell innføring av lean i disse bedriftene viser seg å være lønnsomt, kan det føre til at andre bedrifter følger etter.

1.3 Forskerspørsmål

Med tanke på bakgrunnen for de valg av temaene BIM, lean og prosjektering, har følgende forskerspørsmål blitt utarbeidet:

Hvordan kan BIM bidra til en mer leanorientert prosjekteringsledelse, og hvilke muligheter åpner dette for?

Opgaven hadde i utgangspunktet 3 forskerspørsmål, men har under arbeidet blitt redusert til ett forskerspørsmål. Bakgrunnen for valg av forskerspørsmål er at BIM er i en rivende utvikling, og stadig flere bedrifter viser interesse for å ta i bruk BIM. Ved å se på erfaringer fra andre som allerede har vært gjennom implementeringen kan andre bedrifter unngå fallgruver. Blant utenlandske bedrifter som har målt lønnsomheten har et klart flertall av brukerne opplevd positiv avkastning. Dersom BIM kan kobles sammen med lean filosofien, kan flere synergieffekter oppstå. Prosjekteringsfasen legger mye av grunnlaget for det videre arbeidet i prosjektet. Derfor kan det være viktig å se på hvilke muligheter som kan utnyttes dersom en tidlig ser koblingen av BIM og lean i prosjektene.

Det har vist seg at flere av de prosjekterende har liten eller ingen erfaring med lean filosofien. Gjennom denne oppgaven kan de forhåpentligvis få en større forståelse av hva lean går ut på, og hvordan de eventuelt kan bruke det under prosjekteringen.

For å kunne svare på forskerspørsmålene dekomponerte jeg forskerspørsmålet i flere mindre spørsmål som jeg stilte meg selv under arbeidet. Dette var spørsmål som hvilke fordeler kan trekkes frem ved BIM? Hvilke fordeler har lean construction? BIM og lean er individuelle måter å forbedre arbeidet på, hvilken kobling finnes mellom dem? Hvordan kan hver av de benyttes under prosjekteringen?

For å tidlig få tips til hvordan jeg kunne svare på forskerspørsmålet, tok jeg kontakt med en av grunnleggerne og nåværende administrerende direktør i Lean Construction Institute, Gregory A. Howell. Han var behjelpelig med henvisninger til andre rapporter innenfor oppgavens område.

1.4 Avgrensning av oppgaven

Opgaven er avgrenset til hovedsakelig å gjelde BIM og lean filosofi innenfor prosjekteringsfasen. Oppgaven vil derimot nevne andre prosjektfaser til en viss grad, men dette er primært for å vise helheten av konsekvensene som kan oppstå ved arbeid som gjøres i prosjekteringen.

Lean filosofien var i hovedsak utviklet for produksjon i bilindustrien, men har den fordelen at den kan brukes på andre industrier også. Når lean filosofien omtales er det lean construction som er ment. Noen avsnitt vil også omhandle lean for stasjonær industri, men dette er kun for å forklare prinsippene. Når annet enn lean construction nevnes, blir dette nevnt.

Beskrivelsen av prosjekteringsfasen vil kun være ment for byggebransjen. Derimot er det muligheter for at andre næringer også kan bruke noen av prinsippene og ideene som kommer frem i denne oppgaven.

Rambøll er delt opp i flere ulike avdelinger. Når Rambøll nevnes i oppgaven, menes bygg og designavdelingen dersom ikke annet nevnes.

Opgaven er skrevet ut fra en tanke om at de eksplorative kapitlene skal legge grunnlaget og gi den nødvendige bakgrunnsinformasjonen for den videre drøftingen som følger. Grunnlaget som beskrives bygger derfor på forskningsspørsmålet. For å skaffe meg empiri har jeg benyttet meg av kvalitativ metode hvor strategisk utvalgte personer har blitt intervjuet med hensyn på forskerspørsmålet. En presentasjon og analyse av disse dataene kommer først i kapittel 7, ”Erfaringer fra Nasjonalmuseet og Rambøll”.

1.5 Oppgavedisposisjon

Opgaven er delt opp i 8 kapitler. Kapittel 2 omhandler metoden som er benyttet. Her beskrives alternativene som var mulige, samt en redegjørelse, med fordeler og ulemper om hvorfor kvalitativ metode ble valgt. Hvordan innhentingen av empirien og annen informasjon har foregått beskrives også.

Kapittel 3, 4 og 5 er eksplorative kapitler som utforsker henholdsvis BIM, prosjekteringsfasen og lean med hensyn på forskerspørsmålet. De eksplorative kapitlene er ment å legge forholdene til rette for drøftingen av forskerspørsmålet.

Kapittel 6 drøfter koblingen av BIM og lean med vekt på prosjekteringsfasen. Dette kapittelet drøftes ut ifra informasjonen som er gitt fra kapittel 3, 4 og 5.

Kapittel 7 omhandler empirisk analyse og drøfting av den innsamlede dataen med hensyn på forskerspørsmålet. Her diskuteres og drøftes empirien som er innhentet ved hjelp av den kvalitative metoden, samtidig som den kobles opp mot drøftingen i kapittel 6 for å se eventuelle sammenhenger.

Kapittel 8 konkluderer med svar på forskerspørsmålet i oppgaven. Deretter følger et etterord hvor jeg har nevner andre som kan ha nytteverdi av oppgaven, er selvkritisk og ser hva jeg kunne gjort annerledes, og jeg ser på validitet og reliabilitet ved noen av kildene.

Så følger litteraturhenvisninger, tabelloversikt, figuroversikt og vedlegg.

2 METODEBESKRIVELSE

I dette kapitlet vil jeg beskrive metoden jeg har benyttet under skrivingen av oppgaven for innhenting av informasjon og data. Denne metoden vil diskuteres ved å trekke frem sterke og svake sider, veie disse opp mot hverandre, og begrunne hvorfor valgt metode er brukt under innsamlingen. Kapitlet viser også hvilke informanter som er plukket ut. Videre vil jeg diskutere oppgavens sin gyldighet og pålitelighet, altså validitet og reliabilitet. Til slutt har jeg valgt å forklare hvordan jeg har tatt hensyn til etikk underveis.

Tema for oppgaven kom frem gjennom et møte med Rambøll og samtale med veileder fra Universitetet i Agder. Sammen ble vi enige om temaene BIM og lean innen prosjekteringsfasen i byggebransjen. På grunn av temaets bredde og omfang ble jeg nødt til å begrense oppgaven, og velge hva jeg ville konsentrere meg om. Dette ble gjort ved at jeg tidlig satt opp tre foreløpige forskerspørsmål som jeg arbeidet ut ifra.

Etter valg av tema ble mye av tiden viet til å gjennomgå teori og forstå hva oppgaven faktisk skulle dreie seg om. Siden både BIM og lean var relativt nytt for meg, ble de første ukene satt av slik at jeg fikk muligheten til å lese meg opp om emnene. Her har jeg benyttet bøker, blader, artikler, presentasjoner og rapporter for å innhente den nødvendige informasjonen. Under denne fasen økte kunnskapen og forståelsen, hvilket førte til at forskerspørsmålene ble spesifisert i samarbeid med veileder. Etter hvert ble det klart at to av spørsmålene gikk inn i hverandre, samt at det siste kunne sees på som et bispørsmål. Av den grunn reduserte jeg i samråd med veileder antall ble forskerspørsmål til ett.

Under arbeidet fulgte en *kvalitativ* datainnsamling hvor 8 informanter ble valgt ut og intervjuet. Disse beskrives nærmere senere i kapitlet.

Deretter fulgte en drøftingsfase. I kapittel 6 drøftes de eksplorative kapitlene, mens i kapittel 7 analyseres og drøftes empirien fra datainnsamlingen. I sistnevnte kapittel ser jeg også nærmere på hvordan empirien stemmer overens med den eksplorative drøftingen. Fremgangsmåten er vist i figur 1.



Figur 1: Arbeidsmetode under oppgaveskrivingen (Isaksen (Forelesning - Bruk av teori - 04.01.11), 2011)

For å kunne gi et godt svar på forskerspørsmålet er en nødt til å inneha både riktig kunnskap og empirisk data. Empiri er definert som ”kunnskap el. dyktighet som er bygd på erfaring; erfaringslære (UiO, 2008). Måten denne empirien skaffes på, og videre analyseres, kalles metode. En kan skille mellom kvantitativ (ekstensiv) og kvalitativ (intensiv) metode. På grunn av oppgavens forskerspørsmål, case og temaer har funnet det hensiktsmessig å utføre oppgaven i tråd med kvalitativ metode.

Grovt sett kan en altså generelt skille mellom en kvantitativ metode hvor en får lite dybdeinformasjon på et bredt område, og en kvalitativ metode hvor en får dyp spesifikk informasjon innen et begrenset område.

2.1.1 Kvalitativ metode – Sterke vs. svake sider – Hvorfor er denne metoden valgt

Ved *kvantitativ metode* skaffer en seg en oversikt over et tema. Dette gjøres vanligvis ved å utføre spørreundersøkelser og utarbeide eller innhente statistikk, som kan presenteres som figurer eller tabeller knyttet opp mot tall. På denne måten kan en se tendenser og mønstre i en representativ del av populasjonen, slik at informasjonen kan generaliseres til å gjelde en større andel av populasjonen. Denne metoden egner seg hvor lite dybdeinformasjon behøves, og en vil få et helhetsbilde slik at situasjonen kan forklares.

Ved *kvalitativ metode* skaffer en seg dybdeinformasjon om et tema innenfor et avgrenset område. Dette gjøres ofte gjennom intervjuer, men også ved observasjon. Resultatene analyseres ved å tolke svarene som er gitt under intervjuene, samt det som er hørt og sett gjennom observasjon. Størsteparten av den innsamlede dataen er ikke-tallfestbar, men kan allikevel overføres i noen sammenhenger til andre nærliggende temaer.

En av grunnene til at kvalitativ metode ble valgt er nettopp fordi metoden kan egne seg når en har liten forkunnskap om emnet, mens den kvantitative metoden egner seg når forkunnskapen er stor. Temaet en ser på er også begrenset, og går nært inn på sakens kjerne. Ulempen kan da være at en ikke får med de faktorene rundt, som kan være med på å forklare sammenhenger.

En annen sterk side ved kvalitativ metode er at intervjuene foregår ansikt til ansikt, noe som gjør at man har muligheten til å diskutere et spørsmål under intervjuet dersom noe er uklart. En kan dermed gå dypere inn på hvert spørsmål og stille oppfølgingsspørsmål, som kan bidra til å øke forståelsen. En ulempe som jeg erfarte under disse intervjuene var at det var vanskelig å holde seg til tiden, og intervjuene foregikk derfor lenger enn de skulle. En konsekvens av dette ble dermed at de siste spørsmålene ikke fikk like gode svar som de første spørsmålene.

En annen fordel ved kvalitativ metode er at få personer trekker seg fra et intervju. Dermed kan en oppnå en høy andel svar fra ønskede personer.

En ulempe ved metoden er at svarene svært sjeldent kan generaliseres, men de kan overføres. Dessuten kan det ta lang tid å behandle informasjonen som er samlet inn. Både det å gruppere informasjonen og plukke ut den essensielle dataen kan være tidkrevende. Samtidig er metoden fleksibel, og dataen kan behandles underveis mellom hvert av intervjuene. Man trenger med andre ord ikke å skille klart mellom fasene, men de kan gå inn i hverandre. Dermed kan behandlingen av dataen starte tidligere, og en behøver ikke å vente til all data er innhentet. Det betyr også at spørsmålene mellom hvert av intervjuene kan endre seg fordi oppfatningen og forståelsen kan endre seg.

Å tolke svarene på en riktig måte kan også sees på som en utfordring. Siden en mottar myke data, kan disse være vanskeligere å tolke enn harde data. Myke data må bearbeides nøyaktig slik som det ble sagt for å unngå misforståelser. En måte jeg løste dette på var ved å benytte båndopptager slik at jeg kunne spille gjennom intervjuene dersom jeg usikker på noe. Men under observasjon kan det være vanskeligere å få med seg alt. Ved å benytte videoopptaker kunne jeg sikret meg et bedre bilde av hvordan informantene reagerte med hensyn på ansiktsuttrykk, og andre ting som ikke kommer med på båndopptakeren. Dessuten kan førsteinntrykket og innstillinger endres om en får se opptaket igjen senere.

En annen utfordring ved den kvalitative metoden er intervjueffekten en kan ha over en informant. Dette betyr at den som utfører intervjuet kan påvirke de svarene som blir gitt. Når en sitter ansikt til ansikt kan flere ha problemer med å være helt ærlig, og i stedet endre svarene fordi de vet at andre skal lese hva de har sagt. Ofte kan det være lettere å svare hva andre vil høre, og ikke hva de faktisk mener. Oppførsel og holdninger kan også endre seg under observasjon, dersom en vet at andre observerer en.

Jeg forsøkte også å unngå en spørsmåls-effekt, ved unngå å stille ledende spørsmål. Dessuten var kontekst-effekten en feilkilde som kunne påvirke informantene. Dette vil si at informantene kan svare annerledes grunnet svar på tidligere spørsmål. Før intervjuene satte jeg derfor opp spørsmålene i en bestemt rekkefølge, men under et intervju kan det være vanskelig å forholde seg til rekkefølgen hele tiden. Av denne grunn kan det ha vært en liten kontekst-effekt under intervjuene.

En annen sterk side ved metoden er at når en går i dybden på et emne kan en se sammenhengen mellom de ulike årsakene, altså årsakssammenheng.

2.1.2 Hvordan datainnsamlingen har foregått ved kvalitativ metode

Empirien er hovedsakelig hentet fra intervjuer, men noe også fra observasjoner. Empirien er innhentet både på Rambøll sitt kontor i Bergen og Oslo, samt Statsbygg i Oslo. Informantene til hvert intervju er strategisk utvalgt etter kunnskap, erfaring, rolle og bruk av BIM og lean.

Intervjuene var delvis strukturert, og jeg hadde på forhånd laget en intervjuguide (se vedlegg) som viste hovedtemaene som vi skulle prate om under intervjuet. I tillegg hadde jeg satt opp flere innledningsspørsmål under hvert emne slik at det ble dekket. Før hvert intervju fikk også informantene tilsendt intervjuguiden slik at han/henne kunne være best mulig forberedt. På denne måten mener jeg at svarene som ble gitt også bar preg av å være reflekterte siden personen fikk tid til å tenke over emnene og innledningsspørsmålene. Før intervjuene startet opplyste jeg hver enkelt om at personen ville få muligheten til å lese gjennom intervjuet slik at eventuelle misforståelser ble rettet opp før oppgaven skulle leveres inn. Dette bidro sannsynligvis også til å øke trykksfølelsen hos informantene. I tillegg prøvde jeg å forholde meg så objektivt som mulig under intervjuene for å unngå en intervju-effekt.

Intervjuene ble spilt inn på bånd, og jeg tok derfor kun få notater underveis. Jeg kunne dermed fokusere på å la dialogen flyte, og unngikk unødvendige skrivepauser.

Noe av empirien ble også innsamlet gjennom observasjon. Dette var typisk gjennom uformelle samtaler rundt lunsjbordet eller i gangene hvor jeg både var aktiv og inaktiv. Dessuten fikk jeg delta på BIM-møte hvor det var snakk om å danne et eget BIM-råd på avdelingen "Prosjektutvikling" hos Rambøll i Bergen.

Ved å være med slik at jeg fikk oppleve praktisk bruk av BIM og lean, økte forståelsen min, som videre bidro til at jeg kom frem til bedre spørsmål.

2.1.3 Informanter og bakgrunn for valg av dem:

Totalt ble 8 informanter formelt intervjuet, men samtidig ble informasjon og data samlet inn gjennom et langt større antall personer gjennom uformelle samtaler og informasjon. Informantene som ble valgt ut, ble plukket ut grunnet deres roller, erfaring og gode kunnskap. Alle informantene hadde varierte roller, men de arbeidet alle innenfor de samme temaene. Disse 8 personene er:

- *Mark Ratcliff:* Har nøkkelkompetanse på BIM, og har brukt BIM fullt ut på tre prosjekter. Bruker også BIM i varierende grad på flere prosjekter. Sivilingeniør innen byggeteknikk hos Rambøll i Bergen.
- *Hans-Kristian Jacobsen:* Har brukt BIM på et prosjekt hvor han var prosjekteringsleder. Seksjonsleder for avdelingen prosjekt- og byggeledelse hos Rambøll i Bergen.
- *Rune Tomren:* Han er mye involvert i BIM, og brukes som BIM-koordinator på prosjekter. Er tilgjengelig som BIM-koordinator på Nasjonalmuseet. Seksjonsleder for tekniske systemer hos Rambøll Bergen. Sitter i Rambøll sitt BIM-råd.

- *Ole Kristian Kvarsvik*: Senioringeniør hos Statsbygg i Oslo. Er med som BIM-koordinator på Nasjonalmuseet.
- *Karl Kristian Olsson*: Er med som BIM-koordinator på Nasjonalmuseet fra Statsbygg i Oslo.
- *Elisabeth Heier*: DAK-operatør hos Rambøll i Oslo, og arbeider daglig med BIM. Er BIM-ansvarlig på Nasjonalmuseet. Sitter i Rambøll sitt BIM-råd.
- *Harald Onarheim*: Er BIM-koordinator for arkitektene Kleihues + Schuwerk på Nasjonalmuseet. Arbeider for BIM Consult.
- *John Matland*: Avdelingsleder for arkitekter hos Rambøll i Bergen. Han er markedsansvarlig i Rambøll sitt BIM-råd, og er leder for komiteen som skal utvikle en Norsk Standard for IFD, altså objektbiblioteket innen BIM.

2.1.4 Analyse

Da jeg analyserte datainnsamlingen valgte jeg å arbeide ut ifra en måte som kalles “Meningsanalyse” (Larsen, 2008). Denne analysen går ut på å finne forskjeller og likheter ved å sammenlikne svarene fra de ulike informantene. På denne måten kan en også finne sammenhenger og mønstre som kan kobles opp mot eksisterende teori, slik at denne teorien kan styrkes og presiseres nærmere. I analysen fragmenterer jeg noe av dataen slik at den kan brukes i en delanalyse. Her skiller jeg mellom ulike temaer for å se nærmere på dem, eksempelvis ved at jeg noen steder skiller mellom BIM og lean i intervjuene. Dataen kan sorteres på mange måter, og jeg har senere valgt å klassifisere dataen etter emne og forskerspørsmål. Jeg har samtidig også brukt helhetsanalyse. Det vil si at jeg også har sett på områder hvor en kan se sammenhenger mellom BIM og lean.

Sagt i korte trekk har jeg altså valgt å plukke ut de sitatene og dataen som passer inn i et utvalgt tema som er tilpasset forskerspørsmålene. Denne empirien brukes senere under diskusjonen i kapittelet “Empirisk analyse og drøfting”.

2.1.5 Reliabilitet ved data og metode

Reliabilitet kan defineres som ”pålitelighet, i hvilken grad man får samme resultater når en måling eller undersøkelse gjentas under identiske forhold” (Braut & Stoltenberg, Store Norske Leksikon). Høy reliabilitet vil si at andre personer som utfører intervjuene under de samme forholdene som jeg hadde, skal få de samme svarene som meg.

Under alle intervjuene ble det brukt båndopptaker, med unntak av et intervju. Lydbåndet er med på å øke reliabiliteten fordi en har muligheten til å spille av intervjuet flere ganger dersom man har behov for det. Dette var noe jeg benyttet meg av da jeg blant annet plukket ut sitater til oppgaven. Ved det ene intervjuet hvor jeg ikke benyttet båndopptaker, tok jeg gode notater slik at jeg fikk med meg de mest essensielle meningene og sitatene. Utfordringen ved kvalitativ metode er å tolke svarene slik som de er ment. Forskere kan tolke de samme svarene på ulik måte, og derfor er det viktig å være nøyaktig og presis under hele denne fasen. Både spørsmål og svar må være definert på en god måte slik at både informanten og intervjueren vurderer dem på samme måte. For å øke reliabiliteten lot jeg derfor hver av informantene lese igjennom deres svar slik jeg hadde tolket dem. På denne måten fikk jeg en kvalitetskontroll av teksten, slik at dersom det hadde vært noen misforståelser eller feil ville disse bli rettet opp. I tillegg definerte jeg BIM for en av informantene for å unngå ulik vurdering. Det samme ble gjort med lean blant flere av informantene.

Dersom svarene ikke hadde blitt publisert, er det alltid en mulighet for at noen hadde gitt andre svar. Det er også mulig at de ble påvirket av båndopptakeren. Samtidig virket det som alle informantene mente det de sa, og med tanke på at de ikke ville endre noe av det de hadde sagt tyder det på at de var ærlige.

2.1.6 Validitet ved data og metode

En definisjon på validitet er ”gyldighet; i hvilken grad man ut fra resultatene av et forsøk eller en studie kan trekke gyldige slutninger om det man har satt seg som formål å undersøke” (Braut, Store Norske Leksikon). Høy validitet vil derfor si at en har samlet inn data som er vesentlig for rapporten, og kan i stor grad benyttes til å svare på forskerspørsmålene. Det må altså være samsvar mellom spørsmål som diskuteres i intervjuene, og innholdet i rapporten.

Ved kvalitativ metode kan ofte validiteten være høyere enn ved kvantitativ metode, fordi den kvalitative metoden er mer fleksibel. Underveis i empiriinnsamlingen har man en dialog mellom informanten og intervjueren. Dermed kan en rydde unna eventuelle misforståelser og uklårheter, en kan diskutere hva en mener, og en kan endre spørsmålene underveis.

Validitet kan dekomponeres i åtte grupper, men de tre vanligste er begrepsvaliditet, indre validitet og ytre validitet. Begrepsvaliditet er den vanligste validitetsformen, og kan måles som om det en prøver å finne ut av, virkelig er det en behøver å finne ut. Begrepsvaliditeten er høy dersom det en virkelig måler samsvarer med det som faktisk skal måles (Sander, 2004).

Ytre validitet kan beskrives som resultatene fra en studie, slik som denne oppgaven er, kan generaliseres til å gjelde for flere scenarier. En av svakhetene ved kvalitativ metode er at resultatene svært sjeldent kan generaliseres til en større andel, slik som en kan gjøre ved kvantitative metoder. Den ytre validiteten kunne derimot blitt styrket om flere informanter hadde blitt intervjuet, eller flere studier hadde blitt gjennomført. Indre validitet kan forklares som i hvilken grad tolkning og analyse av data i en bestemt situasjon kan etterprøves av en annen forsker, og oppnå samme resultat. For å kunne oppnå høy indre validitet bør en ha oversikt over eventuelle eksterne faktorer som kan ha noe å si, slik at en kan se hvilken årsak som har påvirkning på resultatet. Slike eksterne faktorer bør ha så liten påvirkning på resultatet som mulig.

2.1.7 Etikk

Før jeg begynte å skrive oppgaven var jeg klar over at det kunne oppstå etiske dilemmaer underveis. Dette kunne blant annet være hensyn jeg måtte ta både under datainnsamlingen og formidlingen av resultatene. Dette kunne være dilemmaer som ”Føler informantene at de må stille opp, eller gjør de det fordi de har lyst?” og ”Bør jeg nevne at jeg observerer med hensyn på oppgaven, eller skal jeg skjule det?”.

For å unngå disse etiske dilemmaene, forklarte jeg alle informantene hva oppgaven min gikk ut på, og hvorfor jeg valgte å intervju den aktuelle personen. Alle informantene fikk også muligheten til å være anonyme dersom de ønsket dette. Imidlertid valgte alle informantene å fremstå med fullt navn. I tillegg oversendte jeg den delen av oppgaven som omhandlet intervjuet med den aktuelle informanten slik at empirien jeg samlet inn kunne kvalitetssikres mot misforståelser og mistolkning av feilene.

3 MODELLERING AV BYGNINGSINFORMASJON - BIM

Formålet med dette eksplorative kapittelet er å trekke frem vesentlige egenskaper ved BIM som er viktig for å kunne relatere BIM til lean og prosjekteringsledelse.

3.1 Hva er BIM?

Ordet *BIM* står for Building Information Model, som på norsk kan oversettes til *Bygnings Informasjons Modell* og *Bygnings Informasjons Modellering*. Dette vil si at BIM ikke bare er et produkt, men også en prosess for å komme frem til produktet. I ordet BIM er bokstaven I svært essensiell. I står for Informasjon, og er den viktigste ingrediensen i modellen. Denne informasjonen kan angi alle objektets egenskaper (varmemotstandsverdi, brannklasse, farge, geometri), relasjoner (alle tilstøtende elementer), analyser (akustikk, miljø, energi), samt annen essensiell informasjon som pris, leverandør og om objektene passer sammen (kollisjonskontroll). Ved alle objektene i et bygg skal det være mulig å hente ut all nødvendig informasjon om hvert enkelt objekt. BIM-modellen kan vise bygget som en 3D-modell, men skiller seg fra andre 3D-modeller fordi hvert enkelt objekt inneholder informasjon. BIM-modellen kan av denne grunn sies å være intelligent. Objektet kan i denne forstand både være enkeltstående objekter som en sponplate, og objekter som binder flere enkeltstående objekter sammen som en vegg.

En definisjon på BIM fra McGraw-Hill Construction (2010) er *“A BIM is a digital representation of physical and functional characteristics of a facility. As such, it serves as a shared resource for information about a facility and forms a reliable basis for decisions during its lifecycle from inception onward. BIM also refers broadly to the creation and use of digital models and related collaborative processes between companies to leverage the value of the models”* (McGraw-Hill Construction, 2010:46).

Teknisk Ukeblad (15. jan., 2009) har følgende forklaring på hva BIM er: *“BIM er en 3D tegningsmodell på en felles server som også inneholder informasjon og koding for et byggeprosjekt: produktinformasjon, U-verdier, brannklassifikasjon, osv. Forskjellige aktører kan hente den informasjonen de har behov for. I åpen BIM benyttes den åpne standarden IFC, som administreres av buildingSMART International (tidligere IAI). buildingSMART-standardene er ISO-standarder og dokumentert på Express data definition language, som også er utviklet som en ISO-standard. En forutsetning for å bruke BIM effektivt og med stor nytte er at programleverandørene ikke benytter seg av proprietære standarder, derfor IFC”* (Seehusen, 2009).

BIM kan bidra til at bygg overleveres med høyere kvalitet enn tidligere, lavere bygge- og driftskostnader og redusert tidsbruk. BIM har den egenskapen at samkjørte modeller kan analyseres digitalt, noe som gjør at store mengder data kan beregnes raskt, og legge grunnlaget for det videre arbeidet. Dette kan for eksempel være informasjon om estimert energibruk, driftskostnader, akustikk og materialbruk under byggingen. BIM-modellen kan også utføre kollisjonskontroller (clash detection) for å unngå unødvendige kollisjoner mellom objekter, og sikre at tegninger stemmer overens, slik at en slipper å utføre rework. Dette fører til en langt mer effektiv arbeidsprosess, og kan på mange områder spare mye tid. Dersom beregningene utføres for hånd vil de ta langt mer tid, og faren for vil også være tilstede. Denne digitale informasjonen fører også til at ulike modeller kan testes opp mot hverandre tidlig i prosessen, for å finne den optimale løsningen kunden etterspør. Grunnen til at slike analyser er mulige er nettopp fordi man kan legge informasjon i modellen. Denne prosessen hvor en veier ulike alternativer opp mot hverandre, er beskrevet nærmere under *“Integrated Design and Delivery”* i kapittel 5.

En doktorgradsavhandling om BIM av Moum avdekket at å kun se på BIM som er verktøy med tekniske standarder, ikke er tilstrekkelig for å gjennomføre et vellykket prosjekt. I avhandlingen pekes det på at en under et BIM-prosjekt også må ta hensyn til faktorer som motivasjon, softwareprogrammer, kommunikasjon, kunnskap og erfaring. Hun mener at ved å inkludere flest mulig i BIM-modellen fra start av, kan sannsynligheten for å lykkes øke (Seehusen, 2009). I en rapport av Ballard, Mossman & Pasquire (2010:2) trekkes sitatet *“BIM is about 10 % technology and 90 % sociology”* frem. I rapporten påpekes det at 90 % av arbeidet som er gjort rundt BIM til nå er rettet mot teknologien, og svært lite mot det sosiale.

Mortenson Construction, var blant de første bedriftene til å ta i bruk BIM, og har vært en del av utviklingen. Bedriften har satt opp følgende seks karakteristikk for at en modell skal kunne defineres som en BIM-modell. Disse er (Eastman, Liston, Sacks, & Teicholz, 2008:13):

1. Digital
2. Romforståelse (Tredimensjonal)
3. Målbar (Kvantitative svar som kan vises i flere dimensjoner)
4. Omfattende (må kunne fange opp og kommunisere sider som design, byggteknikk, tid, metoder, virkemidler, økonomi og muligheter)
5. Tilgjengelig (Alle involverte må ha muligheten til å se informasjonen som skal deles med et brukergrensesnitt som enkelt kan forstås)
6. Holdbar (Modellen må kunne brukes i alle prosjektfasene)

Ved å benytte seg av informasjonsteknologi under hele prosjektfasen vil en kunne utføre prosjektene på en mer effektiv og kostnadsbesparende måte. Hele 30 % av et prosjekts totale kostnader går i gjennomsnitt med til å rette opp feil og mangler (buildingSMART Norge, 2010). Dersom en klarer å implementere relevant informasjonsteknologi som BIM, vil en kunne oppnå store besparelser på dette feltet. Regjeringen uttalte i Stortingsmelding nr. 7 ”Et nyskapende og bærekraftig Norge” at BIM er et verktøy som den norske stat skal satse på, og jobbe videre med fremover. Bl.a. har de uttalt at ”Prosjektene skal bidra til økt effektivisering og kostnadsreduksjon, økt bruk av standardiserte IKT-baserte verktøy og bedre og mer miljøvennlige bygg” (Det Kongelige Nærings- og Handelsdepartementet, 2008-2009:20).

3.2 Bruken av BIM frem til i dag

Tanken om et system hvor alle informasjonsendringer automatisk ble oppdatert i det øyeblikket de ble godkjent, og alle tegninger og elementer er linket sammen, ble utviklet allerede på 1970-tallet av Eastman. I 1973 ble enkle 3D-modelleringsprogram utviklet til PC-bruk, og i 1975 publiserte Eastman sin ide om hva disse modelleringsprogrammene kunne brukes til i fremtiden.. Konseptet hans som i dag regnes for å være grunnlaget for BIM, gikk under navnet ”Design Description System” (Tjell, 2010). Dette konseptet hadde en bit av lean filosofi i seg ved at noe av meningen var å kunne redusere sløsing av ressursene, ved å forbedre arbeidsprosessene.

Mange ser på BIM som et paradigmeskifte innen byggebransjen. De mener at ved å utnytte mulighetene som ligger i BIM vil måten prosjekter planlegges og utføres på endre seg radikalt. Dette krever motiverte brukere som er villige til å endre arbeidsmetoden sin. Både Moum og Eastman er enige om at BIM ikke er et teknisk verktøy som kan tas frem en gang iblant og forvente suksess. De mener at for å lykkes med

BIM må hele teamet ha motivasjon og vilje til kontinuerlig bruk av BIM i prosjektet, i tillegg til at det må være fokus på kommunikasjonsprosessen.

Globalt sett er Norge blant de ledende landene når det kommer til bruk og utvikling av BIM, men andre land ligger også langt fremme som Finland, Danmark, Tyskland, USA, Singapore og Storbritannia. Bl.a. har Singapore tatt i bruk IFC-filer under arbeidet med å godkjenne byggesøknader. Saksbehandlerne kjører BIM-modellen opp mot gjeldene krav og regelverk, og får dermed frem alle avvik i modellen. Disse avvikene må så søkerne gjøre rede for. Et slikt system er også under utarbeidelse i Norge (Statsbygg, BIM-manual 1.1, 2009).

Bruken av BIM her til lands er stadig økende blant bedriftene. Både Statsbygg og Forsvarsbygg krever BIM i sine nye prosjekter. Statsbygg har implementert BIM gjennom en ordning kalt "1-5-15-Alle". Ordningen gikk ut på å gjennomføre ett prøveprosjekt (Høgskolen i Tromsø) hvor BIM ble benyttet. Deretter ble kunnskapen og erfaringen utvidet gjennom fem pilotprosjekter. Deretter fulgte så en gradvis oppskalering av BIM gjennom 15 nye prosjekter. Fra og med 2010 har Statsbygg som byggherre benyttet BIM på alle nye prosjekter over en viss størrelse. Statsbygg har også brukt BIM på mindre prosjekter, uten å oppnå noen ekstra fortjeneste. Dette har de visst på forhånd, men de har valgt å gjennomføre prosjektene vha. BIM pga. læringseffekten. Dette har ført til mer effektiv bruk av BIM på større prosjekter, hvor fortjenesten har vært høyere. Når aktører av en slik størrelse som Statsbygg og Forsvarsbygg går inn og krever bruk av BIM, fører det også til at flere velger å fokusere på BIM. Fremover er det også ventet at antall byggherrer som krever BIM skal øke.

3.3 Bidrar BIM til å skape merverdi?

En undersøkelse utført av McGraw-Hill Construction (2009) om verdien av BIM i Nord-Amerika har kommet frem til at 48 % av de spurte innen byggebransjen benytter seg av BIM, og trenden viser at antall brukere fortsetter å øke. Av disse oppgir 2 av 3 at de har opplevd positiv avkastning som følge av BIM, og 93 % av brukerne tror at BIM vil bidra til økt avkastning i fremtiden. Rapporten viser at den reelle avkastningen er høyere enn forventet. Det er også verdt å merke seg at kun 3 % av de spurte mener at BIM ikke vil ha noen innvirkning på prosjekter 5 år frem i tid. De områdene innen BIM som er viktigst og bidrar mest til å øke avkastningen er ifølge rapporten forbedret tverrfaglig kommunikasjon og forståelse mellom de involverte grunnet den tredimensjonale visualiseringen, bedre prosjektprosesser og høyere produktivitet hos brukerne

En annen rapport fra McGraw-Hill Construction (2010) ser på verdien av BIM i Storbritannia, Tyskland og Frankrike. Her kommer det frem at BIM brukes av 36% i byggebransjen hos de spurte. Hovedvekten av brukerne er arkitekter, men en stor del er også ingeniører med en brukerfordeling på henholdsvis 47 % og 38 %. En forskjell som rapporten peker på er at de europeiske brukerne er mer erfarne på BIM-området, men at andelen brukere er større hos amerikanerne. 45 % av de spurte ser på seg selv som videregående brukere eller eksperter i Europa. En grunn til dette kan være at 34 % av de som har brukt BIM i de europeiske landene, har gjort det i over 5 år. Til sammenlikning har 18 % av de amerikanske brukerne brukt BIM i over 5 år (McGraw-Hill Construction, 2010).

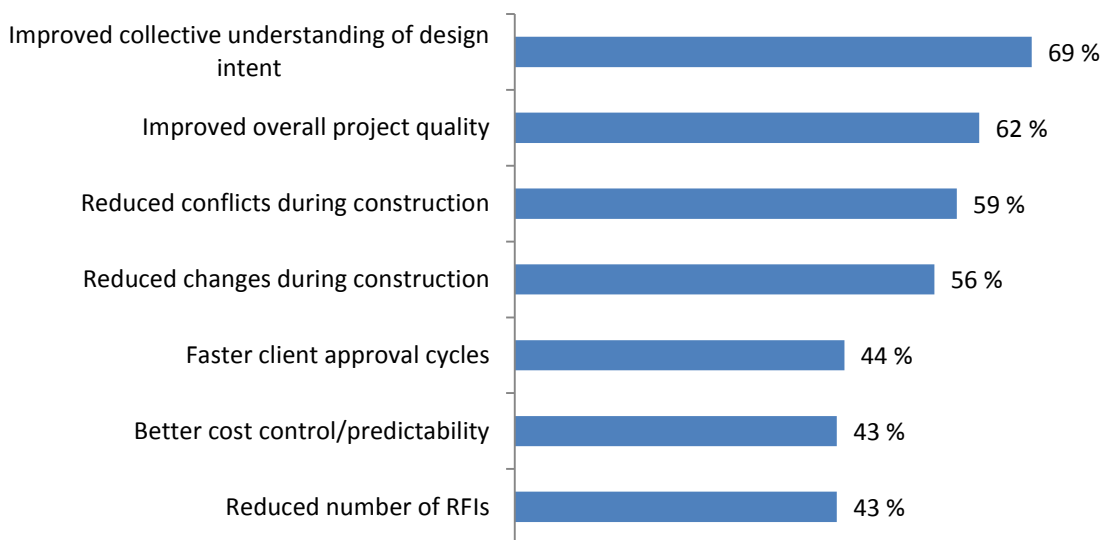
I den europeiske rapporten kan det også leses at 74 % av BIM-brukerne mener å ha oppnådd positiv avkastning på satsingen på BIM. Som i Nord-Amerika oppnår også europeerne høyere reell avkastning enn forventet. Fordelene av BIM som bidrar til mest verdi vises i tabell 1. Som en kan se er det forbedret kollektiv forståelse (69%), bedre kvalitet på prosjektet (62%), færre konflikter under bygging (59%) og færre endringer under utførelse (54%) som skaper mest verdi for BIM-brukerne.

Den europeiske rapporten viser også det er de prosjekterende som til nå har opplevd støst avkastning på BIM. 82 % av arkitektene har positiv avkastning, mens 13 % går i null. For de rådgivende ingeniørene var

andelen med positiv avkastning noe lavere med 70 %. Andelen som gikk i null var her 20 %. Dette viser at det kun er en liten minoritet som opplever negativ avkastning. Det kan også nevnes at 29 % av arkitektene opplevde en avkastning på 50 % eller mer, mens 9 % av de rådgivende ingeniørene hadde minimum 50 % avkastning.

Tabell 1: Fordeler ved BIM som bidrar til mest verdi innen Storbritannia, Tyskland og Frankrike (McGraw-Hill Construction, 2010)

BIM Benefits Contributing the Most Value



Amerikanere og europeere deler synet på at BIM er interessant og bidrar til positiv avkastning. Imidlertid mener 27 % av europeerne at de ikke har noen interesse av å benytte seg av BIM, mens 13 % mener det samme i Nord-Amerika. Det kan være flere årsaker til dette, og den europeiske rapporten peker på økonomiske forskjellen i prosjektene. Byggeprosjektene i Nord-Amerika er ofte større, både i størrelse og budsjett, enn i Europa hvor mange av bedriftene er mindre.

Den amerikanske rapporten peker i retning av at BIM bidrar til å skape merverdi i alle prosjektets faser. Rapporten viser til at fasen med å fylle ut nødvendige dokumenter like før byggestart er den som flest mener at får verdi ut av BIM med 55 %. BIM skaper også merverdi for forprosjektet og detaljprosjektet med 54 %, utførelsesfasen med 49 %, fabrikkering med 44 %, og skisseprosjektet med 40 %.

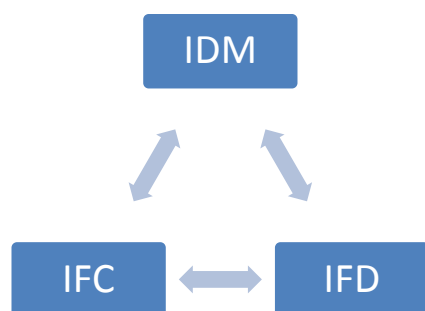
BIM-modellen inneholder informasjon om definerte objekter. Disse objektene kan defineres på egenhånd, eller så kan hente ut forhåndsdefinerte objekter. Eksempelvis vil en stålsøyle som plasseres i modellen inneholde informasjon om profil, stålkvalitet, lengde, pris, farge, brannklasse, tilhørende objekter, osv. Objektene som settes inn vil kunne modifiseres, slik at disse slippes å lages fra bunnen av. Objektene gis både forbindelser og egenskaper. Etter hvert som modellen bygges opp, berikes den med informasjon slik at en vil kunne gå inn på hvert enkelt objekt, og hente ut nødvendig informasjon. Man kan også skrive ut modellen fra ønskelige vinkler, zoomingsgrad, detaljeringsgrad og hvilke fag som skal være med.

En kan som nevnt tidligere se modellen i 3D, og naturligvis i 2D dersom dette skulle være ønskelig. BIM har den egenskapen at også 4D og 5D kan inkluderes gjennom hele byggets levetid. Med 4D legger en inn tidsbegrepet, slik at hele prosessen kan simuleres på forhånd. En har også muligheten til å inkludere 5D, som er kostnadsdimensjonen i modellen. Fra BIM-modellen er det også mulig å hente 0D-informasjon som tabeller over all kvantitativ informasjon slik som for eksempel lengde på søyle B-2, eller kapplengder over taklist "type A3H". Noen hevder også at en kan inkludere en sjettedimensjon i BIM;

6D. Dette er under diskusjon og ikke vedtatt enda. Å bruke 6D vil si at modellen også kan brukes til driftsstyring, og beregning av livsløpskostnader til objektene som inngår. 6D skal også kunne inkludere byggets miljøpåvirkning på omgivelsene rundt i området.

3.4 BIM-TREKANTEN

For å gjennomføre et vellykket BIM-prosjekt, må en anvende elementene IFC, IFD og IDM fra buildingSMART, vist i BIM-trekanten.



Figur 2: BIM-trekanten (SINTEF, 2009)

3.4.1 IFD – International Framework for Dictionaries - Terminologi

IFD-biblioteket styres av IFD Library Group som består av organisasjoner fra Norge, Nederland, Canada og USA. Databasen skal fungere som et bibliotek eller ordbok for BIM-brukere slik at terminologien stemmer overens for BIM-brukerne. En får derfor bedre kunnskap om *hva* som deles. Dette skal forbedre byggenæringen ved at aktørene benytter seg av entydige ord og uttrykk, og dermed unngå feil og misforståelser (IFD Library, 2011).

Norsk byggvaredatabase (NOBB) er en eksisterende database hvor det er mulig for produsenter og leverandører å opprette informasjon om varene deres. I fremtiden vil dette muligens kunne kobles sammen med IFD-biblioteket

3.4.2 IDM – Information Delivery Manual - Prosess

IDM kobler BIM-modellen sammen med prosessene som foregår i et prosjekt. Dette åpner for en mer standardisert prosess enn tidligere. IDM viser prosessen og beskriver hvem som skal gjøre hva til enhver tid under prosessen. Her beskrives *hvilke* data som skal deles, og *når* de skal deles gjennom hele prosjektet. IDM består av tre punkter (Espedokken, 2006):

1) *Process Map*: Her beskrives alle prosesser, inkl. underprosessene, som er relevante i hver enkelt fase slik at arbeidsflyten kommer frem. Her forklares hver fase i prosjektet i tillegg til når hver aktivitet foregår, rekkefølgen, meningen med hver av prosessene, og resultatet som skal oppnås. En metode for å dele opp aktivitetene kan være ved å bruke en metode som kalles "Business Process Modelling Notation" (BPMN). Først fordeles ansvarsområder etter fagområder, hvorpå man beskriver arbeidsoppgavene til hvert fagområde. For å holde orden kan hver aktivitet gis et eget identifikasjonsnummer. Man markerer så mindre milepæler for aktivitetene og større for prosessene. Deretter ser en på rekkefølgen i arbeidet, og hvilke aktiviteter som kan slås sammen eller splittes slik at man oppnår en god flyt. Til slutt spesifiseres hvilken informasjon som skal deles mellom de involverte. Når hver aktivitet er utført kan en kommentere hvordan det gikk for å ta grep slik at en forbedrer seg til neste gang.

2) *Exchange Requirement*: Her beskrives enkeltvis alle krav til informasjon som er nødvendig for å oppnå forventet resultat. Dvs. hvem som trenger hva til hvilken tid som input til hver prosess.

3) *Functional Part*: Dette punktet beskrives informasjon og krav teknisk software. Dette er med på å forklare hva som trengs for at BIM-modellen skal kunne vises optimalt for alle brukere. Et eksempel på dette kan være krav til filformat som leverer informasjon.

3.4.3 IFC – Industry Foundation Classes - Lagringsformat

Dette er et filformat som er åpent for alle aktører, utviklet av buildingSMART, og beskriver *hvordan* informasjonen deles. Dette gjør at hver enkelt aktør kan importere modellen i sitt softwareprogram, så lenge det støtter IFC-formatet. Deretter kan en oppdatert modell eksporteres tilbake i databasen med et IFC-format, slik at de andre aktørene med andre modelleringsprogrammer kan se nærmere på den. Når data overføres følger også elementer som geometriske verdier, farger og lysmengder med modellen. De som legger inn modellene med IFC-format har mulighet til å legge inn modellen som en enkel fagmodell, eller samkjøre den med hver av de andre modellene. Om modellen er samkjørt kan fortsatt bare fagmodellen vises ved at man “slår av lagene” på de andre fagmodellene.

Modellen kan med andre ord utvikles i ulike programmer, men lagres slik at alle andre i prosjektet også kan åpne modellene. Dersom en RIB bruker modelleringsprogrammet Revit Structure, mens arkitekten bruker ArchiCad, kan de fortsatt åpne den andre aktørens modell så lenge den er eksportert til et IFC-format. Slike egenskaper skaper muligheter for flere analyser enn tidligere. Hvert enkelt softwareprogram kan ha sine analysemuligheter, men når en modell fra flere softwareprogrammer kan samkjøres åpner dette for nye muligheter. Det er derfor utviklet flere analyseprogrammer for IFC-formatet.

3.5 buildingSMART – “Bidra til et bærekraftig miljø”

buildingSMART er en fremtidsrettet, ikke-kommersiell og nøytral internasjonal organisasjon som arbeider kontinuerlig for å forbedre byggenæringen. De søker etter å gjøre prosjektene tilgjengelige for alle aktører, samtidig som feil og mangler lettere skal unngås ved hjelp av åpne standardiserte metoder og verktøy som BIM-trekanten. Dette bidrar til å gjøre BIM aktuelt for flere aktører i bransjen.

Som navnet buildingSMART tilsier vil det være smart å forbedre byggenæringen, spesielt av økonomiske årsaker. Av alle prosjektkostnader går nesten 30 % med til å rette opp feil og mangler. Om disse kostnadene reduseres vil byggherren kunne velge mellom billigere eller utvidede prosjekter. Ved å implementere BIM kan en industrialisere byggebransjen på en annen måte enn tidligere. Ved å ha en arbeidsmetode og verktøy som gir presise og nøyaktige estimer, er det større muligheter for bruk av prefabrikasjon i byggeprosessen. BIM gjør det enklere for de involverte å planlegge hva som skal prefabrikeres til et gitt tidspunkt. Denne oversikten av prosessene gjør koordinering av aktiviteter både enklere og sikrere enn før.

Når en oppnår høyere grad av koordinering gjennom et felles samhandlingsverktøy vil kommunikasjonen flyte bedre. Alle involverte aktører vil få nødvendig informasjon tilgjengelig på tvers av fag og kunnskap gjennom det åpne filformatet IFC.

En fordel med de åpne modellene er at nettverk kan bygges, og gode løsninger kan utveksles. Løsningene kan videre diskuteres, som igjen kan gjøre de enda bedre. En ulempe med dette er at mindre seriøse firmaer kan ”stjele” løsninger fra gode firmaer som kan ha brukt lang tid og mye ressurser på å utvikle disse gode løsningene, men samtidig vil kundene nyte godt av dette siden de får gode løsninger, og det er derfor en fordel for dem. Denne åpne informasjonsflyten kan føre til at både kurs og seminarer kan opprettes for å videreutvikle og forbedre BIM-konseptet.

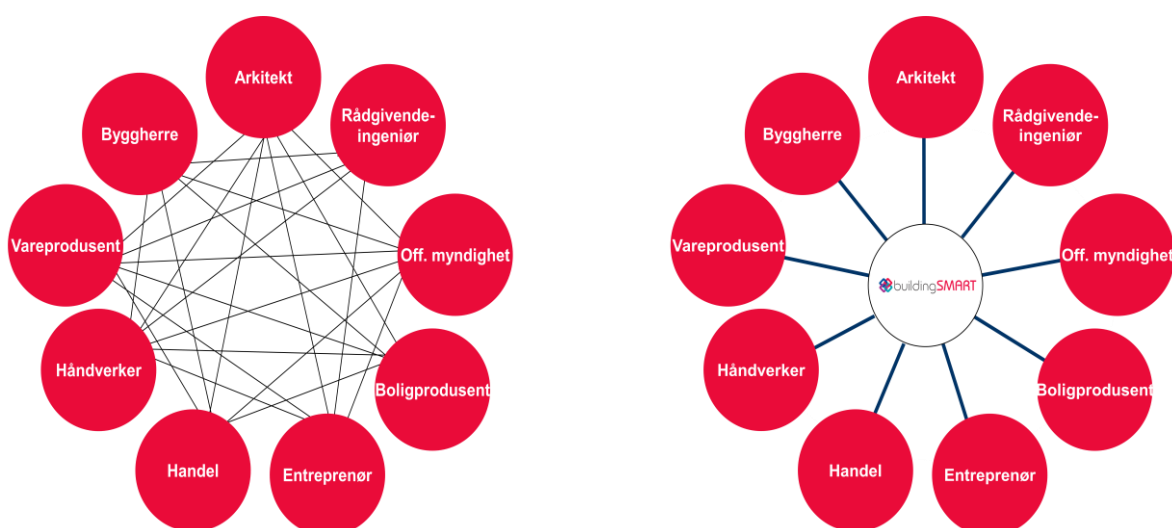
3.5.1 Standardisering av prosessene

buildingSMART vil forsøke å standardisere prosessene i et byggeprosjekt, fra ideen oppstår til bygget rives. Disse prosessene skal kunne bidra til å skape bedre pris, kvalitet, effektivitet og mindre ressursbruk. Under følger en kort forklaring på hva buildingSMART mener med de ulike prosessene i prosjektet.

- *Krav til BIM:* En skal i samarbeid opprette en database hvor en legger inn hvilke krav en har til bygningen og modellen (kalles fellesmodell/samkjørt modell etter at kravene fra ulike fagmodeller er lagt inn). Det kan være informasjon som beliggenhet, form og funksjon. Når fellesmodellen opprettes, vil det automatisk opprettes en unik GUID, eller identitetskode, til hvert enkelt objekt som legges inn. Denne GUID'en kan kobles opp til IFD-biblioteket, og dermed benyttes uten at misforståelser skal oppstå.
- *Prosjektering:*
 - *Forprosjektering:* Her tas det hensyn til de viktigste faktorene, og en ser på flere potensielle muligheter. En utarbeider dokumenter på grunnlag av eksempelvis priser og energibruk. Her velger en ut systemer og prinsipper som skal kunne holde gjennom prosjektet.
 - *Detaljprosjektering:* Her går en dypere inn i prosjektet, og utarbeider mer detaljerte dokumenter. Modellen gjennomgår både kvalitetskontroller av ulike aktører, samt at kollisjonskontroller gjennomføres. Her vil produksjonsgrunnlaget utarbeides.
- *Byggestart:* Ved byggestart detaljpriser en varer og tjenester, utarbeider detaljerte fremdriftsplaner, bestiller varer og tjenester, bruker BIM-modellen aktivt underveis og starter byggearbeidet ved eksempelvis sprenging, graving og støping.
- *FDV:* I denne prosessen samles all informasjon, og legges inn i den åpne modellen. Denne informasjon skal være nyttig i forhold til å forvalte og drifte bygget, samt til vedlikehold. I tillegg holdes modellen åpen slik at den kontinuerlig kan oppdateres.

3.6 Kommunikasjon

I dagens byggeprosjekter går den meste av kommunikasjonen på tvers av hverandre, hvilket gjør at det kan være vanskelig for alle å ha den nødvendige informasjonen og oversikten til enhver tid. Under samtaler kan en glemme å informere om noe viktig, og i noen tilfeller kan aktuelle aktører utelukkes under informasjonsdeling. En slik tradisjonell kommunikasjonsform er vist til venstre i figur 3.



Figur 3: Tradisjonell kommunikasjonsmetode under byggeprosjekter til venstre, og kommunikasjon under BIM-prosjekter til høyre (Hjølseth, 2008)

Kommunikasjons- og koordineringsmodellen som er vist til høyre i figur 3 er tilpasset arbeidsmåten når BIM er involvert i prosjektet. Som modellen viser har hver enkelt aktør muligheten til å gå inn i BIM-modellen, og legge inn eller hente ut den informasjonen som er nødvendig for seg selv og andre. Som en ser av den tradisjonelle kommunikasjonsfiguren kan informasjonsflyten i et prosjekt både være vanskeligere å få tak i og mindre oversiktlig, enn ved kommunikasjonsformen som er vist for et BIM-prosjekt i figur 3.

Om en klarer å implementere BIM på en god måte, samtidig som en også får kommunikasjonen til å fungere på en tilsvarende måte som figur 3 viser, kan prosjektet potensielt høste store gevinster i form av læring, erfaring, kostnadsutt og tidsbesparelse.

Dersom all informasjon legges inn og hentes ut på ett og samme sted til enhver tid, vil alle aktørene vite hvor de skal hente ut informasjonen de behøver. Ved en slik oversikt kan en unngå dobbeltarbeid, og sannsynligheten for feil kan minke. Ifølge buildingSMART skrives hver detalj ned syv ganger i et gjennomsnittlig prosjekt (buildingSMART, 2008). Dette kan unngås når alle vet hvor informasjonen ligger, og en har en plan for hvilken informasjon som skal inn til enhver tid. Dersom en slik plan følges er det mulig å unngå nedskrivningen av detaljen syv ganger, og i stedet kun skrive den ned en gang slik at tiden kan brukes på andre verdiskapende aktiviteter.

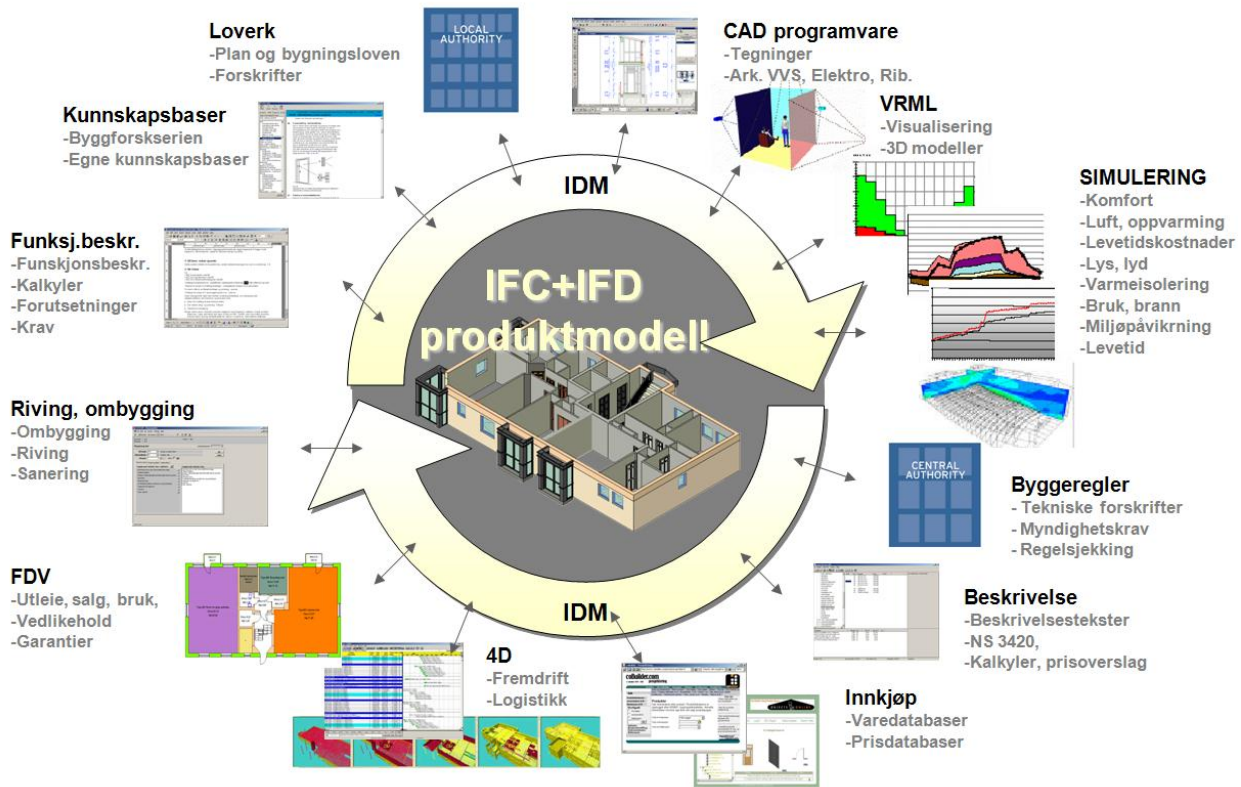
3.7 Hva BIM kan ha innvirkning på i prosjekter

BIM kan ha en innvirkning på de aller fleste områder i et prosjekt, noe som vises i figur 4. Figuren viser at BIM vha. IFC, IFD og IDM kan knyttes til mange ulike temaer som en gjennomgår i løpet av prosjektetiden.

Noen av områdene figuren belyser er funksjonsbeskrivelser, CAD programvare, 4D og FDV. I funksjonsbeskrivelsen kan en gå tidlig inn i prosjektet og beskrive hvilke funksjoner bygget skal ha, kravene som stilles fra byggherre og myndigheter og hvilke forutsetninger som ligger til grunn for prosjektet. Her kan også modellen kontrolleres opp mot plan og bygningsloven og aktuelle forskrifter. I tillegg kan kalkyler utarbeides raskere enn tidligere, noe som gjør at flere alternativer kan veies økonomisk opp mot hverandre i løpet av kortere tid enn før.

CAD programvaren gjør det mulig for de prosjekterende å samarbeide bedre enn tidligere. Ved å kunne utveksle modellinformasjon, kan den tverrfaglige forståelsen øke. Kollisjoner mellom fagene oppdages tidligere enn før, hvilket kan være med på å redusere prosjekteringstiden. Muligheten for 4D gjør at en kan planlegge fremdriften og logistikken gjennom hele prosjektet, som kan gjøre estimatene sikrere og mer detaljerte. Arbeidet med å produsere FDV-dokumentasjon kan effektiviseres siden mye av informasjonen allerede er lagt inn i modellen. Denne modellen skal også kunne brukes av de som drifter bygningen, hvor de kan legge inn sine erfaringer og endringer. Dersom man for eksempel skifter ut et vindu, kan en legge inn denne utskiftningen i modellen, slik at man neste gang vet hvilket firma som skiftet vinduet, når det ble gjort, egenskaper til vindu, spesielle utfordringer ved utskiftningen, osv.

BIM har egenskapen at den kan kobles sammen med GIS som viser geografisk data av ulik for. GIS står for Geographic Information System, og kan hente inn og analysere informasjon om geografi hvor det behøves. GIS kan brukes til presentere BIM-modellen med geografisk informasjon rundt bygget. I GIS-modellen kan man velge ut en "Site" som skal vise det aktuelle området som berøres av prosjektet. Modellen kan da vise egenskaper som topografi, innsjøer/hav, natur og andre eksisterende bygninger rundt tomten. Koblingen mellom BIM og GIS kan være noe utfordrende når data overføres ved at det både brukes lokale og globale koordinater. Lokale koordinater med X, Y og Z koordinater med lokalt nullpunkt brukes i BIM-modellen, men globale koordinater benyttes i GIS.



Figur 4: Hvilken innvirkning BIM kan ha på prosjekter (Hjelseth, 2008)

3.8 Kollisjonskontroll

En av egenskapene til BIM er at en kan simulere kollisjonskontroller – clash detection. Det vil si modellen kontrolleres mot kollisjoner mellom objekter. Et vanlig resultat er en bjelke som kolliderer med en søyle eller ventilasjonskanal. Dette kan både gjøres i et eget dataprogram for hvert fag, og det kan gjøres mellom flere fagretninger. Det betyr at dersom samkjører modellene fra arkitekt, RIB, RIV og RIE kan eksempelvis programmene Naviswork eller Solibri utføre kollisjonskontrollene. Programmene analyserer modellene i løpet av sekunder, og finner eventuelle punkter hvor objektene kolliderer. En kan da gå inn å se nærmere på hver enkelt kollisjon, og se hva som har skjedd. Dette kan spare prosjektet for potensielle kostnader senere i prosjektet.

Det er også mulig å animere dynamiske bevegelser rundt og i bygget, som for eksempel en roterende kran. Denne rotasjonen vil også kunne kollisjonskontrolleres mot resten av bygget. Andre dynamiske bevegelser kan også simuleres og kontrolleres slik som kjørebane for truck og lastebil. En har også muligheter til å legge inn tidssimulering så ikke ulike aktiviteter kolliderer med hverandre.

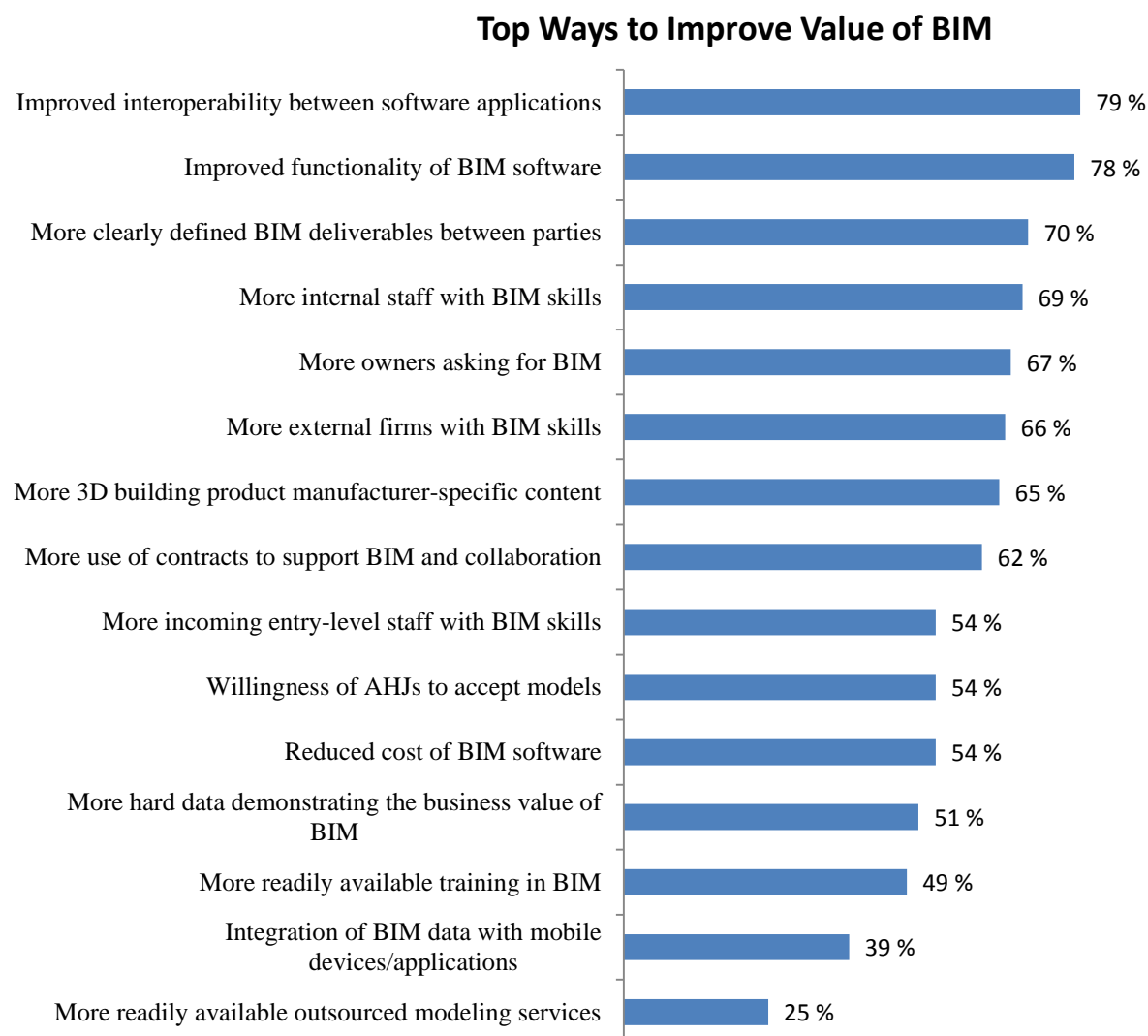
Det er også mulig å kontrollere modellen opp mot kravene fra gjeldende lovverk og standarder, slik som brann, akustikk, lys og ventilasjon. Kollisjonskontrollen kan settes sammen til en rapport som bl.a. sier hvor kollisjonen har oppstått og hvilke objekter som inngår i kollisjonen. Denne rapporten kan sendes ut til de involverte, slik at de sammen kan bli enige om den beste løsningen. Det er også mulig at de involverte legger inn sine kommentarer under hver kollisjon (SandeepHardas, 2008). Jo tidligere modelleringen begynner, jo tidligere kan kollisjonskontrollen kjøres, og jo bedre tid kan de prosjekterende få på å finne bedre løsninger.

3.9 Forbedringspotensial ved BIM

BIM er fortsatt i startgropen, og står ovenfor flere utfordringer som holdninger, vilje og ressurser til å utvikle kompetanse. For å kunne få mer ut av BIM er det flere hindre som må passeres under utviklingen. McGraw-Hill Construction (2009) har i tabell 2 funnet hvilke områder som kan øke verdien av BIM. Områdene med størst potensial er forbedret kompatibilitet mellom ulike softwareprogrammer og deres applikasjoner, og økt funksjonalitet hos softwareprogrammer knyttet til BIM. Når alle applikasjoner og funksjoner ikke følger med i eksporten til IFC-formatet, begrenser det samtidig noen av mulighetene en har ved åpne IFC-formater. Etter hvert som programmer utvikles og tas i bruk, øker etterspørselen for nye funksjoner som følge av nye ideer og behov.

Deretter etterspørres følger klarere og bedre definerte krav om hva som skal leveres mellom de ulike aktørene, mer BIM-kompetanse innad i bedriften, flere byggherrer som etterspør BIM og flere eksterne bedrifter med BIM-kompetanse.

Tabell 2: Områder som kan bidra til økt verdi fra BIM (McGraw-Hill Construction, 2009)



3.10 BIM hos Rambøll – En av Nordens ledende rådgiverbedrifter

Rambøll har uttalt at de vil være bransjeutviklende innenfor BIM. Deres BIM-visjon lyder som følger: *”Rambøll skal inneha høy kompetanse og bli kjent som den ledende rådgiveren innen BIM og buildingSMART i Norge”* (VVS forum, 2010).

Rambøll har blitt medlemmer av organisasjonen buildingSMART, og samarbeider dessuten med Cad-Q og SINTEF om utviklingen av BIM (Byggeindustrien, 2009).

Gjennom samarbeid med andre bedrifter vil utviklingen av BIM gå fortere enn om hver enkelt aktør arbeider alene. Bl.a. har Skanska uttalt at de vil bli verdens ledende entreprenør på BIM, mens Multiconsult vil være ledende for den norske rådgiverbransjen på bruken av BIM. Stadig arrangeres det kurs i regi av bedrifter som vil heve BIM-kompetansen, slik som buildingSMART. Rambøll var også med på å arrangere kurset ”Åpen BIM i praksis”. På slike kurs kan det utveksles erfaringer underveis og senere. Slike kurs kan også fungere som en plass hvor nettverk kan knyttes på tvers av fag og bedrifter.

Figur 5. viser hvilke forutsetninger Rambøll ønsker skal være tilstede for at samhandlingen i BIM-prosjektene skal fungere fullkomment for å oppnå størst mulig effekt. Figuren viser hvilke forutsetninger som skal ligge til grunn for at BIM skal bidra til samarbeid på tvers av fag, avdelinger, regioner og land.

Rambøll har mye arbeid i prosjekteringsfasen, og de har kommet frem til at når BIM vil bli tatt i bruk for fullt, vil arbeidet i denne fasen endres. Dette har flere merket allerede, noe som beskrives nærmere i kapittelet 7. Bl.a. vil softwareprogrammene ta over mye av arbeidsbelastningen som gjør arbeidsprosessene mer effektive. Det ønskes at mye av prosjekteringsarbeidet gjøres tidligere i prosjektet, i samarbeid med flere aktører, slik at flere aktiviteter kan utføres parallelt. En konsekvens av dette er kortere prosjektid. Dersom prosjekteringen er basert på fastpris, vil blant annet kompetansen innen BIM være med på å avgjøre gevinsten i denne fasen.



Figur 5: Samhandling mellom BIM og Rambøll (BIM Rådet Rambøll Norge, 2009)

3.10.1 Rambøll sin strategi og hovedmål ved BIM

Mellom 2010 og 2012 har Rambøll satt seg følgende hovedmål (BIM Rådet Rambøll Norge, 2009):

- 2010 - Konsolidering og utvikling

Rambøll skal ha utviklet prinsipper for hvordan BIM-prosjektene skal gjennomføres. Et kontaktnettverk for BIM i Norge skal være oppe og gå, og de fleste avdelingene skal ha brukt BIM i sine prosjekter. Rambøll skal også i løpet av året ha vunnet flere konkurranser hvor BIM skal benyttes.

- 2011 - Åpen BIM er Rambølls arbeidsmetode

Rambøll skal ha BIM samarbeid med kontorer i andre land og regioner, og hvert kontor skal ha god BIM kompetanse. BIM oppdragene skal også gi fortjeneste.

- 2012 - Være en av de ledende BIM rådgiverne

Rambøll ønsker å dele løsninger og erfaringer internasjonalt, samt vinne store konkurranser hos både de private og offentlige hvor BIM er grunnlaget for prosjektet.

Rambøll har utarbeidet en handlingsplan med en klar strategi for å klare disse utfordringene. Først og fremst skal de etablere den nødvendige kompetansen, som også skal videreutvikles gjennom teori og praksis. Dette kan gjøres gjennom informasjonsdeling som beskrives nedenfor, samt kursing holdt av både interne og eksterne BIM-spesialister. Rambøll skal også ha et tett samarbeid under alle faser med de involverte slik at koordineringen og samhandlingen er effektiv. Dette kan enklere oppnås ved en åpen BIM-løsning hvor en kan ta i bruk filformatet IFC, samt et felles bibliotek så misforståelser unngås. For å få dette til å fungere, er planen at de skal utvikle lokale kompetansemiljøer som alle ansatte får kunnskap om slik at de vet hvor de skal henvende seg dersom det oppstår problemer. Informasjonen kan deles gjennom Rambøll sitt intranett og RambøllWiki. I tillegg kan kunnskapen deles gjennom kurs, konferanser og videosamtaler.

Når slike informasjonskanaler er klare for å dele kunnskap og erfaring, skal Rambøll utvikle egne prosedyrer i prosjektene slik at BIM aktivt brukes gjennom flere av prosessene. Deretter skal Rambøll sikre seg softwareprogrammene som er ideelle til deres bruk. Her skal blant annet kompatibilitet opp mot IFC-formatet og brukergrensesnitt tas hensyn til.

Rambøll skal også samarbeide på tvers av regioner og landegrenser. Dette skal bidra til at Rambøll blir mer samlet som bedrift, og knytter tettere bånd. Særlig mellom Rambøll UK (United Kingdom) og Skandinavia skal det satses på et tett BIM samarbeid.

Et viktig punkt for Rambøll er også å prioritere BIM i prosjektene sine slik at kunnskap og vellykket erfaring kan dokumenteres. På prosjekter som vil fremheves i media eller på annen måte være strategiske å få, kan fortjenestekravene senkes noe (BIM Rådet Rambøll Norge, 2009).

4 PROSJEKTERINGSLEDELSE

Formålet med dette kapitlet er å utforske prosjekteringsfasen, med hensyn på prosjekteringslederen, og hvordan BIM og lean kan spille en rolle i denne fasen. Kapitlet ser nærmere på hva som foregår i prosjekteringsfasen, hvilken funksjon den har, og hvordan fasen skiller seg fra utførelsesfasen. Deretter blir fokuset mer lean-rettet, hvor oppgaven ser nærmere på feil og sløsing under prosjektering. Videre følger et delkapittel om ønsket prosjekteringsprosess vs. tradisjonell prosess. Kapittel avslutter med å se nærmere på produktivitetstapet i byggenæringen i forhold til andre næringer.

Prosjekteringsledelse (design management) kan defineres som ”ledelse av prosessen med å lansere konseptideer og bearbeide den valgte ide til et ferdig, immaterielt produkt” (Meland, 2000:C.18). Prosjekteringsfasen er en tverrfaglig forberedelse til å gjennomføre/produsere et byggeprosjekt. Kunden har klarlagt et mål, som man i prosjekteringsfasen planlegger hvordan en skal nå i løpet av produksjonsprosessen. Prosjekteringen består oftest av flere faser avhengig av valg og detaljering. Her inngår flere store oppgaver som utarbeidelse av skisseprosjekt og detaljprosjekt, hvor det igjen utarbeides tegninger, fremdriftsplaner og bestemmes hvilken entreprisform som skal brukes i prosjektet. Dokumentene som her produseres legger viktige føringer for det videre arbeidet med prosjektet, og har dermed stor innvirkning på det endelige resultatet.

Rapporten Prosjekteringsplanlegging og ledelse (2010) sier at det innen prosjektledelse er to prinsipper som hele tiden bør etterstrebes (Arge, Moe, & Westgaard, 2010:66);

- Fremskaffe nøyaktig, fullt ut koordinert og fullstendig informasjon
- Fremskaffe denne informasjonen til rett tid

Ifølge rapporten går en prosjekteringsleder jobb ut på å ”Sikre at prosjekteringsprosessen er rett organisert og strukturert i forhold til oppgaven som skal løses, og sikre tilstrekkelige integrerende og koordinerende tiltak slik at arbeidet kan gå fremover på en meningsfylt måte” (Arge, Moe, & Westgaard, 2010:66). Prosjekteringslederen koordinerer de prosjekterende fagene. Dette medfører tverrfaglig kontroll og sammenstilling, kvalitetskontroll, samt ha oversikten over fremdrift og økonomi under prosjekteringen. Prosjekteringslederen bør inneha egenskaper som å være beslutningsdyktig, lagspiller, se problemer tidlig, og være løsningsorientert (Arge, Moe, & Westgaard, 2010).

Prosjekteringsfasen er inndelt i skisseprosjekt, forprosjekt, detaljprosjekt, kontrahering og produksjonsprosjektering, slik som vist i figur 6. Det finnes ikke noe klart skille mellom disse fem fasene og hva som nøyaktig inngår i hver av dem. Overgangen mellom fasene kan derfor være noe glidende, og variere fra bedrift til bedrift. Imidlertid inneholder hver av fasene noen spesifikke aktiviteter. Disse er vanligvis som følger (Arge, Moe, & Westgaard, 2010):

- Skisseprosjekt: Ideutviklingen med utvelgelse av et funksjonelt og fysisk konsept for prosjektet. En skisserer opp ulike alternativer av prosjektet, og evaluerer arealbehov og utforming. Aktuelle myndighetskrav for prosjektet blir vurdert. Byggherren tar her hensyn til hovedfremdrift og budsjett.
- Forprosjekt: Her videreutvikles prosjektet, og en beslutter prosjektets tekniske, funksjonelle og fysiske struktur. Man fremskaffer nødvendig dokumentasjon og tar kontakt med myndighetene for å overlevere søknader, som rammetillatelse.

- **Detaljprosjektering:** I denne fasen foregår en detaljert utvikling av prosjektet. Disse løsningene beskrives og klargjøres for utsendelse. En sørger for at alle krav og regler er tatt hensyn til, både fra det offentlige og byggherren.
- **Kontrahering:** Anbudsgrunnlaget går gjennom, og sendes ut til entreprenører. Tilbudene hentes, og vurderes opp mot hverandre. Kontrakter utarbeides, og entreprenør(er) velges. I denne fasen søkes det også om igangsettingstillatelse.
- **Produksjonsprosjektering:** En kontrollerer detaljprosjekteringen og retter opp i eventuelle mangler og avvik. De siste produktvalgene tas, og dokumenter klargjøres for produksjon.



Figur 6: Prosjekteringsfasen (Arge, Moe, & Westgaard, 2010)

Når noe skal bygges anbefales det alltid å støpe et og solid fundament. Det samme kan en si om selve prosjektet også. Ved å gjøre et godt arbeid under prosjekteringen, øker sannsynligheten for at resten av prosjektet blir vellykket. En omstendelig prosjekteringsfase vil kreve mye arbeid og kostnader, men dette kan ofte forsvares med at prosjektet totalt sett reduserer antall feil og mangler, som igjen kan redusere kostnader og tidsbruk. I tillegg til å senke tid og kostnad under utførelsesfasen, kan og driftsfasen kan få reduserte kostnader i form av bedre og mer holdbare løsninger som bærer preg av god prosjektering og utførelse.

Ved planlegging av fremdriftsplaner under prosjekteringen kan både BIM og lean være hjelpsomt. Fra BIM-modellen kan en få informasjon om bygget, og en økt helhetsforståelse for prosjektet, spesielt ved komplekse bygg. Fra lean filosofien kan en dra nytte av prinsippene fra Last Planner System™ (LPS). Dette er primært ment for utførelsesfasen, men teknikken kan også brukes i prosjekteringen. Fremdriften kan planlegges ved å ta i bruk fremdriftsplaner av ulik detaljeringsgrad. LPS bidrar her til å skape en pull-effekt hvor tegninger og modeller etterspørres. BIM-modellen kan bruke sin transparente egenskap ved å følge opp fremdriftsplanen, forutsatt at brukerne oppdaterer modellen ihht. oppsatt plan.

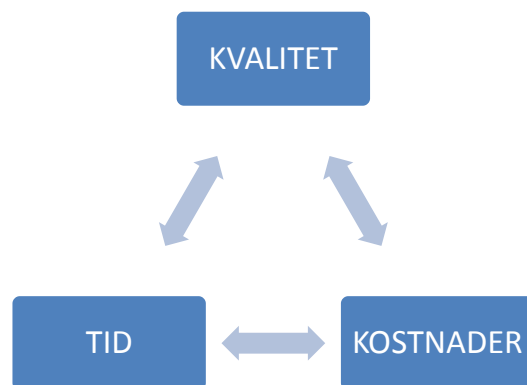
4.1 Prosjekteringsfase vs. utførelsesfase

Prosjekteringsfasen skiller seg fra utførelsesfasen på flere måter. Blant annet består prosjekteringen av dynamiske variasjoner hvor terskelen for å gjøre endringer er mindre enn under utførelsen. Dette kommer av at en er mindre bundet av tidligere valg, og kostnadene ved å gjøre endringer er lavere. De dynamiske variasjonene som oppstår grunnet klima, grunnforhold, kunde verdi og kompleksitet, gjør at prosjektering ikke kan regnes som en repeterbar aktivitet. Når terskelen for å gjøre endringer er lavere, kan også usikkerheten i prosjektet bli høyere. Ved å utføre flere iterasjoner, kan en endre flere av valgene som er tatt. Ved å bruke en BIM-modell kan terskelen for å gjøre endringer bli enda lavere, fordi de mulighetene en har er langt større enn tidligere. Ulike alternativer og scenarioer kan settes opp mot hverandre og analyseres. Å endre en vegg i en BIM-modell er enklere, billigere og raskere enn å endre en fysisk vegg på byggeplass. Når slike iterasjoner kan gjøres mer effektivt enn tidligere, kan også kravene endres oftere. Etter at mulige løsninger legges frem for byggherren, kan ny forståelse føre til at nye ideer og ønsker kommer inn i prosjektet. Slike kravendringer er langt mer vanskelig å få til under utførelsesfasen som følge av at fysiske elementer allerede er montert. I tillegg må ekstra papirarbeid gjøres. En klar forskjell som en kan peke på er at en under prosjekteringen står friere til å finne løsninger, og fastsette rammer

som ikke allerede er fastsatt. De utførende (entreprenørene) skal i prinsippet arbeide ut ifra løsninger som allerede er bestemt (Bølviken, Gullbrekken, & Nyseth, 2010).

Et annet poeng som kan være verdt å merke seg, er at lean construction i hovedsak ble utarbeidet for utførelsesfasen, og derfor er flere av verktøyene tilrettelagt for entreprenørene. De prosjekterende kan ta i bruk dette konseptet uten at det vil kreve for store endringer. BIM har derimot blitt utviklet for å kunne effektivisere alle fasene, deriblant både prosjektering og utførelsesfasen. Imidlertid er det de prosjekterende som i størst grad har benyttet BIM, og da særlig arkitektene. I studien til McGraw-Hill (2009) kan en samtidig lese at de to fasene som får mest verdi ut av BIM er prosjekterings- og utførelsesfasen. Studien viser at de i tidlig prosjekteringsfase får mindre ut av BIM enn entreprenørene, men etter hvert som en kommer lenger ut i prosjekteringsfasen BIM får en mer verdi ut av modellen. Det tilsier at de som arbeider med forprosjekteringen og detaljprosjekteringen opplever å få mer ut av BIM-modellen enn hva entreprenørene gjør.

Å finne en ideell løsning vil ofte kreve ekstra arbeid, tid og kostnader, noe som gjør at kunden ofte må inngå et kompromiss mellom kvalitet, tid og kostnader. Dette er vist i figur 7, og er kjent som prosjekttrekanten. Denne oppstår som en konsekvens av at en ikke har ubegrenset med tid, kostnader og kvalitetsmuligheter. Ofte er en av sidene fastsatt, noe som kan påvirke de to andre sidene. Et eksempel på dette er om byggherren ønsker seg en bestemt kvalitet, hvilket kan føre til både større kostnader, og lenger tidsbruk enn først antatt. For å holde seg innenfor budsjett og fremdriftsplan, kan en konsekvens være å senke kvalitetskravet. Meningen med både BIM og lean er at en skal kunne forbedre seg på alle de tre punktene i trekanten, ved at en for eksempel kan ønske seg bedre kvalitet enn tidligere uten dette skal øke kostnaden eller tidsrammen, fordi arbeidsprosessen er blitt mer effektiv enn tidligere og planleggingen blir bedre.



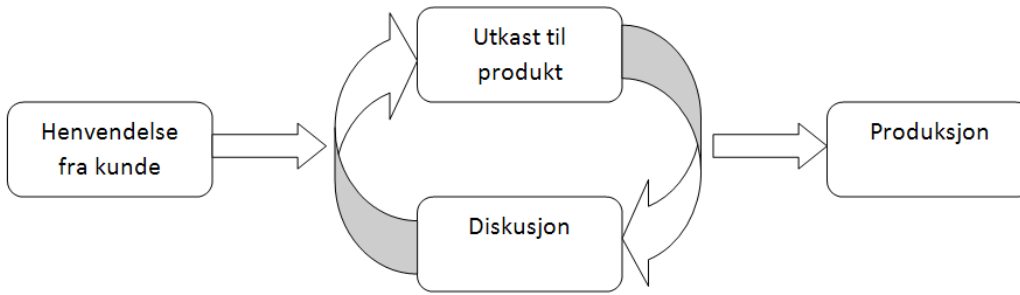
Figur 7: Kompromisser som vanligvis må gjøres under prosjekter (Bølviken, Gullbrekken, & Nyseth, 2010)

4.2 Prosjekteringsvalg og arbeidsmetode

De prosjekterende foretar valg som påvirker arkitektur, tekniske systemer og organisatoriske løsninger. Arkitektoniske valg kan være utarbeidelse av planskisse, bestemmelse av fasademateriale og romhøyde. Tekniske systemer utarbeides av rådgivende ingeniører og innebærer vanligvis valg av bæresystem og tekniske installasjoner. Organisatoriske valg omhandler bl.a. utvelgelse av koordinatører og entreprisform.

Hvordan de prosjekterende arbeider kan variere, men en generell figur som viser iterasjonsprosessen kan sees i figur 8. Ofte kommer det en henvendelse fra en byggherre som trenger hjelp til å utforme et bygg ihht. krav fra myndigheter og byggherre, og ta hånd om nødvendige søknader. De prosjekterende kan da utarbeide flere forslag som byggherren er med på å diskutere, slik at en kommer frem til en overordnet plan av hvordan bygget skal utformes. Videre går denne planen gjennom flere iterasjoner frem

til man når en tilfredsstillende løsning ihht. prosjekttrekanten. Deretter går en så videre til produksjonsprosjekteringen hvor prosjekteringsmaterialet klargjøres for produksjon.



Figur 8: Iterasjonsfasen under prosjekteringen (Bølviken, Gullbrekken, & Nyseth, 2010)

4.3 Feil og sløsing under prosjekteringsfasen

“It is hard to see the waste in engineering and easy to see it in manufacturing” (UGS PLM Solutions, 2004:3).

Som det ble nevnt innledningsvis så har RIF tidligere vært enig i at 35-45 % av årsakene til skader på bygg kobles til prosjekteringsfasen. Ifølge Ingvaldsen (1994) står feil i prosjekteringsmaterialet og prosjekteringsunnlattelser/forenklet prosjektering hver for 20 % av årsakene til byggeskader. Disse 40 % stemmer styrkes av RIF sine tidligere uttalelser. En studie gjort i regi av Byggekostnadsprogrammet (Grimsmo, 2008) forsøkte å finne frem til vanlige feil i prosjekteringsfasen. Resultatene deres var:

- *Spesifikasjonsfeil:* Feil i spesifikasjoner gjør at kontrakter blir utarbeidet på feil grunnlag. Innunder denne feilen går også manglende oppdatering av databaser slik at ikke alle aktører får oppdatert informasjon. Dette gjør at materiale som produseres ikke passer overens med gjeldende spesifikasjoner.
- *Tegningsfeil:* Innunder dette punktet faller dårlig merking av mål, detaljer og revisjoner, teoretiske løsninger som ikke lar seg løse i praksis, og manglende snitt- og detaljtegninger. Flere av tegningene passer heller ikke overens med siste oppdatering. I tillegg gjøres endringer utenom kontrakten, endringene meldes ikke ifra skriftlig, tidsfrister overholdes ikke, objekter kolliderer med hverandre og tegninger er uleselige.
- *Faglige feil:* Herunder peker studien på dårlige løsninger og materialvalg hos de prosjekterende, manglende kompetanse og dimensjoneringsfeil.

I tillegg til disse feilene kan prosjekteringen være preget av koordinerings - og kommunikasjonsproblemer mellom aktørene. Flere av feilene som pekes på i studien henger sammen med hverandre. For eksempel kan manglende kompetanse henge sammen med dimensjoneringsfeil, dårlige løsninger og produksjon av uleselige tegninger.

Byggekostnadsprogrammet peker også på at bruk av BIM og lean filosofien håper en på å redusere antall spesifikasjons-, tegnings- og faglige feil (Grimsmo, 2008).

Ved bl.a. å bruke “the seven wastes” kan en lettere se sløsing som foregår i prosjekteringen. En undersøkelse gjort av UGS PLM Solutions (2004) fant følgende områder innen prosjekteringen hvor en sløser. Tid brukt under innhenting av informasjon, og unødvendig utarbeidelse av materiale som aldri brukes eller fullføres betegnes som de to største sløsingssonrådene. Under informasjonsinnhenting inngår også venting, eksempelvis på resultater, krav og godkjenning. Det pekes også på sløsing som dårlige prosjekteringsløsninger, som fører reparasjon og “rework”. Disse feilene kan legge til rette for

følgefeil dersom de ikke oppdages tidlig. Dermed kan det området for “rework” vokse i omfang. Andre former for sløsing er overdesign av løsninger som kunden ikke ser ekstra verdi i, og dårlig utnyttelse av ressursene som benyttes. For eksempel vil få kunder være villige til å se noen ekstra verdi i en takbjelke i en garasje som er overdimensjonert med 50 %.

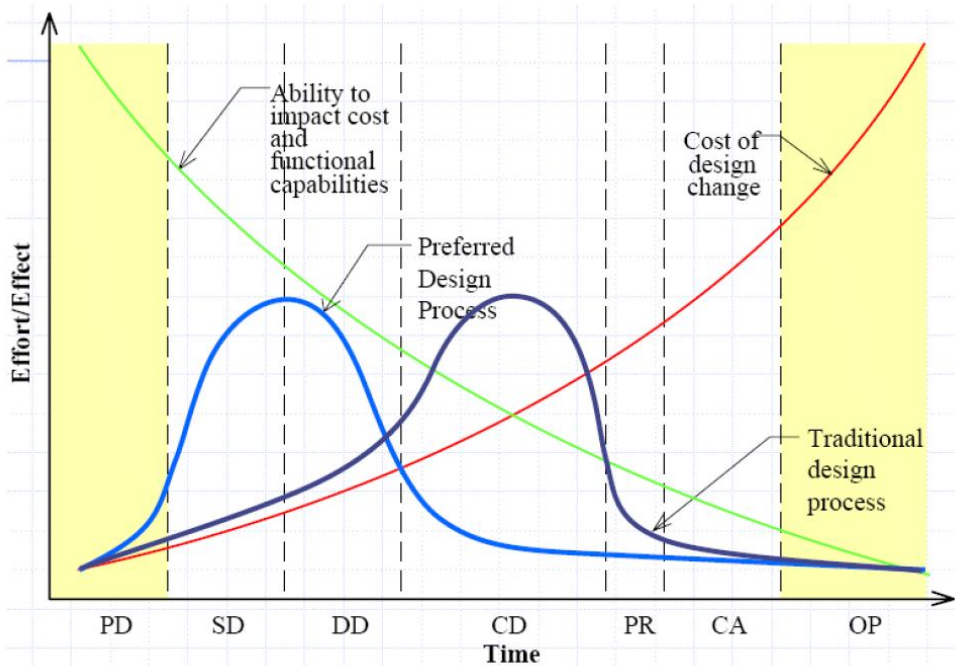
4.4 Ønsket prosjekteringsprosess kontra tradisjonell prosjekteringsprosess

MacLeamy kurven er vist i figur 9. Figuren forteller hvordan kostnader og endringer påvirkes av tiden gjennom et helt prosjekt. Figuren viser at desto tidligere en er i prosjektet, desto større er muligheten til å påvirke kostnader og endringer som gjøres. I denne sammenhengen er MacLeamy kurven ment å vise hvordan ønsket prosjekteringsfase skal være.

Den grønne kurven viser muligheten en har til å påvirke kostnader og funksjonelle muligheter i et prosjekt. Denne muligheten synker etter hvert som prosjektet skrider fremover, dvs. at muligheten en har til å påvirke blir mindre i løpet av tiden som går. Den røde kurven viser hvordan kostnadene påvirkes avhengig av hvor i prosjektet en er. Denne kurven stiger, noe som betyr at kostnaden blir større etter hvert som en kommer lenger ut i prosjektet.

Den lyseblå kurven viser hvordan en ønsker at prosjekteringsfasen skal gjennomføres, mens den mørkeblå viser hvordan situasjonen tradisjonelt er. Som en kan se ønsker en at innsatsen i prosjekteringsfasen legges ned tidligere enn tradisjonelt. En vil dermed ha større mulighet til å påvirke kostnader og funksjonelle muligheter, samtidig som endringene vil være billigere å foreta.

Til venstre i figur 14 vises også MacLeamy kurvene for henholdsvis tradisjonell og integrert arbeidsmetode.

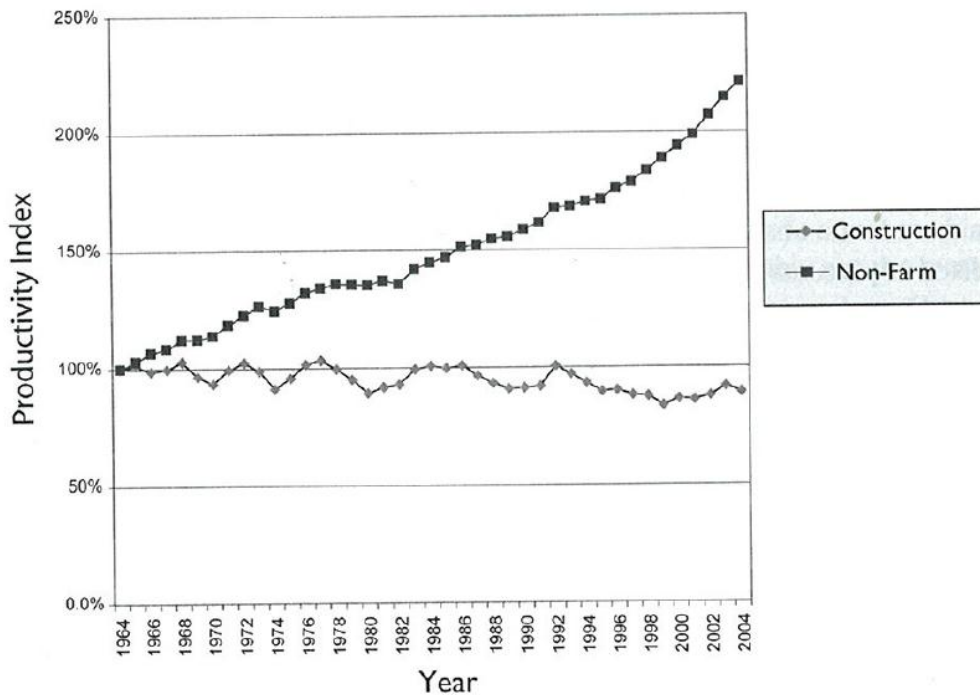


Figur 9: MacLeamy kurve (Biscoppro, 2011)

PD = Predesign, SD = Schematic design, DD = Design development, CD = Construction detailing, PR = Procurement, CA = Construction administration, OP = Operation

4.5 Produktivitet

En studie gjort av CIFE (Center for Integrated Facility Engineering) har gjennom 40 år, mellom 1964-2004, sammenliknet byggenæringen med andre næringer i USA. Studien viser at produktiviteten i andre næringer har steget jevnt, mens produktiviteten i byggenæringen i liten grad har vært varierende uten å ha steget. Over disse 40 årene viser det seg at produktiviteten har sunket med 10 %. Dette vises i figur 10, hvor kurvene har kommet frem ved å fordele kontraktssummene med antall arbeidstimer for kontraktene. Det er flere årsaker til at statistikken viser disse tallene, hvorav noen drøftes i kapittel 6. Studien viser at behovet for innovasjon og økt produktivitet innen byggebransjen er tilstedeværende, og det er her BIM og lean kommer inn.



Figur 100: Produktivitetsindeks mellom 1964-2004 (Eastman, Liston, Sacks, & Teicholz, 2008)

En liknende studie utført av SINTEF kom frem til at produktiviteten i den norske byggebransjen ikke kan måle seg mot andre bransjer. Det nevnes også at det samme gjelder i de europeiske landene. Studien til SINTEF tar for seg produktiviteten i ulike bransjer, deriblant bygg og anleggsbransjen, for årene 1996-2001. Dette er vist i tabell 3. Dette produktivitetstapet i byggebransjen har blitt beregnet til å tilsvare 95 milliarder kroner. Studien peker i retning av at det er flere årsaker til at byggenæringen ligger etter de andre næringene. Bl.a. nevner de at den langsiktige planleggingen og forskningen har vært for dårlig, produksjonen har vært ineffektiv og det har vært for lite fokus på logistikk. I tillegg nevnes tidligfasen av prosjektene som et problemområde (Andersen, Austeng, Røstad, Torp, & Veiseth, 2004).

Tabell 3: Produktivitetsindeks over bygg og anlegg, offshore/skipsbygging og vareproduserende industri (Andersen, Austeng, Røstad, Torp, & Veiseth, 2004)

	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Bygg og anlegg	1,00	0,97	0,94	0,72	0,83	0,96
Offshore/skipsbygging	1,00	1,14	1,46	1,29	1,53	1,61
Vareproduserende industri	1,00	1,14	1,56	1,69	-	1,92

5 LEAN CONSTRUCTION I PROSJEKTERINGSFASEN

Hensikten med dette kapittelet er eksplorativt å forklare lean filosofien, for så å se nærmere på hvordan lean kan knyttes til prosjekteringsfasen i byggebransjen. Her blir prinsippene fra lean hentet frem for å utforske nærmere hva som kan benyttes i lean construction, og da spesielt i prosjekteringsfasen. Kapittelet vil også fokusere på prosessen ved å integrere flere aktører tidlig i prosjekter gjennom “Integrated Design & Delivery”. Kapittelet avsluttes ved se nærmere på hvordan Rambøll, som en av Nordens største rådgiverbedrifter, har valgt å bruke lean.

Det finnes mange definisjoner på filosofien lean. I denne oppgaven har jeg valgt å benytte følgende definisjon:

”An integrated management system that emphasizes the elimination of waste and the continuous improvement of operations” (Russel & Taylor, 2006:685).

5.1 Historien bak lean filosofien

Ordet ”lean” kan oversettes til ”slank”, og tankegangen kan spores tilbake til den stasjonære bilproduksjonen på starten av 1900-tallet under Fordismen. Henry Ford (1863–1947) hadde en teori om at produksjonen kunne gjøres slankere dersom han standardiserte arbeidsprosessene og utviklet samlebåndsproduksjon, slik at produksjonen oppnådde en tilfredsstillende flyt. Ford brukte spesiallagde maskiner for å produsere de samme delene gang på gang. Dette var med på å redusere arbeidstid og kostnader pr. enhet, hvilket betød høyere produktivitet. Ulempen med dette var at prosessen var låst til en modell, noe den svarte T-Forden er et godt eksempel på. I en periode ble ferdigstilt en slik bilmodell hvert 10. sekund. Når maskinene skulle omstilles betød dette lang ventetid, stopp i produksjonen og tapte inntekter. Dette var blant hovedgrunnene til at Ford holdt seg samme produksjon over lengre tid. Etter hvert som samfunnet utviklet seg ble det etterspurt mer differensierte modeller, hvilket førte til at Ford i større grad fikk konkurranse i markedet. Nye bilprodusentene hadde maskiner som arbeidet raskt og kunne variere produksjonen, men som gjorde det på en dyr og tungvint måte. De nye produsentene oppnådde heller ikke samme flyt i arbeidet som Ford gjorde i sin produksjon. Slik oppstyking underveis førte til at produksjonen hos de andre bilfabrikantene tok lenger tid (Ford Motor Company, 2011).

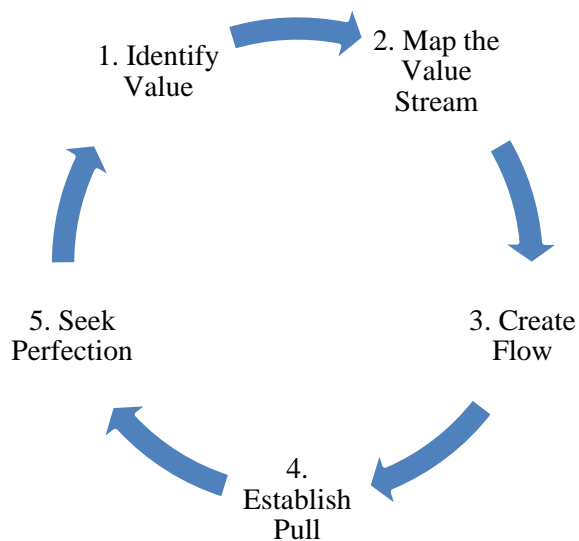
Det japanske bilmerket Toyota var på den tiden en liten produsent sammenliknet med i dag. Samtidig hadde landet lite areal og begrensede naturressurser på grunn av et høyt folketall. De hadde derfor ikke muligheten til å produsere biler på samme måte som amerikanerne, men ønsket om å kunne hevde seg på verdensmarkedet var allikevel tilstede hos eierne. De sendte derfor flere av sine arbeidere over til USA for å studere og observere den amerikanske produksjonsmåten. Ingeniøren Taiichi Ohno (1912–1990) og de andre ansatte fra Toyota kom tilbake med flere erfaringer og innovative ideer. Disse ideene gikk ut på hva Toyota kunne gjøre for å oppnå store besparelser ved å unngå sløsing, bli mer fleksible, samt øke produksjonen sin. De videreutviklet Ford sine metoder ved å ta tak i de fordelaktige metodene, samtidig som de endret det de mente var nødvendig for å oppnå en mer fleksibel produksjon. Resultatet de kom opp med, og Ohno har fått mye av æren for, er kjent som TPS, eller ”Toyota Production System”. TPS ble et system som så helheten av produksjonen, samtidig som hver enkelt prosess nøye ble analysert for å kunne hente maksimalt ut av prosessen. Dette gjorde de ved blant annet å innføre Just-In-Time (JIT) og bruk av automasjon hvor det lot seg gjøre. For eksempel arbeidet de hardt med studier av omstillingstider og design av arbeidsflyten. Dette førte til høyere utnyttelsesgrad enn tidligere til tross for begrensede ressurser. Den høye utnyttelsen førte til lavere kostnader, samtidig som de leverte god kvalitet. Ved å

gjøre endringer som raskere omstillingstid kunne de lettere tilpasse seg variasjon i etterspørsel hos kundene, slik som kvantum, farge og design. Toyota lot også arbeiderne få mer ansvar over hele produksjonslinjen. Dersom en arbeider fant feil eller mangler kunne han stoppe produksjonen slik at man rettet fokuset over på feilen for å unngå slik at man skulle begå den samme feilen igjen. På den måten var alle ansatte med på å gjennomføre to av hovedprinsippene innen lean filosofien – eliminere sløsing gjennom fokus på kontinuerlig forbedring (Lean Enterprise Institute; A brief history of lean, 2009).

En av de viktigste faktorene til at Toyota har opplevd denne betydelige veksten, er bruken av lean. I dag er det stadig etterspørsel er personer med kunnskap om lean, og området er kontinuerlig i utvikling. Selv om lean i hovedsak var rettet mot produksjon, lar teorien og verktøyene seg enkelt overføre til andre bransjer som helse, bygg, bank og vareforhandlere.

5.2 De fem hovedprinsippene innen lean filosofi

Uttrykket lean ble først benyttet i en artikkel fra 1988 av Krafcik ved det amerikanske universitetet MIT. Krafcik hadde før tiden ved MIT arbeidet som kvalitetsingeniør ved Toyota. I 1990 gav Womack m. fl. ut boken ”The Machine That Changed the World” hvor filosofien bak lean ble forklart. Senere, i 1996, gav Womack og Jones ut boken ”Lean Thinking” hvor de går mer i dybden på hva lean er. I boken ”Lean Thinking” beskrives de fem hovedprinsippene i lean, slik som vist i figur 11 (Lean Enterprise Institute; A brief history of lean, 2009). Disse prinsippene forklares kort under og mer detaljer senere i kapittelet.



Figur 111: 5 hovedprinsipper innen lean filosofien (Lean Enterprise Institute; Principles of lean, 2009)

1. Identify Value: En forsøker å identifisere hva kunden verdsetter, og hvilken verdi kunden setter på produktet som etterspørres.

2. Map the Value Stream: En finner den verdiskapende flyten i prosessen, slik at en kan skille mellom verdiskapende og ikke verdiskapende aktiviteter. En forsøker å fjerne alle aktiviteter som ikke er verdiskapende, og fremheve de som skaper verdi.

3. Create Flow: Når en har funnet de verdiskapende aktivitetene, skal en forsøke å skape en flyt i produksjonen slik at en oppnår et jevnt og tilfredsstillende arbeidstempo.

4. Establish Pull: Skape et pull-systemet, slik at tilførselen på materialer, informasjon og tjenester suges frem i stedet for å trykkes frem.

5. Seek Perfection: En skal kontinuerlig arbeide for å eliminere sløsing. Når de fire foregående punktene er gjennomført, må en på nytt starte prosessen med slik at en hele tiden kan forbedre seg.

5.3 The seven wastes

Blant målene til de fem hovedprinsippene fra foregående delkapittel som man søker etter å nå er kontinuerlig eliminere all sløsing og forbedring av kvaliteten. Denne sløsingen som Toyota har jobbet for å eliminere er ofte omtalt som ”the seven wastes” og ”muda”.

En definisjon på “the seven wastes” er ”waste, anything other than that which adds value to the product or service” (Russel & Taylor, 2006:685).

“The seven wastes” er som følger (Russel & Taylor, 2006):

1. Overproduksjon
2. Venting
3. Transport
4. Unødvendig arbeid
5. Inventar
6. Unødvendig bevegelse
7. Reparasjoner / Rework

I etterkant har også en åttende form for sløsing blitt innført - *underutnyttelse av arbeidernes kunnskap*.

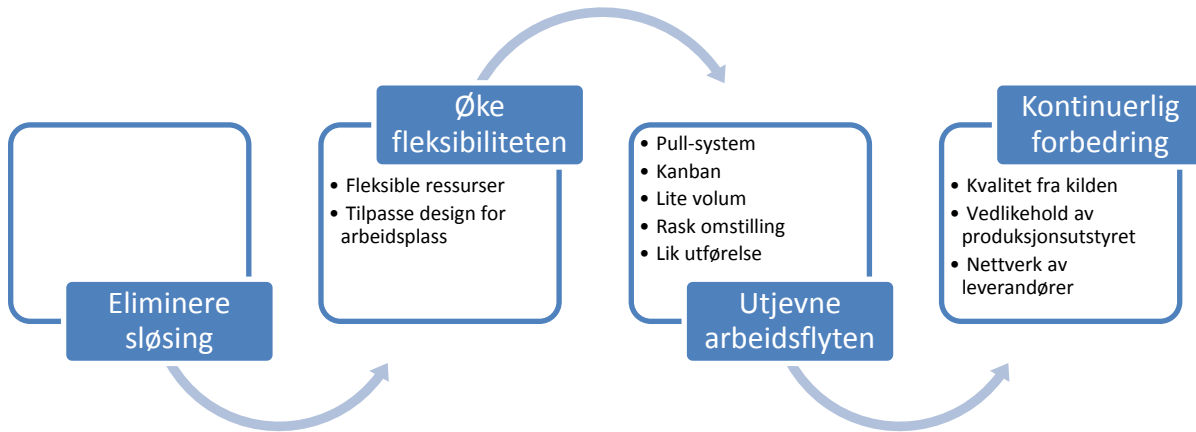
Å overproducere vil si at en produsere mer enn hva som kan forbrukes. Det betyr at en binder unødvendig kapital som alternativt kunne vært brukt på mer lønnsomme investeringer. En metode for å unngå dette kan være ved å benytte ”Just In Time” (JIT) som forklares senere i kapitlet. Venting er ikke verdiskapende og kan forekomme i alle deler av verdikjeden. Alle prosesser bør derfor ha tett oppfølging. Unødvendig transport og arbeid vil være aktiviteter som øker arbeidsmengden uten å bidra til at ny verdi skapes for prosjektet. Det er viktig at kundens forventninger møtes, men en må også se opp for å legge ressurser i arbeid som ikke har noen verdi for kunden.

Inventar går ut på å ha varer i arbeid, hvilket ikke skaper noen verdi. Slik sløsing kan oppstå grunnet overproduksjon og venting. Overflødig inventar krever kapitalbinding, tar opp plass og kan behøve tilsyn og fokus. Unødvendig bevegelse vil skape ineffektiv arbeidstid, og oppstår som en følge av usikkerhet og rot. Reparasjon og rework oppstår fordi en er nødt til å utføre et arbeid om igjen, hvilket en sjeldent får betalt for. Slikt arbeid må gjøres som følge av at arbeidet i første omgang ikke har vært godt nok. Dette ekstraarbeidet kan i tillegg gå utover annet arbeid som skulle vært gjort.

Den åttende formen for sløsing som er innført i etterkant oppstår fordi en ikke utnytter arbeidernes kunnskap og kreativitet fullt ut. Om en kartlegger arbeidernes kunnskap, utdanning og erfaring kan det vise seg at arbeiderne kan benyttes på nye måter.

5.3.1 Eliminering av sløsing

Kontinuerlig redusering av sløsing og gjennomføring av et prosjekt med lean filosofi kan gjøres ved å ha kontroll på følgende tre områder; øke fleksibiliteten, utjevne arbeidsflyten og kontinuerlig forbedring, slik som vist i figur 12.



Figur 122: Eliminering av sløsing gjennom tre ulike faser (Russel & Taylor, 2006)

Øke fleksibiliteten

I å øke fleksibiliteten er ett av to punkter å ha *fleksible ressurser*. Dvs. at maskinene har muligheten til å omstille funksjonaliteten sin raskt og billig, samt at arbeiderne bør ha tverrfaglig kunnskap slik at de kan brukes til ulike oppgaver dersom behovet skulle oppstå. Dersom en person kan utføre flere aktiviteter samtidig, i tillegg til å kontinuerlig forsøke å redusere syklustiden vil dette være i tråd med lean tankegang (Russel & Taylor, 2006).

Ved å *designer arbeidsplassen* etter arbeidsrekkefølgen kan en redusere syklustiden. Dette kan gjøre ved å dele plassen opp i ulike celler, hvor de tilhørende oppgavene inngår i samme cellen, eller cellen ved siden av. En arbeider kan bevege seg fra arbeidssituasjon til arbeidssituasjon innenfor samme celle. Dersom muligheten byr seg kan også en arbeider jobbe i ulike celler. Siden mye informasjon deles elektronisk er ikke dette punktet nødvendigvis aktuelt, men å arbeide med aktuelle personer i nærheten flere fordeler. Et eksempel kan være at en samler samme type fagkunnskap eller personer fra samme prosjekt innenfor et område slik at kommunikasjon og informasjonsdeling lettere kan flyte (Russel & Taylor, 2006).

Utjevne arbeidsflyten

Å bruke *pull-systemet* vil si at en lar etterspørselen bestemme behovet på materialer ved at man kun etterfyller med det som behøves, en styrer altså etter ordrer. Dette vil bety hyppigere leveranser, og dermed sannsynligvis økte transaksjonskostnader. Dette betyr at etterspørselen suger ut hva nestemann behøver. Dersom en benytter seg av det motsatte, push-systemet, har en på forhånd lagd en plan over hva man trenger og når en trenger det ut ifra ordrer og prognoser, det vil si prognosestyrt. Både pull- og push-systemet beskrives nærmere senere i kapittelet (Russel & Taylor, 2006).

Kanban er et verktøy for å få bedre kontroll over behovet for nye materialer ved pull-systemet. Kanban betyr ”kort” på japansk, og det er nettopp hva dette verktøyet er. Når et slikt kanban-kort kommer til syne, ofte med fargekoder, betyr det at det er på tide å bestille mer av materialet igjen. Dette kortet er lagt strategisk inn i mengden med materialer, og angir informasjon som hvilket materiale dette er, kvantum som er igjen, kvantum som bør bestilles, hvor det kan bestilles, osv. Når nye materialer skal bestilles bør

en ta hensyn til hva som virkelig trengs. Dersom en bruker små mengder i løpet av en bestemt tidsenhet, er det ikke behov for å bestille store kvantum, og dermed trengs mindre lagringsplass. Det kan overføres til prosjekteringsfasen ved at for eksempel kalenderen på PC-en sier ifra når det nærmer seg frist for innlevering av ulikt prosjekteringsmateriale. Meldingen som kommer opp kan inneholde informasjon om hvilket prosjekt det dreier seg om, hvilke dokumenter som skal leveres, hvem som skal motta dokumentene, når fristen går ut, osv (Russel & Taylor, 2006).

Som nevnt tidligere er *lavt volum* en viktig del av lean. Lite kvantum krever både mindre investeringer og mindre plass. Ved mindre material tilgjengelig er sannsynligheten høyere for at arbeiderne rapporterer om feil og mangler, slik at dette ikke ligger og tar opp plass på lageret. Slike feil og mangler kan være lav kvalitet, nedetid for maskiner eller programmer, upålitelig samarbeidspartner, lite effektiv design og planlegging av arbeidsflyten, og lang tidsbruk. Lite volum under prosjekteringen kan omhandle en brukervennlig og praktisk BIM-modell som inneholder nødvendig informasjon, men ikke mer. Modellen kan da være lett å arbeide med, og en slipper å arbeide i en tung og komplisert modell (Russel & Taylor, 2006).

Rask omstilling er svært viktig, og ofte er dette en stor flaskehals hos flere bedrifter. Den japanske ingeniøren Shigeo Shingo (1909–1990) ble innleid av Toyota for å redusere deres omstillingstid. Han utviklet systemet SMED (Single-Minute Exchange of Dies), og klarte blant annet å redusere omstillingstiden på en maskin fra 6 timer til 3 minutter med dette systemet. Teknikker for å forbedre omstillingstider kan være forhåndsinnstillinger, bruk av verktøy som kan behandles enkelt, raskt og ikke misforstås, reduser bruken av unødvendig utstyr, og gjør transporten enklere. Dette er også teknikker som kan tas i bruk under prosjekteringen, slik som å ha forhåndsinnstilt flere dokumenter slik at en slipper å fylle ut samme informasjonen flere ganger (Russel & Taylor, 2006).

Lik utføring av aktiviteter kan gjøres for å få en bedre og mer stabil strøm av prosessen. En unngår unødvendig oppstyking, hvilket gjør det enklere å gjennomføre de overnevnte elementene. Hvert prosjekt er unikt, og ingen kan derfor utføres nøyaktig på samme måte. Derimot kan en gjenbruke løsninger som en har god erfaring med, der hvor det lar seg gjøre (Russel & Taylor, 2006).

Kontinuerlig forbedring

Kvalitet i alle faser, allerede fra kilden er med på å øke muligheten for et vellykket prosjekt. Leverandøren er derfor et viktig ledd i prosjekter som inneholder lean. Det er ikke rom for lavere kvalitet enn avtalt siden en ikke opererer med et ekstra lager. Som nevnt tidligere vil små kvantum være med på å holde kvalitetskontrollen oppe. Dette kan gjøres visuelt, og er enklere for arbeiderne om området er tilrettelagt for dette gjennom eksempelvis bruk av kanban. Et nøkkelbegrep innenfor kvalitet er det japanske uttrykket ”kaizen” som betyr kontinuerlig forbedring. Denne kontinuerlige forbedringen gjøres blant annet ved å gjennomføre observasjoner av aktiviteter, bruke teori, ha optimal kvalitet, og stadig være på utkikk etter forbedringer som kan gjøres. Gjennom å analysere observasjonene er det mulig å identifisere aktiviteter som er verdiskapende og de som ikke er verdiskapende. Ved å la de ansatte være med å ha ansvar til å stoppe prosessen dersom kvaliteten er for lav (også kjent som ”jidoka”) innfører en samtidig en kultur i bedriften som er inkluderende. En vil dermed kunne oppleve at de ansatte føler et eierskap til arbeidsplassen sin, og ser på den mer som ”sin” arbeidsplass. Meningen med kaizen er at hver enkelt ansatt skal være med i forbedringsprosessen, og være på utkikk etter hva som kan endres til bedriftens fordel (Russel & Taylor, 2006).

Vedlikehold av produksjonsutstyret er nødvendig for de aller fleste prosesser. Dersom maskiner bryter sammen, taper bedriften svært ofte penger, samtidig som det kan ha ringvirkninger slik som forsinkelser. Dette punktet består av preventivt vedlikehold og vedlikehold av sammenbrutte maskiner. Ved preventivt vedlikehold har man periodiske kontroller av utstyret slik at en i fremtiden skal unngå sammenbrudd. Dersom en allikevel opplever sammenbrudd av maskiner, må en reparere dette så raskt som mulig. I lean

velger en å bruke tid på begge vedlikeholdsformene. Innen prosjekteringen vil dette i hovedsak dreie seg om vedlikehold av teknisk utstyr som datamaskiner og nødvendige programmer for å opprettholde sikkerhet, konkurransedyktighet, osv (Russel & Taylor, 2006).

I en lean prosess er *nettverket av leverandører* svært viktige for prosessen. Deres leveranser må passe inn i arbeidsflyten i prosjektet. Derfor er pålitelighet, forhold og kommunikasjon nøkkelbegrepene her. Når en bedrift innfører lean er det ifølge Russel & Taylor (2006) viktig at den tar følgende hensyn til leverandøren:

- Langsiktige leverandørkontrakter som kan sikre et godt forhold videre.
- Leveringen må kunne synkroniseres med resten av prosjekteringen.
- Leverandøren må være sertifisert til å utføre dem oppgaven som ligger under deres ansvar.
- Hyppige leveringer med ulike leveranser må kunne utføres.
- Leverandøren må kunne følge en detaljert leveringsplan.

5.4 Verdikjeden

I boken ”Ledelse av verdikjeder” brukes verdikjede om ”fenomenet hvor bedrifter i en kjede eller aktører i et nettverk av aktiviteter utveksler varer og tjenester for å fremstille et ferdig produkt” (Kalsaa, 2009:15). Videre i delkapittelet beskrives to ulike prinsipper som kan benyttes i en verdikjede hvor behovet for varer og tjenester er tilstede; push- og pull-prinsippene.

I hovedsak er man i lean filosofien på utkikk etter å styre prosessene etter pull-prinsippet. I virkeligheten er det derimot en kombinasjon av de to prinsippene som benyttes.

5.4.1 Push-prinsippet

Push-prinsippet forsøker å ”trykke” prosessen gjennom fra starten av, hvilket også er referert til som prognosebasert styring i litteraturen. Dette gjøres ved at hver enkelt aktivitet er planlagt og brutt ned for en viss tidslengde fremover. Dette har i lang tid vært det vanligste prinsippet, og mange prosjektstyringsprogrammer har brukt, og bruker fortsatt, denne teorien (Grønland, 1998).

5.4.2 Pull-prinsippet

Ved pull-prinsippet vil en prøve å ”suge” ordrene etter, og er kjent som ordrepunktsstyring. Lean bygger på bruk av dette prinsippet, og pull er noe som stadig utvikles og blir mer brukt. Inne i pull-prinsippet ligger teorien om JIT.

En definisjon på JIT er “smoothing the flow of material to arrive just as it is needed” (Russel & Taylor, 2006). På norsk kan JIT oversettes direkte som “Akkurat i tide”, og fokuserer på å minimalisere kapitalbindingen i verdikjeden. Oversikten over vare- og tjenestebehovet skaffes i siste ledd, og arbeider seg bakover samtidig som produksjonen suges fremover. Optimalt skal materialet fylles på ”Just-In-Time”, før produksjonen går tom for materialer. Produksjon og materiale bør ikke her kun være ment til utførelsesfasen, men kan også kobles opp til produksjon og materiale i prosjekteringsfasen. For eksempel kan produksjon være ment som produksjon av en arkitektmodell, mens materialet kan være informasjon i en BIM-modell fra arkitekten som overføres til en RIB. I et slikt tilfelle kan JIT brukes ved at arkitekten overfører modellen akkurat i tide med tilstrekkelig mengde informasjon for at RIB skal kunne utføre sine planlagte arbeidsoppgaver ihht. fremdriftsplanen.

JIT har de fem nuller som følgende mål: 0 papir, 0 lager, 0 omstilling, 0 forsinkelser og 0 feil. Disse målene vil være enklere å måle og kontrollere på byggeplass enn under prosjekteringen. Å koble JIT og prosjektering er derimot mulig gjennom bl.a. BIM. Dette drøftes nærmere i kapittel 6.

5.5 Lean construction

Lean construction er av Koskela definert som *"A way to design production systems to minimize waste of materials, time, and effort in order to generate the maximum possible amount of value"* (Michigan State University, 2008:2).

Lean construction begynte å utvikle seg på 1990-tallet, hvor personer som Koskela, Howell og Ballard var, og fortsatt er, sentrale pågangsdrivere. Som nevnt tidligere lar lean fra produksjonssynsvinkelen seg generere over til andre bransjer slik som lean construction. Imidlertid er det en forskjell mellom lean construction og lean production/manufacturing; lean construction drives i et dynamisk prosjekt med omgivelser som endrer seg, mens lean production/manufacturing vanligvis er et rutinearbeid som lar seg repetere. Dette vil si at prinsippene og hovedelementene i lean construction lar seg overføre til mellom ulike byggeprosjekter, men ingen prosjekter er identiske, slik som produksjonen i en fabrikk kan være, og derfor må det på hvert prosjekt anvendes unike løsninger. Men tanken om å ha en optimal arbeidsflyt ved bruk av pull-prinsippet, eliminere sløsing, og maksimere verdien for kunden under hele prosjektet i alle prosesser, ligger hele tiden til grunn i lean construction.

5.5.1 Transformation, Flow and Value

Som under produksjonen kan det også prosjekteringen benyttes flere verktøy for å forbedre effektiviteten ved hjelp av lean filosofien. Noen av disse verktøyene er allerede nevnt, mens verktøyet Last Planner SystemTM og metoden "Integrated Design & Delivery" beskrives senere. Koskela hadde TPS i tankene da han utviklet et nyttig konsept ved byggeprosjekter styrt etter lean filosofien. Dette konseptet kalles TFV, og står for Transformation (transformasjon), Flow (flyt) og Value (verdi).

Transformasjon omhandler bearbeidingsprosessen av varer og tjenester som skal skape verdi. Her ser en på hvordan materiale fra start av omformes til et endelig produkt. Det vil si at fokuset ligger på hva som er input, hva som er output, og hva som må gjøres for å transformere input til output. Dette kan gjøres gjennom utarbeidelse av work breakdown structure og ansvars kart, slik at en vet hvem som har ansvar for hver av arbeidsoppgavene. Under prosjekteringen kan input være krav fra byggherre, og output være ferdige tegninger til entreprenør.

Flytfasen fokuserer på hvordan arbeidet og produkter flyter gjennom hele produksjonsprosessen slik at en reduserer sløsing, og størst mulig andel av tiden og ressursene brukes på verdiskapende arbeid. En observerer altså transformasjonen som skjer under produksjonen eller prosjekteringen. En fokuserer også på "the seven wastes" for å prøve å eliminere sløsing. Som nevnt tidligere kan man skille verdiskapende aktiviteter og ikke verdiskapende aktiviteter. Dette kan gjøres ved å bruke verktøy fra lean som pull-prinsippet, kontinuerlig forbedring og JIT.

Verdifasen setter fokus på hvordan kunden verdsetter produktet gjennom kravene som settes til produktet. Prinsippet er å fjerne eventuelle verditap som kan oppstå, og hele tiden opprettholde eller forbedre den tilfredsstillende kvaliteten. Dette skal gjøres ved å ha kvalitetskontroller før produktet distribueres, samt kontrollsjekke produktet mot kravspesifikasjoner som tidligere er bestemt (Koskela, An exploration towards a production theory and its application to construction, 2000).

I tabell 4. vises TFV-teorien med konsept, prinsipper, metoder og hva de ulike elementene bidrar til.

Tabell 4: Oversikt over TFV-teorien (Koskela, Howell, Ballard, & Tommelein, 2002)

	Transformation view	Flow view	Value generation view
Conceptualization of production	As a transformation of inputs into outputs	As a flow of material, composed of transformation, inspection, moving and waiting	As a process where value for the customer is created through fulfillment of his/her requirements
Main principle	Getting production realized efficiently	Elimination of waste (non-value-adding activities)	Elimination of value loss (achieved value in relation to best possible value)
Methods and practices	Work breakdown structure, MRP, organizational responsibility chart	Continuous flow, pull production control, continuous improvement	Methods for requirement capture, quality function deployment
Practical contribution	Taking care of what has to be done	Making sure that unnecessary things are done as little as possible	Taking care that the customer requirements are met in the best possible manner
Suggested name of practical application of the view	Task management	Flow management	Value management

Prosjekter som gjennomføres med lean construction går gjennom de samme fasene som tradisjonelle byggeprosjekter. Lean construction er hovedsakelig ment for utførelsesfasen, men prinsipper fra filosofien kan implementeres i prosjekteringsfasen også.

I planleggingsfasen kan man ved lean construction bruke standard metoder for å fastsette varighet, kritiske aktiviteter og identifisere aktuelle risikoer. Dette kan gjøres ved å bruke gode planleggingsprogram som brukerne får god opplæring i slik at en oppnår maksimal effekt ut av investeringen. En bør også fastsette om KPI skal være med for å måle prestasjoner, og i så fall hvilke KPI'er som skal ligge til grunn for disse målingene. Resultatene fra slike KPI'er kan en bruke som "benchmarking" opp mot andre konkurrerende bedrifter som det vil være naturlig å sammenlikne seg med.

5.5.2 Last Planner SystemTM

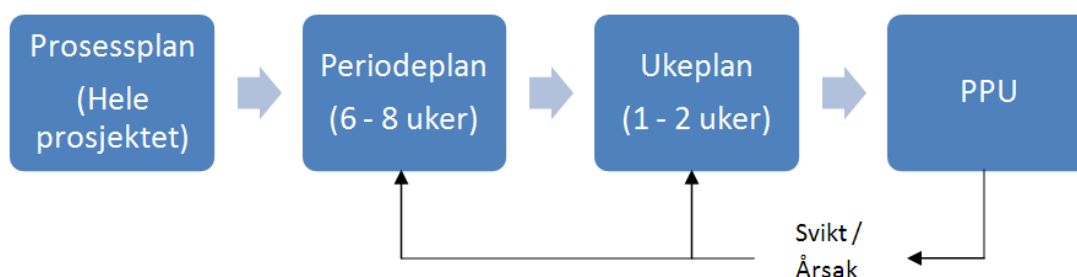
Hjelpemiddelet "Last Planner SystemTM" (LPS) ble utviklet av The Lean Construction Institute for å bedre planleggingen og de videre prosessene i byggeprosjekter. Sammen med TFV er Last Planner SystemTM sannsynligvis det viktigste verktøyet innen lean construction. I dagens byggeprosjekter kan tilstanden ofte virke rotete, vanskelig å holde styr på, og prosjektledelse innenfor byggebransjen kalles ofte "styring av kaos". Det å planlegge prosjekter lang tid i forveien på tradisjonell måte gjør at estimatene derfor er preget av høy usikkerhet, og tidsplanen kan til dels være vanskelig å følge. Innføringen av LPS er derfor ment for å øke sikkerheten på estimatene. Prinsippet går ut på at de involverte samarbeider om å planlegge aktivitetene så sent som det lar seg gjøre, og følger disse tett opp

ved bruk av PPU (Prosent Planlagt Utført). Dette gjøres ved at de begynner med målet, og arbeider seg tilbake i tid. Dette kan ha en effekt ved at flere spørsmål stilles tidligere i prosessen, og feil og misforståelser kan løses før de utføres. Prosjektet jobber mot et fastsatt mål, men i stedet for å “pushe” prosjektet fremover så blir informasjon, dokumenter og fremdrift sugd etter. LPS fungerer derfor som et planleggingsverktøy med pull-effekt. Under utarbeidelsen av slike planer er det viktig at de som er med på å utføre arbeidet får delta i prosessen. De involverte kan dermed se viktigheten av deres og andre sitt arbeid, og de kan få følelsen av å delta mer aktivt, samtidig som det er sosialt. Planene kan deles opp i tre nivåer, vist i figur 13. Prosessplanen er den overordnede planen for prosjektet. Her kartlegges hele prosjektet, og milepæler markeres. Deretter bruker en prosessplanen til å lage periodeplaner som er noe mer detaljert. Disse strekker seg 6-8 uker frem i tid, og det er her en tilrettelegger for aktivitetene som skal utføres. Ukeplanen er en detaljert plan som beskriver hva som skal gjøres 1-2 uker frem i tid. Planleggingen av ukeplanen skjer som regel på selve byggeplassen hvor de som jobber tett på byggeplassen er med på planleggingen, og helst representanter fra alle aktører. Planene lages ofte ved å henge post-it lapper med sekvensielle aktiviteter på en vegg eller tavle. På post-it lappene skriver man kort hva hver av aktivitetene går ut på. Dette gjør det enklere for andre involverte å følge planen, siden de vet hva de andre arbeider med og hvor lenge de arbeider med oppgaven. Ved planleggingen er det viktig at planene som lages er realistiske, og tillitt betyr ofte mye mellom aktørene. Om ikke planene er realistiske er det liten hjelp i PPU.

Planleggingen skjer på ulike nivåer, og jo nærmere utførelsen en kommer, jo mer detaljert blir planleggingen. Det er derfor viktig med gode kommunikasjonsplaner som til enhver tid blir fulgt opp. PPU brukes for å følge opp om planleggingen og utførelsen stemmer overens, og dersom de ikke samsvarer granskes både periodeplanen og ukeplanen nærmere for å unngå et slikt avvik neste gang en liknende situasjon oppstår (Fafø, 2011). Å granske dette nærmere kalles ofte for “Root Cause Analysis” (RCA), hvor en analyserer årsaken til uoverensstemmelsen samtidig som feilen løses. En av mulighetene man har til å analysere er å bruke “5 Whys”, som også er en del av lean filosofien. Dette verktøyet går ut på å spørre seg om “Hvorfor har dette skjedd?” til ulike årsaker. Om problemet er komplekst, kan en spørre seg selv flere ganger, mens ved enkle problemstillinger kan det være tilstrekkelig og spørre seg selv færre en fem ganger. På denne måten finner en ikke bare en løsning på problemet og går videre, men en finner også den bakenforliggende årsaken som gjør at en kan ta tak i problemet for å unngå det flere ganger (Bulsuk, 2009).

Studier har også vist at LPS bidrar til en bedre arbeidsplass med lavere sykefravær, færre ulykker og forbedret kvalitet i arbeidet som gjøres (Lean Construction Institute UK, 2005).

Opprinnelig er LPS ment for selve utførelsesfasen på byggeplass, men kan la seg overføre til prosjekteringsfasen også. På byggeplass kan eksempelvis tømreren skrive ”Monterer bjelke mellom akse A2 og A3” på en post-it lapp, mens under prosjekteringen kan RIB skrive ”Dimensjonerer bjelke mellom akse A2 og A3” på post-it lappen. Det er utviklet egne metoder å utvikle fremdriftsplaner for prosjekteringsmetoden som følge av LPS, som Design Delivery System™ og Responsibility-based Project Delivery™ (Ballard, Mossman, & Pasquire, 2010).



Figur 133: Oversikt over hvordan Last Planner System™ fungerer (Kruse Smith AS, 2011)

5.6 Lean Project Delivery – Integrated Design & Delivery

I dette delkapittelet vil oppgaven se nærmere på hvilke tre samarbeidsprosesser som bidrar til integrert prosjektering og levering vha. BIM. For de prosjekterende kan dette bety fordeler som høyere kvalitet, mindre rework og mindre tid brukt på å utarbeide dokumenter. Disse prosessene forklares kort under, og er (Ballard, Mossman, & Pasquire, 2010):

- Lean Project Delivery (LPD)
- Set-based Design
- Evidence-based Design

LPD er metode for å bedre samarbeid mellom byggherre, arkitekt, rådgivende ingeniører, entreprenører og andre involverte i et prosjekt, slik at alle deler en felles forståelse av målet. Meningen ved å inkludere så mange aktører samtidig gjør at flere aktiviteter kan utføres parallelt i stedet for sekvensielt.

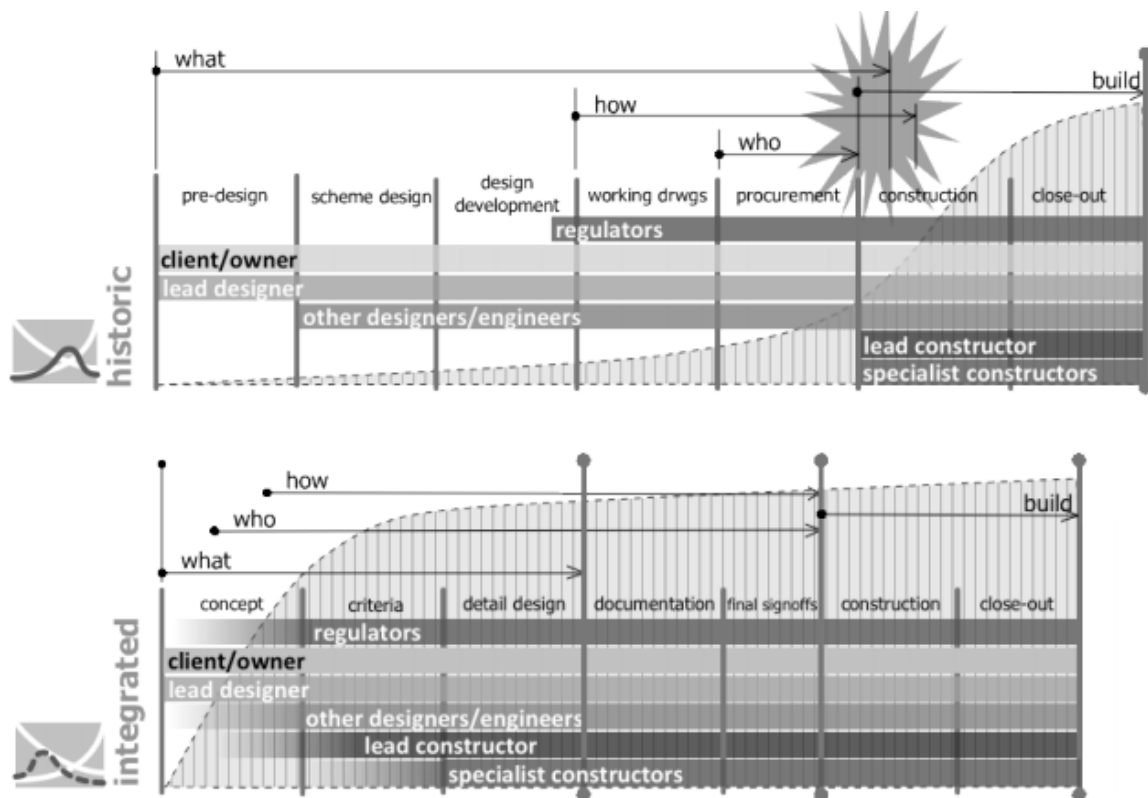
I *set-based design* settes et team med bred faglig kompetanse sammen for å finne flere mulige løsninger. Løsningene utvikles parallelt, derav navnet set-based, hvor man kommer frem til et sett av løsninger. Dette skiller seg fra point-based design hvor også flere løsninger utvikles, men bare en om gangen. Løsningene utvikles sammen og veies opp mot hverandre, hvor en reduserer antall løsninger frem til “the last last responsible moment” hvor teamet i samarbeid med byggherren finner frem til den beste løsningen. Dette er også kjent som “concurrent engineering”.

Evidence-based design hjelper de prosjekterende med å fine løsninger som brukerne verdsetter vha. å finne bevis for hva brukerne faktisk behøver. Denne metoden er fortsatt i startfasen, og behøver videre utvikling. Noen steder har metoden blitt brukt som i sektoren for helsebygg. En studie referert til i Ballard, Mossmann & Pasquire (2010) viste at pasienter som hadde utsikt mot naturen kom seg raskere etter operasjon, de fikk færre negative anmerkninger og brukt mindre smertestillende enn pasienter som hadde utsikt mot en murvegg.

Å måle verdi for kunden er relativt nytt, og er langt viktigere enn tidligere. Hver kunde har ulike preferanser, og verdsetter muligheter ulikt. For noen kunder kan muligheten til å utvide bygget senere verdsettes høyt, mens andre ikke har noen planer om å utvide og derfor ikke ser noen verdi i dette. For andre kunder, som naturvernere, kan utslipp av klimagasser under bygging og drift være viktige aspekter.

Viktigheten av “Integrated Project Design & Delivery” kan sees i figur 14. Figuren skiller mellom den tradisjonelle metoden “design-bid-build” og den integrerende metoden. Tradisjon viser at når entreprenørene kommer sent inn, oppstår det forvirring når de prøver å finne ut av hva som er prosjektert og hvordan de skal løse dette. Den integrerte metoden viser hvordan aktørene blir involvert langt tidligere, slik at en felles forståelse blir opparbeidet tidlig. Den skraverete bakgrunnskurven i figur 14 viser forståelsen til hele teamet underveis i prosjektet. Den tradisjonelle grafen viser at forståelsen øker kraftig etter hvert som utførelsesfasen gjennomføres, men den når ikke helt opp dit den burde være selv når prosjektet er ferdig. Den integrerte grafen viser derimot at den totale forståelsen øker kraftig allerede i konseptfasen. Grafen viser også at forståelsen er tilstede allerede før byggingen starter, i tillegg til at hele prosjektet kan utføres raskere.

Til venstre i figur 14 vises også de aktuelle MacLeamy kurvene som ble forklart i kapittel 4. Figuren viser at den integrerte metoden bidrar til høyere innsats tidligere i prosjektet enn ved tradisjonell metode.



Figur 144: Sammenlikning mellom tradisjonell og integrert arbeidsmetode (Ballard, Mossman, & Pasquire, 2010)

Bølviken m. fl. (2010) har listet opp følgende seks faktorer som de mener må være tilstede underveis når prosjektering og produksjon samarbeider:

- Arbeidsflyt (Connecting design task)
- Dialog
- Forventninger og krav (Expectations and demands)
- Avgjørelser (Decisions)
- Bemanning (Manning)
- Metoder og verktøy (Methods and tools)

5.6.1 Teknikker og verktøy i lean construction under prosjekteringsfasen

Allerede er verktøyene Last Planner SystemTM, kanban, omstillingsfokus, kvalitetssikring, kaizen, JIT og prinsippene for pull beskrevet i oppgaven, men det finnes flere teknikker som en kan benytte seg av for å redusere sløsing. Disse er som følger (Arge, Moe, & Westgaard, 2010):

- *Løse problemer i team:* Dersom problemer oppstår kan ideer fra flere personer være med på å finne gode løsninger. En får på denne måten et bredere syn på problemet. Om teamet er tverrfaglig vil en kunne oppnå et enda bredere syn på saken, og løsningen vil totalt sett muligens bli bedre for prosjektet. Ulempen er at nødvendigvis ikke alle har dybdekunnskap om det aktuelle problemet. Teamsamarbeid kan også føre til konstruktive diskusjoner som kan være med på å løfte prosjektet fremover ved at noen ideer trekkes frem og sees nærmere på.
- *Tverrfaglighet:* Å samarbeide på tvers av fagene kan fremheve økt forståelse av to grunner. Den første grunnen går ut på at de som ikke er fagspesialist opparbeider seg kompetanse, og øker dermed totalkompetansen sin. Den andre grunnen er at fagspesialisten forklarer andre hva som

inngår i faget, og kan dermed selv oppleve en ny forståelse og læring ved at de andre stiller spørsmål fra nye vinkler.

- *Dele erfaring, kunnskap, løsninger, informasjon og mål:* Det bør arrangeres møter og kurs hvor en kan ha muligheten til å dele erfaringer og lære av hverandre, bygge nettverk og dele ideer.
- *Redusere produksjonen:* Dette går mye på punkt 1 fra ”the seven wastes”, hvor en for eksempel ikke behøver å produsere unødvendige arbeidstegninger. En skal kun produsere det som er nødvendig for at de andre skal kunne utføre sin jobb.
- *Deferred commitment:* Her utsetter en beslutningene slik at man får gjennomtenkte beslutninger i stedet for forhastede beslutninger. Meningen er at prosjekteringen skal være mer verdifull siden løsninger som velges er fornuftige og vurdert over lengre tid.
- *Least commitment:* Teknikken likner en del på ”deferred commitment”, men er noe mer ytterliggående. Her utsetter en beslutningene så lenge at potensielle muligheter utelukkes, og en velger alternativet som overlever lengst under utvelgelsen.
- *Design redundancy:* Overdimensjonering av en løsning kan benyttes når raske beslutninger må tas, og løsningen er vanskelig å finne, selv i team. Et eksempel på dette er prosjektering av et dekke som må gjøres innen en tidsfrist, men konstruktøren vet ikke hvor stor belastningen vil bli fordi det avhenger av flere parter som ikke har oppgitt sin informasjon som vil påvirke lastberegningen. Konstruktøren må derfor ta et valg, og kan velge å overdimensjonere fordi muligheten til å vente på informasjonen, og dermed lasten, ikke er et alternativ.

5.7 Lean filosofi hos Rambøll – En av Nordens største rådgiverbedrifter

Rambøll har tidligere uttalt at de vil implementere lean i deres organisasjonskultur som et ledd i deres utviklingsstrategi. De har som mål å øke profitten ved å øke omsetningen. Rambøll har satt seg følgende mål (Rambøll, Desember – 2009:2):

- ha fokus på å skape verdi for sine kunder.
- ha enkle og pålitelige prosesser som kan brukes av andre innad i bedriften.
- øke jobbtilfredsheten ved å ha mer kontinuitet, og mindre stress i prosjekter og oppgaver

Disse målene skal nås ved å fokusere på teamarbeid, kontinuerlig forbedring og inkludere alle. Teamene skal helst bestå av personer med ulik personlighet og fagretninger, hvilket kan bidra til et bredere syn og flere potensielle løsninger. Dersom en velger å gå for individuelt arbeid vil en sannsynligvis ikke inkludere like mye kunnskap og bredde som en kan oppnå ved teamarbeid.

Kontinuerlig forbedring gir sjeldent revolusjonære innovasjoner, men bidrar heller til stadige inkrementelle innovasjoner. Disse inkrementelle innovasjonene er samtidig enklere for de ansatte å tilpasse seg til enn større endringer.

Å inkludere alle vil gjøre at en oppnår et bredere syn og flere inkrementelle innovasjoner som allerede er nevnt. Dette er fordi de som arbeider tett på oppgaver ofte har mest kunnskap om teamet, og innehar mye erfaring. Dette bidrar til at ikke kun ledere sitter å lager planer ut ifra egne ideer og meninger, men tar andres syn også i beregningene. (Rambøll, Desember - 2009)

Rambøll sin olje- og gassavdeling har utarbeidet 12 verktøy, kalt "12 tools", for å gjøre prosjektene "slankere" vha. lean filosofien. Disse verktøyene kan Rambøll sin bygg og designavdeling adoptere og ta lærdom av. Noen av disse er allerede i bruk under arbeidet med Nasjonalmuseet, og vil vises nærmere i kapittel 7. De 12 verktøyene er (Rambøll, Desember - 2009):

1. Prosjektmål

Prosjektmålene skal være klare slik at alle parter kan forstå de, og dermed unngå misforståelser. Målene bør beskrive hva kunden vil ha, når det skal leveres og hvorfor kunden trenger produktet. Dette bør diskuteres direkte med kunden for å oppnå et optimalt planlagt resultat. Dette kan gjøres gjennom brainstorming hvor størrelsen på brainstorminggruppen er tilpasset størrelsen på prosjektet. Videre kan en sette opp grunner til å utføre aktivitetene, hva som skal til for å oppnå suksess, og alle spesifikasjoner som produktet skal inneholde. En oversiktlig plan bør dessuten hele tiden henge på veggen for å lettere se alle aktiviteter slik at de ikke glemmes. Rambøll har dessuten satt opp fem kriterier til målene som de har valgt å kalle SMART, og står for Spesifikk, Målbart, Akseptert, Realistisk og Tidsbegrenset.

2. Kundeforventninger

Under hele prosjektet må en ta hensyn til kunder og brukere, og hvordan de påvirkes av valgene som tas. Rambøll har uttalt i "12 tools" at "å utvikle løsninger for andre, krever at en forstår deres behov" (Rambøll, Desember – 2009:10). Forventninger fra kunder og brukere må på forhånd identifiseres slik at en gjennom alle prosesser har en felles oppfatning av resultatet. Et forslag er å sette opp en vektet matrise hvor en eksempelvis inkluderer påvirkning, interesse og signifikansnivå og om de skal invitere de involverte for å finne løsningen. Et annet forslag er å løse det på samme måte som en finner prosjektmålene på i punkt 1.

3. Høy arbeidsmengde i starten av prosjektet / Frontloading:

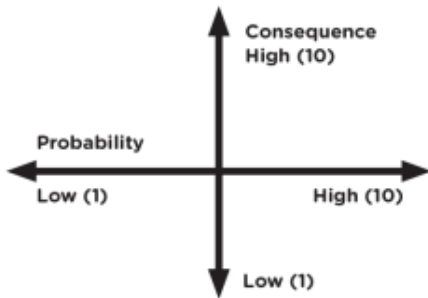
Rambøll ønsker å ha en bratt læringskurve i starten slik at informasjon og kunnskap om prosjektet oppstår så tidlig som mulig i prosessen. Dette skal føre til at flere beslutninger tas tidligere, og en unngår samtidig kostbart rework senere. Rambøll sin metode for dette kalles "200 spørsmål", og går ut på å stille mange spørsmål, som både er forhåndsbestemte og nye som dukker opp under brainstormingsmøte. Dette er spørsmål som sannsynligvis hadde oppstått senere i prosjektet. Her deles teamet opp, og har 1-2 uker på seg til å finne svarene på spørsmålene. Dette gjør de ved beregninger, observasjoner, besøke entreprenører, intervjuer, og prate med kollegaer som har viktig erfaring og kunnskap på områdene. Dette kan være spørsmål om tid, mål, kriterier (SMART), tekniske løsninger, hvor anvendelige løsningene er, kvalitet og kostnader. Dette fører til at flere områder tidligere belyses, og blir satt fokus på.

4. Synlig/visuell planlegging

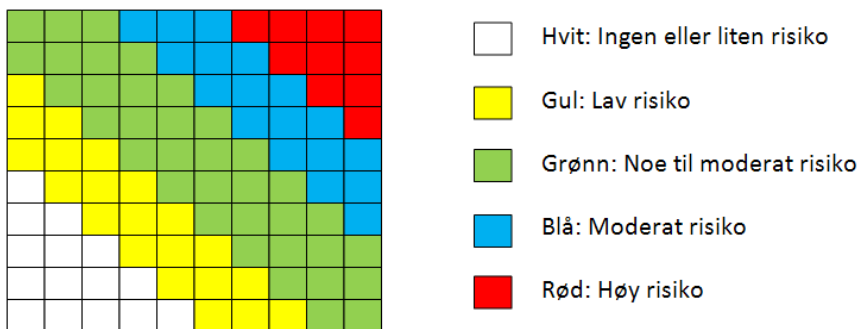
Her brukes prinsippene fra LPS til å utarbeide planer på ulike nivåer. Først utvikles en plan i fellesskap hvor representanter fra alle aktører bør delta i prosessen. Planen bør være stor og oversiktlig, helst ved bruk av poster eller tavle. Deltakerne bør på forhånd vite hvor lang tid alle deres aktiviteter tar, slik at tidsbruken på møtet er effektivt. Først lages en hovedplan over hele prosjektet, for deretter å lage en mer detaljert plan over de neste ukene (Rambøll bruker vanligvis 8 uker). En oppnår dermed både en oversiktlig plan, samtidig som en ved siden ser en mer detaljert plan over nærmeste fremtid. Ulike fagretninger bør bruke forskjellige farger på post-it lappene som settes opp. Det er anbefalt med hyppig bruk av milepæler, minimum ukentlig. Dette gjør planen mer oversiktlig med detaljer, samt at det kan øke motivasjonen til ansatte hver gang en milepæl er nådd. En annen motiverende faktor er det at flere deltar i prosessen, og siden de står på tavlen kan de føle at de har et ansvar og bidrar til verdiskapningen. Når planen er ferdig planlagt, bør en gå over den sammen slik at kollisjoner underveis unngås. Flere av de ansatte har uttalt seg positivt om dette systemet, og sagt de får en bedre oversikt over de andre, over prosjektet og at de får et klarere syn (Rambøll(Olje/gass), 2009).

5. Risikoleidelse:

Det anbefales å benytte et koordinatsystem som viser sannsynligheten for at risikoen oppstår, samt alvorlighetsgraden av konsekvensen dersom risikoen oppstår. Et verktøy for dette er vist i figur 15. Resultatene kan føres inn i en risikomatrix som vist i figur 16. Dersom en har fokus risiko i alle faser av prosjektet, spesielt i startfasen, kan det være enklere å unngå potensielle risikoer. Grunnen til at en hele tiden må fokusere på risiko, er fordi nye uforutsette situasjoner stadig kan oppstå. Slike risikomøter kan fastslå sannsynlighet og alvorlighetsgrad ved risikoen. En kan dessuten komme opp med preventive tiltak som har innvirkning på sannsynligheten, og planer som reduserer konsekvensen dersom risikoen inntreffer.



Figur 155: Verktøy for å fastsette risikoen i et byggeprosjekt (Rambøll, Desember - 2009)



Figur 166: Risikomatrix (Larson & Gray, 2011)

6. Prosjektorganisering

Dette går ut på å forme klare roller for alle deltakere i prosjektet. Deltakerne bør bli enige om hvilke oppgaver hver enkelt rolle har. På denne måten avklares alle aktiviteter med tilhørende ansvarsfordeling. Dette gjør også at alle deltakere vies de oppgavene de har best forutsetninger for å klare. Her bør de andre deltakerne sette visse krav slik at de ansvarlige føler et ”press” i positiv forstand. Dette kan føre til økt effektivitet. Som i punkt 4, bør en også her fastsette tidsbruken til hver enkelt aktivitet.

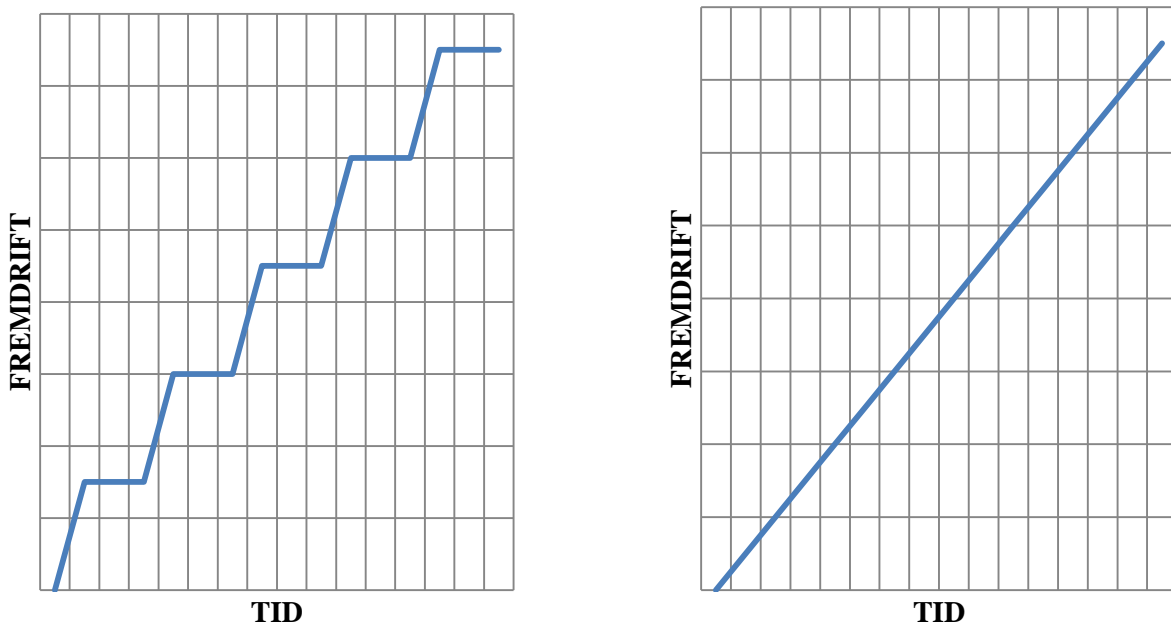
7. Kontinuerlig forbedring og statusmålinger:

For å kontinuerlig kunne forbedre seg, må en vite hva en kan forbedre seg på. For å få vite dette kan en måle såkalte KPI'er (Key Performance Indicators), som gir status på områder en vil kontrollere underveis i prosjektet (som eksempelvis milepæler, budsjett, fremdrift), eller etter at prosjektet er over (som kundetilfredshet, internundersøkelse i teamet). Ved utvelgelse av hva KPI'ene skal måle, bør en ta flere hensyn som eksempelvis at de bør være enkle å måle og at det ikke bør være for mange KPI'er å måle. Dessuten bør en hele tiden huske at hensikten med KPI'er er å få informasjon om hvor en bør forbedre seg, og at det ikke er målingen som står i fokus. Det er også anbefalt å bestemme optimalverdier for

KPI'ene på forhånd, og hvor ofte KPI'ene skal måles. Disse optimalverdiene kan settes med hensyn på benchmarking verdier for andre liknende bedrifter eller prosjekter.

8. Oppfølging av prosjektet

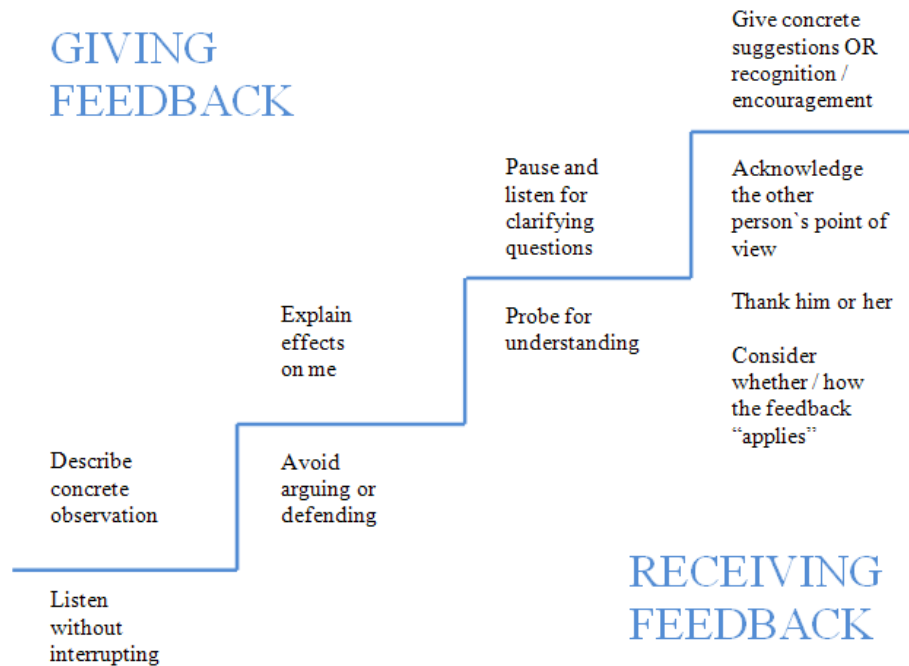
Dette punktet likner mye på punkt 7 “kontinuerlig forbedring og statusmålinger”, men bidrar allikevel til viktig informasjon. Rambøll anbefaler ukentlige møter hvor en fokuserer på prosjektstatus. Slike møter bør maksimum være på 30 minutter, og er ofte kalt ”standup møter”. Hensikten er at en skal informere de andre om status, og derfor fokusere på hva som er blitt gjort siden sist, dagens status, og hva som skal gjøres frem til neste møte. Dersom noen rapporterer om problemer, skal ikke disse løses under slike møter, men senere på egne problemløsningsmøter. Det er anbefalt å ha en fast dag hver uke til samme tid, hvor en bruker samme agenda. Slike møter bør derfor rapportere om KPI'er, milepæler og eventuelle endringer i risiko. Ved å følge opp prosjektet tett vil en samtidig unngå “start-stopp-start” prosesser som er vist til venstre i figur 17. Under en prosjektet skal en ifølge lean filosofien ha en arbeidsflyt som vist til høyre i den samme figuren.



Figur 177: Flyten i arbeidet ved ulike arbeidsfilosofi. Grafen til venstre viser hvordan fremdriften til tradisjonelt arbeid ofte er, mens grafen til høyre viser hvordan arbeidet skal flyte når en følger lean filosofien (Rambøll, Desember - 2009)

9. Tilbakemeldinger / Feedback:

Det å gi og motta gode tilbakemeldinger hjelper alle parter til forbedringer. Når tilbakemeldinger skal gis bør en være hensynsfull, konkret og ikke minst konstruktiv. En slik prosess kan være inspirerende, og føre til høyere effektivitet. Hvordan Rambøll foreslår at en både skal gi og motta tilbakemeldinger vises i figur 18. Her kommer det frem at når en skal motta tilbakemeldinger bør en høre etter uten å avbryte når noen forklarer situasjonen, og at en skal unngå å krangle og forsvaring når noen forklarer konsekvenser. Om en skal gi tilbakemeldinger bør en stoppe og opp og høre etter hva mottakeren sier når han/henne forsøker å forstå hva tilbakemeldingen betyr. En kan også fremme konkrete forslag til hva som kan gjøres når tilbakemeldinger gis, mens mottakeren kan prøve å se tilbakemeldingen fra en annen sitt ståsted.



Figur 188: Forslag til hvordan en bør gi og motta tilbake meldinger i Rambøll (Rambøll, Desember - 2009)

10. Intern prosjektevaluering

I denne prosessen reflekterer teamet over hva de har lært av prosjektet i løpet av et møte. De kan dermed se på hvilke områder de kan forbedre seg på (de skal søke etter kontinuerlig forbedring), og hvilke positive erfaringer de kan ta med seg videre til neste prosjekt. På dette møtet kan de benytte seg av figur 18 om hvordan en skal gi og motta tilbakemeldinger.

11. Kundetilfredshet:

Rambøll bør ha tett kontakt med kunden før, underveis og etter prosjektet. For å lære mer og få mer erfaring bør de spørre kunden om hvordan de har opplevd prosjektet og produktet. Her kan bedriften lære av flere enn sine egne ansatte. De kan sammen med kunden reflektere over temaer som ledelse, resultat, deltakelse og om fremtidige forbedringsområder.

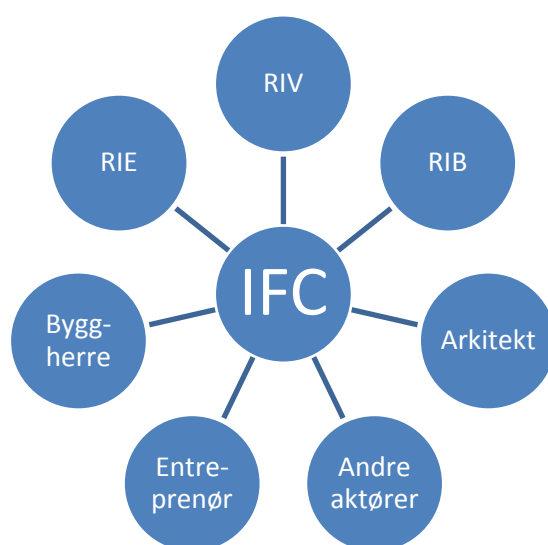
12. Beskrivelse av prosjektet:

For å fokusere på optimalt resultat kan prosjektdeltakerne gå sammen om å lage en oversikt av prosjektet i form av en poster. Her kan de inkludere flere av de tidligere punktene som er nevnt som prosjektmål, kritiske temaer, hva som skal leveres, budsjett, risikoanalyse, oversikt over prosjektdeltakere, milepæler og når posteren sist er oppdatert. Å ha den visuelle oversikten sammen hjelper ofte teamet, slik som nevnt i punkt 4.

6 ANALYSE AV KOBLINGEN BIM OG LEAN UNDER PROSJEKTERINGSFASEN

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

På mange måter stemmer sitatet av Porwal når det er snakk om kombinasjonen BIM og lean. Det viser seg at ved å bruke BIM under prosjekteringen, så implementerer man samtidig flere elementer fra lean construction. Hovedprinsippet ved lean filosofien er å eliminere sløsing, noe en også kan gjøre ved å bruke BIM på den riktige måten. Denne koblingen har flere etterspurt, men har av en eller annen grunn fått lite fokus. Ved å fjerne prosesser som ikke er verdiskapende, øker en samtidig andelen av verdiskapende aktiviteter. For eksempel reduseres antall produserte tegninger fordi en forholder seg til en modell under hele prosjektet. Denne modelleringen gjør det unødvendig å produsere snitt- og plantegninger, fordi modelleringsegenskapene gjør at disse kan hentes rett ut av modellen. Med hjelp av IFC-formatet kan ulike fagretninger utvikle en samkjørt modell, vist i figur 19. Figuren viser hvordan IFC-formatet kan spre BIM-modellen ut til alle aktørene på prosjektet. Bruksgraden av IFC i BIM-modellen kan være av ulik grad. For eksempel kan ingeniørene kan benytte IFC-formatet til å kjøre kompliserte analyser av modellen, entreprenøren kan kjøre fremdriftsscenarioer vha. 4D, og byggherren kan bruke IFC for den visuelle biten.



Figur 19: Hvordan filformatet IFC kan utnyttes av ulike aktører

Byggebransjen er i dag under påvirkning av både BIM og lean construction, men på hver sine måter. Både BIM og lean skal effektivisere byggebransjen, men lite arbeid er til nå gjort på koblingen mellom disse områdene. Det har derimot vist seg at flere synergier eksisterer mellom BIM og lean. Noen av disse synergiene vil diskuteres nærmere i dette kapitlet, sammen med mulighetene og utfordringene for BIM og lean.

6.1.1 Variasjon og “Integrated Design & Delivery”

I lean filosofien er en opptatt av å redusere antall variasjoner, slik at bedre flyt kan oppnås. I en BIM-modell vil en også ha færrest mulig endringer slik at en slipper å gå gjennom de samme aktivitetene gang på gang. Dersom en klarer å oppnå dette vil en fjerne rework, som dermed også reduserer sløsing. Under prosjekteringen legger en føringene for det videre arbeidet. Gjennom bruk av “Integrated Design & Delivery” kan en starte samarbeidet tidligere. Om samarbeidet starter tidligere, med mange involverte kan en se av figur 14 at prosjektene gjennomføres raskere, og med langt høyere forståelse.

Innen “Integrated Design & Delivery” er meningen at en gjennom bedre samarbeid skal øke kvalitet og verdi for kunden, og en måte å gjøre dette på er ved å benytte seg av BIM. En har bl.a. muligheten til å bruke metoden Set-based Design og Evidence-based Design. Fordelen med set-based er at en har et bredt faglig team som skal sette sammen flere ulike løsninger samtidig. Et slikt bredt spekter kan gi mange nye synspunkter som kan være verdt å ta med videre i utviklingsprosessen, samtidig som en kan få nye ideer til kombinasjoner av de andre forslagene. Ulempen er derimot at teamet ikke har spesifikk dybdekunnskap om et område. Som sagt kan det være en fordel for å heve mangfoldet av ideer, men dersom en skal utvikle en virkelig god ide, bør en ha fagpersonell som er svært gode på området. En annen ulempe ved å ikke ha dybdekunnskapen i teamet, er at potensielt gode løsninger kan bli stemt ut fordi teamet ikke ser hvilke muligheter som ligger bak forslaget.

Fordelen med evidence-based er at en legger opp til å prosjektere etter kundens behov ut ifra erfaringer, bevis og empiri. På denne måten vil en kunne vite hva kunden verdsetter. I noen tilfeller er det ikke kunden selv vet hva han/hun verdsetter høyt, noe som gjør denne metoden velegnet. Derimot er det en ulempe ved at innhenting av empirien kan ta lang tid, dersom empirien ikke allerede er klargjort gjennom tidligere statistikk eller andre nedskrivninger. En annen fordel er at en ikke alltid vet hva en skal se etter, noe som kan gjøre det vanskelig å vite hvilke KPI'er som skal legges til grunn under innhenting.

Ved å bruke “Integrated Design & Delivery” samarbeider en tett under prosjekteringen, noe som gjør at en kan få mer effekt ut av BIM-modellen. Som både Moum og Eastman nevnte i kapittel 3, krever bruk av BIM samarbeid mellom flere aktører. De prosjekterende kan få verdifull informasjon fra byggherren som at bygget blir mer verdifullt dersom antall søyler kan reduseres. Innspill fra entreprenøren kan også være verdifull, som at entreprenøren kommer med forslag til hvordan antall søyler kan reduseres gjennom erfaring fra deres tidligere arbeid. En sparer dermed store mengder tid og arbeid ved å få flest mulig involvert fra start av. De prosjekterende kan dermed sette opp flere alternativer som prøves ut gjennom analyseredskaper, og under samarbeid med de andre aktørene for å finne en løsning hvor antall søyler reduseres slik at en sikrere kan prosjektere ut ifra hva kunden verdsetter og ønsker. Muligheten for å ta et godt valg tidlig som vil gi god kvalitet er dermed høyere, noe som igjen reduserer sjansen senere rework.

I prosjekteringsfasen kommer en sjeldent unna å måtte gjøre endringer underveis i arbeidet. Jo tidligere en har fokus på dette, jo tidligere kan en gå videre med en valgt modell. BIM-modellen kan her være nyttig i form av at små endringer raskt kan gjøres. Dette skaper gode muligheter under for eksempel set-based design, hvor forslagene som utarbeides, raskt kan endres. Dermed har en mulighet til å lage flere liknende alternativer, før endelig forslag velges.

Redusere variasjon fra lean filosofien kan også gjøres ved å bruke løsninger fra tidligere BIM-modeller hvor en har liknende tilfeller. Fordelen er da at en har prøvd ut løsningen ved et eller flere tidligere prosjekter, og en kan dermed ha informasjon om hvilke fordeler og ulemper løsningen har (eksempelvis får en vite at løsningen er svært holdbar, men vanskelig å montere under utførelsen). En har tidligere modellert opp løsningen som gjør at den raskere kan modellere løsningen. En ulempe kan derimot oppstå dersom en er i et tvilstilfelle om samme løsning skal benyttes. Om en velger den raske metoden ved å bruke en tidligere løsning, kan en foreta en gå for en løsning som ikke er god nok. Dersom en velger å forsøke å finne en annen løsning, kan det hende en kommer opp med en helt ny løsning som i dette

tilfellet vil være mye bedre egnet. Slike tvilstilfeller bør derfor analyseres en ekstra gang for å være sikker på at en tilfredsstillende løsning blir valgt.

BIM-modellen bidrar til lite variasjon i modellen ved at alle endringer og oppdateringer gjøres automatisk i alle modellens lag. Dersom en endrer veggykkelsen i BIM-modellen når modellen vises i 3D, vil alle de andre dimensjonene også endres samtidig. Det betyr at en slipper å endre veggykkelsen i modellen når den vises i 2D, eller under andre “view-vinkler”. Dette kan også endre 0D, hvor en bl.a. kan få opp materialister til produksjon. Det arbeides også med å utvikle kalkyler som automatisk vil kunne oppdateres når slike endringer gjøres. En fremtidig løsning vil sannsynligvis kunne vise konsekvensen av en slik endring med hensyn på pris, materialbehov, energibehov, tidsbruk, osv.

6.1.2 Økt fleksibilitet

I lean er en interessert i å øke fleksibiliteten i form av bl.a. å inneha fleksible ressurser. Lean søker etter å maskiner og arbeidere som kan omstille seg raskt og billig dersom behovet oppstår. Som nevnt i sist delkapittel kan en raskt gjøre endringer i gamle løsninger i BIM-modeller. Dette vil også gjelde i dette delkapittelet. Gjennom å kunne endre tidligere løsninger har en fleksibilitet som en tidligere ikke hadde. Slike endringer kan gjøres raskt og billig, hvilket nettopp er poenget fra lean.

BIM-modellen har i tillegg muligheten til å analysere helt nye løsninger for å se hvordan de vil ha innvirkning på bygget. Et eksempel på fleksibilitet vil her være en kunde som er fornøyd med designen av bygget, men analyseverktøyet viser at løsningene ikke er tilfredsstillende i forhold til krav fra myndighetene. Dermed har man muligheten til å gjøre små endringer i modellen som gjør at en kommer innenfor myndighetskravet fordi modellen lett kan endres, og deretter kontrolleres mot feil og mangler.

Fleksibilitet er også koblet opp mot arbeidere. Dersom en setter sammen et team med bred faglig kompetanse (som ved set-based design) kan en komme opp med mer fleksible løsninger enn om en bare en faggruppe hadde blitt brukt. Arbeider eller team som har multikompetanse er finner ofte mer fleksible løsninger enn andre, bl.a. fordi de tar flere hensyn under utformingen av løsningene.

Et annet poeng ved fleksibilitet hos BIM, er at en har muligheten til å sette flere fagmodeller sammen ved eksportering til IFC-formatet. Når RIB, RIE, RIV og arkitekt arbeider bruker de gjerne hver sine fagmodeller etter hva som best egner seg for deres fag. Ved å sette disse modellene sammen til en felles modell, vil en ha mer fleksibilitet enn tidligere. Dette åpner for helt nye muligheter som kollisjonskontroll og fullstendige analyser av alle fag sammen. Et fleksibelt team gjør også at en har muligheten til å utføre flere aktiviteter parallelt, slikt som ved Lean Project Delivery. En ulempe ved muligheten til å kunne sette modellen sammen vha. IFC-formatet er at ikke alle detaljene følger etter ved eksportering fra det “native” formatet. Slike problemområder er vanligvis data som inneholder komplisert geometri slik som en kurvet vegg. For å løse slike problemer brukes ulik praksis, med varierende hell. Et eksempel er en trapp som ble utformet ved at en vegg ble “klippet” ned til å likne en trapp. Dette gjør at informasjonselementet i BIM mister mye av meningen sin. Når en trykker på trappeobjektet vil en få opp informasjon om en vegg i stedet for informasjon om en trapp. Dette vil igjen ha innvirkning på produksjonslister og analyser som gjøres. En annen metode som brukes i praksis hvor en vet at IFC-filen ikke vil overføre all nødvendig informasjon, er å legge ved det “native” formatet ved siden av IFC-formatet.

6.1.3 Visuelle effekter

Innen lean er det viktig å se for seg prosessen som skal skape flyt i arbeidet, slik at en bl.a. kan unngå for mye variasjon. I BIM er den visuelle effekten meget viktig, og har stor innvirkning på forståelsen av bygget. Den visuelle effekten virker i alle prosjektets faser, men er særlig viktig under prosjekteringen. Dersom en tar i bruk “Integrated Design & Delivery” kan en vha. BIM-modellen samarbeide på et helt nytt plan enn tidligere. Ved å ta i bruk BIM fra tidlig av vil alle involverte se hvordan bygget er tiltenkt å se ut når det er ferdig. Det har vist seg på flere kontraheringsmøter at entreprenører som har gitt fra seg et

tilbud har fått seg en “aha” opplevelse i det de ser BIM-modellen (ikke alle entreprenører åpner IFC-filen selv om de prosjekterende sender ut BIM-modellen).

Bygninger i dagens samfunn blir stadig mer komplekse, og inneholder ofte langt flere elementer enn tidligere. Å være prosjekt- eller prosjekteringsleder vil kreve stor forståelse og innsikt, noe BIM-modellen bidrar til. Dersom BIM-modellen tas frem under prosjekteringsmøter vil teamet kunne gå gjennom den sammen, og avklare eventuelle misforståelser. Den visuelle kontrollen en kan utføre på disse møtene kan være til stor hjelp. Når en beveger seg gjennom modellen vil en kunne kontrollere modellen visuelt på en helt annen måte enn tidligere. Å se ventilasjonskanaler kollidere med søyler vil kunne oppdages mye raskere med en slik modell. En fare kan være å bli lurt av de visuelle ved at løsninger ser ferdige ut, uten at de faktisk er det.

Egenskapen 4D er også en fordel hos BIM-modellen. Ved å kunne simulere byggeprosessen vil en kunne få en større oversikt over hva som må gjøres til enhver tid under prosjektet. Dette kan være til stor hjelp under fremdriftsplanleggingen, noe som diskuteres i neste delkapittel.

6.1.4 System – Pull vs. Push

I lean filosofien fremheves pull som systemet en skal styre etter. I praksis vil det derimot være en mer balansert fordeling mellom pull og push. Tradisjonelt har byggeprosjekter blitt styrt etter push-prinsippet, ved planlegging i MS Office for eksempel. Her begynner man ved prosjektstart og arbeider seg fremover til prosjektslutt, i motsetning til hva en gjør under Last Planner SystemTM.

Det vil også være mulig å overføre pull-systemet til prosjekteringsfasen. Et godt eksempel på dette vil være etterspørsel av tegninger og modeller til riktig tid med riktig mengde informasjon. En RIB er ofte avhengig av tegninger eller modeller fra arkitekten for å kunne komme videre i sitt arbeid. For å unngå at RIB sløser med tiden og må vente, bør arkitekten ha oversendt modellen til riktig tid. Det er her viktig at mengden med informasjon i BIM-modellen er tilpasset neste bruker. For lite informasjon vil være uheldig og vil kreve tid til unødvendig arbeid, eller at brukeren tar flere forutsetninger. For mye informasjon vil heller ikke være heldig for prosjektet. En grunn kan være at en har utført unødvendig arbeid, en annen grunn er at det ikke er sikkert all informasjonen vil bli benyttet, og en tredje grunn er at brukeren kan bli forvirret av informasjonen.

En fordel med pull-systemet er at det som etterspørres skal komme “Just-In-Time” til bruk. En kan dermed unngå unødvendig opplagring av dokumenter, tegninger, osv. som en ikke behøver før en gang i fremtiden. Det er også andre fordeler ved pull som at en kun produserer det som etterspørres, og unngår dermed overproduksjon. I tillegg vil en utnytte informasjonen og dokumentene (materialer i produksjon) en får bedre, enn om en skulle fått et større lager om gangen. Det en mottar får større oppmerksomhet, som igjen gjør at en lettere legger merke til feil og mangler slik at dette kan rettes opp. I tillegg forsøker en også å finne årsaken, slik at samme feil gjøres igjen senere. En ulempe ved pull-systemet er at verdikjeden er svært sensitive for forsinkelser, siden en ikke har et lager å ta av.

6.1.5 Seks aktuelle koblinger mellom BIM og lean

Lean Construction Institute har listet opp følgende seks punkter som de mener viser en kobling mellom BIM og lean construction; the seven wastes, pålitelig arbeidsflyt, synkronisering, redusert omstillingstid, gjennomsiktighet og pull. Hvilke muligheter dette kan skape, vil drøftes punktvis i teksten under.

The seven wastes

Å overprodusere varer og tjenester regnes som sløsing. I prosjekteringsfasen kan dette gjelde produksjon av tegninger, modeller og dokumenter. Dvs. at dersom en RIB velger å benytte bruker tid på å utvikle løsninger for alle koblinger mellom søyle og bjelke i hele bygget basert på materiale fra forprosjektet kan det senere vise seg at flere av løsningene må forkastes fordi en annen søyle velges. Om de prosjekterende holder seg til fremdriftsplanen som er satt opp, vil de kun produsere hva som det er behov for.

Ved å være nøyaktig og detaljert under modellering av bygget kan en oppnå mindre sløsing. En utfører mindre unødvendig arbeid og en kan i større grad unngå at noen må vente. Denne detaljerte modelleringen oppstår gjerne som en kombinasjon av nøyaktig kvantitativ og kvalitativ informasjon som er lagt inn i modellen, i tillegg til at flere kollisjonskontroller er utført for å unngå konflikter mellom objekter. Uforutsette endringer kan dermed unngås i større grad, hvilket kan bidra til blant annet redusert unødvendig prosjekteringsarbeidet. Slik nøyaktighet kan også bidra til mindre ”rework”, og færre usikre variabler.

Pålitelig arbeidsflyt

God visualisering av bygget kan bidra til å øke forståelsen av hva som skal gjøres under prosjektet og hvordan bygget skal bli seende ut, som kan føre til bedre kommunikasjon mellom alle parter. Ved å benytte “Integrated Design & Delivery” kan flere aktører involveres tidligere i prosessen. Et godt samarbeid kan også skape god kommunikasjon som er viktig for å oppnå en pålitelig arbeidsflyt.

Gjennom egenskapen 4D i BIM-modellen har en også mulighet til å simulere byggeprosessen. Dette kan skape bedre forståelse, som igjen kan gi mer detaljerte estimater. Gode estimater kan gi bedre koordinasjon under fremdriften i prosjektet. Et viktig verktøy fra lean construction for å styre arbeidsflyten er Last Planner System™. Gjennom en høy grad av integrerte aktører og simulering av prosessen kan en sette opp en pålitelig fremdriftsplan for å styre arbeidsflyten. Dette bør gjøres med jevne mellomrom for å kjøres i tråd med LPS, slik at korte, detaljerte fremdriftsplaner benyttes. Under prosjektarbeidet kan en også følge progresjonen til prosjektet ved bl.a. å måle PPU, slik at en holder seg til oppsatt tidsplan og budsjett.

Synkronisering

Med dagens teknologi kan prosjektteamet dele all informasjon online. Dette kan bidra til at alle får siste oppdaterte informasjon. Dette legger opp til en mer synkronisert prosess enn tidligere. Når en arrangerer møter, forventer en at alle aktørene har holdt seg oppdatert på ny eller endret informasjonen som er delt.

Et annet poeng er at BIM-modellen kan synkroniseres med ulike fagmodeller, og er kompatibel med diverse analyseverktøy. Ved å benytte åpne IFC-filer, kan informasjon gjøres tilgjengelig for andre aktører. Dette gjør at de har mulighet til å se hva andre har prosjektert. Informasjonen er dermed tilgjengelig på en mer brukervennlig måte enn tidligere, fra de som skal prosjektere til de som skal drifte bygget. Fordelen er dermed at en kan sitte på sitt eget kontor å forstå andre fag bedre enn før. Men en har muligheten til å øke forståelsen ytterligere dersom en møtes ansikt-til-ansikt. Dette kan være noe av ulempen ved BIM; at en mener det vil være unødvendig med enkelte møter fordi en tror at en har forstått innholdet. Ifølge Moum og Eastman er det viktig at en bruker BIM-modellen som et sosialt verktøy hvor en også tar hensyn til at flere aktører må inkluderes.

Redusert omstillingstid gir økt effektivitet.

Redusert omstillingstid kan oppnås ved å tilrettelegge for optimalt ressursbruk og arbeidsoppgaver. En må legge til rette for at alle nødvendige ressurser er tilgjengelige når de trengs, og at de er vedlikeholdt. Dette kan blant annet gjøres ved å fokusere på riktig design av arbeidssonene slik at en hele tiden har en flyt og kontinuitet i arbeidet sitt. Eksempelvis kan en rådgivende ingeniør ha informasjonen tilgjengelig i umiddelbar nærhet, slik at det å omstille seg til andre oppgaver går raskere enn tidligere. I prosjekteringsform kan dette være omstilling fra dimensjonering av et dekke til å finne en løsning på kobling mellom bjelke og vegg. Et annet eksempel kan være å ha de nødvendige lisensene til et modelleringsprogram, slik at en unngår å vente på at andre skal lukke dette programmet.

Gjennomsiktighet av prosjektet

Gjennom åpne IFC-modeller kan alle aktørene få innsikt i prosjektet. En kan dermed følge fremdriften på prosjekteringen etter hvert som BIM-modellen oppdateres. IFC-formatet gjør at en får en transparent modell som en kan "se gjennom". For eksempel kan en se hvor mye RIB eller RIE har utført, og sammenlikne dette med hva som skulle vært gjort. Dette gir muligheter som sammenlikning av utført arbeid og fakturering av timeforbruk. På denne måten kan en derfor få et riktigere bilde av hvordan prosjektet ligger an. Ved å være gjennomsiktig, kan en letter legge opp til bedre koordinasjon mellom de ulike fagene. Det at prosjektet blir gjennomsiktig gjør også jobben til prosjekteringslederen langt enklere ved at han/hun har flere muligheter enn før. Bl.a. kan en se på en samkjørt modell med alle fag for å få et oversiktsbilde av prosjektets form, ned til hver minste detalj i hver enkelt fagmodell.

Pull-prinsippet

Ved pull-prinsippet etterspørres det som skal produseres, slik at en unngår press og opphopning av inventar. Fremdriften er da ment å oppnå en passende arbeidsflyt. Dvs. at for eksempel informasjon, dokumenter og tegninger som produseres under prosjekteringen, skal etterspørres pga. behov. En kan dermed unngå å bruke tiden på unødvendig arbeid som ikke er verdiskapende.

Det som skal leveres i en BIM-modell kan styres etter LPS slik at en får pull-effekt. Informasjonen om modelleringen som skal være gjort i løpet av tid, må være tilpasset mottakeren. Dvs. at verken for mye, eller for lite informasjon skal leveres. Tilpasset informasjon vil dermed si at informasjonen som overleveres skal være tilstrekkelig for at mottakeren skal kunne utføre sin jobb ihht. til LPS.

Et annet element ved koblingen BIM og lean – Minimalisering av inventar

Et annet element ved BIM og lean er minimalisering av inventar. På byggeplasser styrer en vanligvis etter push-prinsippet med planlagte prosesser og materialbestillinger vha. disse prognosene. Prognosene kan gjøres mer nøyaktig ved bruk av 4D i BIM. Ved styring vha. pull bestilles materialet etter etterspørsel. Begge metoder kan på hver sin metode forsøke å minimalisere inventaret, men de har begge også fordeler og ulemper. Fordelen ved push er at dersom arbeidet går i tråd med planleggingen, vil det fungere godt. En kan dermed kontrollere prosessene, og styre prosjektet med en sikker hånd siden materialer og annet kan avtales god tid i forveien. Ulempen er at byggeprosjekter sjelden går nøyaktig etter planen, hvilket gjør at bestillingene kan komme for tidlig og ta mye plass. Muligheten for at arbeiderne er ferdig tidligere enn planlagt med visse aktiviteter kan gjøre at man får arbeidere sittende og vente på nødvendige materialer. Fordelen med pull er at materialene skal komme når det er behov for dem, og dermed hele tiden ha et lite og kontrollerbart lager. En slipper dermed unødvendig kapitalbinding. Ulempen derimot kan være at leverandørene ikke klarer å levere i tide som kan føre til prosjektforsinkelser. Muligheten for at marginene er for små, kan også være tilstede og bør unngås ved nøyaktig oppfølging. Ved å bruke BIM til utarbeidelse av prosess-, periode - og ukeplaner, har en muligheten til å få en bedre oversikt over prosjektet som gjør at planlegging og koordinering kan bli mer nøyaktig.

6.1.6 Produktivitet

Innen produktivitet er både BIM og lean construction ment å bidra til en forbedring av produktiviteten. Som en kan se av figur 10 og tabell 3 har produktiviteten i byggebransjen hatt en svak nedgang i forhold til andre bedrifter. Dette gjelder både i USA og Norge, i tillegg skal det samme gjelde for andre europeiske land også ifølge Andersen m.fl. (2004).

En grunn til denne svake nedgangen kan være at byggebransjen lenge har vært kjent som konservativ, og motstandsdyktig mot endringer. I tillegg har bransjen vært preget av svart arbeid, mindre seriøse bedrifter, og dårlig fokus på HMS. Dette virker som har endret seg de siste årene ettersom både BIM og lean construction er blitt introdusert. Når større, og seriøse bedriftene velger å fokusere på lean construction med BIM som et av verktøyene, kan det være med på å ta opp kampen for å øke produktiviteten. Samtidig

kan det bidra til å fjerne useriøse aktørene fra bransjen. Det er fortsatt viktig at byggebransjen stiller strenge krav til seg selv, samarbeidspartnere og andre konkurrerende bedrifter. Dette kan bl.a. forbedres gjennom at bedrifter går sammen om å arrangere faglige kurs hvor erfaring og kunnskap kan deles. Studien til Andersen m.fl. (2004) konkluderer med den stasjonære industrien er klart mest produktiv, men byggenæringen kan allikevel ikke adoptere deres arbeidsmåter på en identisk måte. Studien sier at dersom utvalgte metoder og verktøy fra stasjonær industri transformeres over metoder og verktøy tilpasset byggebransjen, kan forbedringer oppstå. Studien peker på tre punkter som særlig skiller seg ut som problematiske. Disse er tidligfasen av et prosjekt, logistikk, og prosjektledelse og - planlegging.

En annen grunn til disse resultatene kan være økte krav til kvalitet, samtidig som bygg blir mer komplekse. Dersom en arbeider ut ifra en tradisjonell metode som vist øverst i figur 14, kan det være vanskelig å beregne riktig fremdrift og tilbud, noe som gjør at avvik fort kan oppstå. Ved å ta i bruk verktøy fra lean construction, som LPS, og bruke BIM, kan dette bidra til å øke forståelsen av kompleksiteten i bygget, samtidig som en vil kunne levere høyere kvalitet til kunden.

6.1.7 BIM og lean construction under prosjekteringen

Endringer en gjør i prosjekteringsfasen har som oftest lite å si i forholdt til endringer i utførelsesfasen. Dersom en søyle må flyttes under utførelsen bør RIB kontaktes. Søylene kan også ha innvirkning på andre fag, som at den kolliderer med et ventilasjonsrør og da bør også RIV være med i den tekniske diskusjonen. Samtidig har en slik endring innvirkning på det visuelle, som betyr at både arkitekten og byggherre gjerne vil ha et ord med i diskusjonen. Av den grunn vil det oftere være enklere å gjøre endringen så tidlig som mulig, og da tidlig i prosjekteringen. Som det ble nevnt i kapittel 6.1.1 vil en helst ha lite variasjon i prosjektet. Dette gjelder også i prosjekteringsfasen. Selv om løsninger kan endres i denne fasen vil en helst ha færrest mulig iterasjoner å forholde seg til. Flere iterasjoner betyr som oftest mer rework.

Ved å benytte seg av BIM kan prosjekteringen ta noe lenger tid enn tidligere, pga. frontloading. En mer omfattende prosjektering vil føre til at feil unngås, eller tidligere blir identifisert. Ifølge flere ingeniører er dette blant de mest verdiskapende fordelene ved bruk av BIM i prosjekter. I tillegg unngår en flere diskusjoner som har grunnlag i misforståelser (McGraw-Hill Construction, 2009). Dette kan spare prosjektet for uventede kostnader senere. Mange tar høyde for slike uforutsette kostnader, men størrelsen er vanskelig å beregne og det kan bli en prosess hvor en gjetter basert på erfaring. Slik frontloading vil føre til at prosjekteringsfasen blir dyrere enn tidligere, men disse kostnadene er vanligvis mindre enn kostnadene ved å rette opp feil senere. En annen fordel er med BIM-modellen er at den retter opp korreksjonene på alle tilhørende tegninger når en endring gjøres.

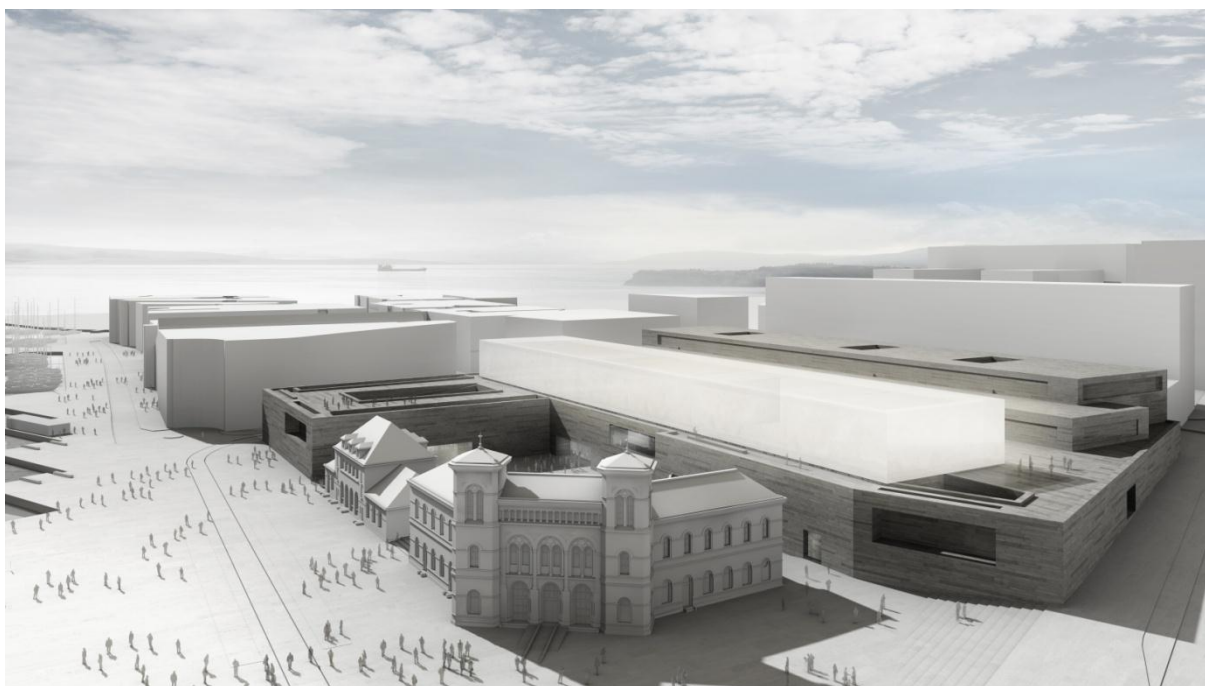
7 ERFARINGER FRA RAMBØLL OG NASJONALMUSEET

7.1 Innledning

Dette kapittelet begynner med å presentere det nye Nasjonalmuseet som case, og hvilken rolle Rambøll vil ha under prosjektet. I beskrivelsen følger bakgrunnen for prosjektet, faktaopplysninger og målsetning for prosjektet.

Videre i kapittelet drøftes informasjonen som er hentet fra den kvalitative metoden, og kobles opp mot informasjonen i de eksplorative kapitlene. Det som gikk igjen under hvert av intervjuene var at informantene hadde god kunnskap om BIM, samt en positiv holdning. Kunnskapen om lean var derimot i stor grad varierende hos informantene, men også her var holdningen positiv.

7.2 Beskrivelse av caset – Nytt Nasjonalmuseum på Vestbanen i Oslo



Figur 200: Oversiktsbilde av det nye Nasjonalmuseet på Vestbanen (Kleihues + Schuwerk, 2010)

7.2.1 Bakgrunn for nytt nasjonalmuseum:

I 2003 ble Arkitekturmuseet, Kunstindustrimuseet i Oslo, Museet for samtidskunst, Nasjonalgalleriet og Riksutstillinger (tidligere Riksgalleriet) slått sammen til Nasjonalmuseet for kunst, arkitektur og design. Flere utredninger har vist at det er behov for oppussing og rehabilitering for hver av institusjonene. Hovedårsakene som peker seg ut er dårlig klima-, lagrings- og sikringsforhold for samlingene, samt for liten utstillingsplass for de besøkende. I stedet for å utbedre hvert av byggene for seg selv, ble det bestemt å bygge et nytt nasjonalmuseum hvor alle institusjonene, med unntak av Arkitekturmuseet, ligger samlet i et egnet bygg. Ved å samlokalisere institusjonene håper en på at publikumstallet vil forbedres, noe både

Kunstindustrimuseet og Museet for samtidskunst har slitt med over lengre tid (Statsbygg, 2009). Flere tomter ble nøye vurdert, men til slutt falt valget på tomten på Vestbanen som er vist på bilde 21.

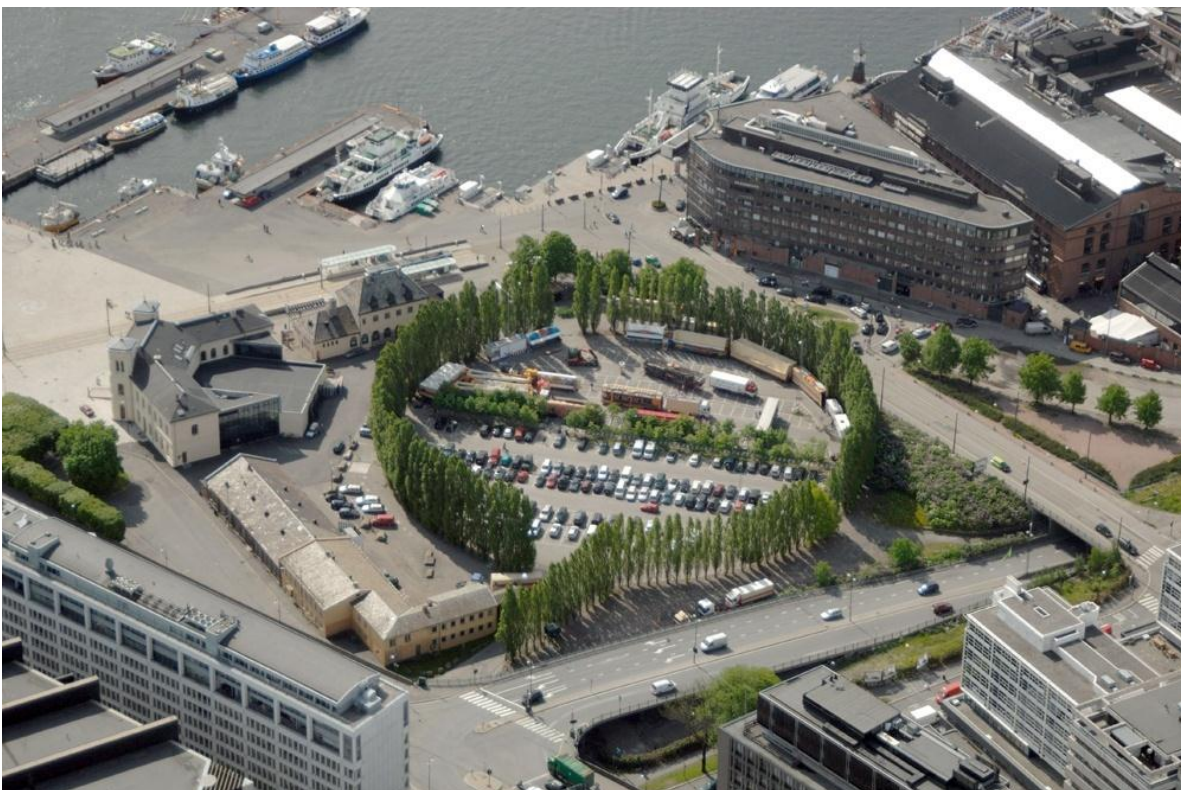
Da arkitekt til prosjektet skulle kåres hadde det kommet inn 237 forslag til juryen, hvorav 45 % av bidragene var BIM-modeller med god kvalitet. BIM var for øvrig et krav for å få delta, og Statsbygg hadde tre formål med BIM-modellene under arkitektkonkurransen som var:

- God visualisering ved hjelp av siktlinjer mot bygget. Blant annet ble det med hjelp av en GIS-modell, produsert en film som viste hvert arkitektbidrag vist fra ulike områder hvor en kan se Vestbanetomten fra.
- Muligheter for mengdeuttak av arealer og volumer i modellen.
- Energiregnskap av modellen.

Valget falt til slutt på det tysk-italienske arkitektfirmaet Kleihues + Schuwerk Gesellschaft von Architekten mbH med forslaget ”forum artis”. De har engasjert Dyrvik Arkitekter som en lokal samarbeidspartner, mens BIM Consult skal være BIM-koordinator for arkitektene på prosjektet.

Ved utvelgelse av prosjekterende aktør var det Rambøll Norge som vant konkurransen, hvor bruk av BIM var et av kravene for å bli vurdert. Bakgrunnen for dette var at ”Rambøll Norge var den tilbyder som totalt sett hadde det mest fordelaktige tilbudet” (Statsbygg, 2010). Kontrakten Rambøll har inngått går ut på skisse - og forprosjektering av akustikk, brann, byggeteknikk, elektro, geoteknikk og VVS, og er verdt 30 millioner kroner. Rambøll Norge sikret seg samtidig opsjonsretten på detaljprosjekteringen, samt oppfølging av utførelsesfasen (Statsbygg, 2010).

Når det kommer til kompleksitet og utforming vil mange sammenlikne det nye Nasjonalmuseet med Den Norske Opera (Statsbygg, 2010). Under prosjektet skal mye av arbeidet bære preg av å prinsipper hentet fra lean filosofien.



Figur 211: Vestbanetomten sett fra nordsiden (Mapaid, 2007)

7.2.2 Fakta om det nye Nasjonalmuseet

Tomt: Vestbanen, Oslo

Vestbanetomten ligger i skjæringspunktet mellom Aker Brygge og Rådhusplassen, og er på omtrentlig 30 000 m². På tomten ligger både hoved- og lokalstasjonsbygningen, som begge er fredet. Nobels Fredssenter holder til i hovedstasjonsbygningen som ligger i hjørnet på tomten. Lokalstasjonsbygningen er nabobygget, og her skal UD ha sitt senter for utviklingssamarbeid. Ilgodsbygningen ligger også på tomten, men er ikke en del av de fredede bygningene. Ilgodsbygningen er derfor ment å vike til fordel for Nasjonalmuseet. Bygget skal oppføres midt på tomten. Vestbanen var også et av tomtealternativene til Den Norske Opera & Ballett.

Selve bygget:

Bruttoareal: 54 000 m²

Funksjonsareal: 35 000 m²

Bygget vil kjennetegnes ved publikumsvennlighet, god takhøyde (4,5 - 8 meter), god sikring av kunstverk, og tilpassede løsninger for miljø og klima.

Oppdragsgiver: Kulturdepartementet

Byggherre: Statsbygg

Prosjekterende:

- Kleihues + Schuwerk Gesellschaft von Architekten mbH og Dyrvik Arkitekter - Arkitekt
- Rambøll Norge - Akustikk, brann, byggeteknikk, elektro, geoteknikk og VVS

Fremdriftsplan:

Forprosjektering	2010-2012
Ekstern kvalitetssikring	2012
Behandling av Stortinget	2012-2013
Byggestart	2014
Ferdigstillelse	2017-2018

Kostnadsramme: Fastsettes under behandlingen av Stortinget i løpet av 2012–2013 (Statsbygg, 2009).

Mål:

”Hensikten er å skape et vitalt, nasjonalt forsknings- og kompetansesenter for de visuelle kunstartene med hovedbase på Vestbanen. Nasjonalmuseet skal være en nyskapende møteplass for opplevelse og forståelse av de visuelle kunstartene. Realiseringen av museumsanlegget skal markere Nasjonalmuseet som en utstillings- og formidlingsarena på internasjonalt nivå” (Statsbygg, 2009:8).

7.2.3 Kort om Rambøll

”Rambøll er Nordens ledende rådgiver innen plan, design og teknikk” (Rambøll Norge, 2011). Bedriften har 9000 ansatte fordelt over 20 land, og av disse arbeider 1200 personer i Norge. Rambøll har som mål å være en lokalkjent partner, og har av den grunn 28 kontorer rundt om i Norge. Rambøll i Norge har tidligere vært kjent som Scandiaconsult, samt Orrje & Co. Rambøll Norge skiller seg fra mange andre bedrifter ved at den er en del av Rambøll Gruppen, som igjen eies av en stiftelse. Ledelsen styres dermed ikke av personer som er ute etter å maksimere bedriftens aksjeverdi, men kan gå for de verdiene som de mener er viktige og bør stå i fokus.

Rambøll er en tverrfaglig bedrift som kan deles opp i følgende hovedgrupper: Bygg og design, Energi og klima, Infrastruktur og transport, Industri, olje og gass, IT og telekommunikasjon, Ledelse og samfunn, samt Vann og miljø. Disse hovedgruppene kan igjen deles opp i mindre grupper som utfører tjenester hver for seg eller tverrfaglig.

7.2.4 Bruken av BIM i prosjekteringsfasen idag:

På det nye Nasjonalmuseet har Rambøll utarbeidet en dynamisk BIM-utføringsplan som kan endres underveis i prosjektet. Denne planen inneholder informasjon om BIM-koordinatoren sin rolle, BIM-målsetninger, beskrivelse av BIM-prosessene, utvekslingsplan for BIM, faglig og teknisk kvalitetskontroll, modellstruktur, og hvordan de skal oppnå god modelleringsteknikk. Dessuten beskriver dokumentet hvordan modellen kan overføres til andre applikasjoner, og hvordan de skal sikre god interoperabilitet mellom de involverte. Rambøll har også laget et dokument kalt "Beskrivelse av BIM-aktiviteter" hvor de har kommet opp med mulig verdi, nødvendige ressurser, nødvendig prosjekteringskompetanse, utvalgt referanse og en beskrivelse av hver aktivitet. Dette er bl.a. gjort for driftsmodellen, modelleringen, design-/modellgjennomgang, 3D-koordinering, 4D-koordinering, analyse, beregninger og sporing av krav.

Blant de store fordelene med slike dokumenter ligger det at alle får samme oppfatning av hvordan BIM skal brukes gjennom prosjektet. En oppnår samtidig en god oversikt over prosjektet, de tilhørende aktivitetene som skal utføres, hvilke ressurser de er avhengige av, og hvordan BIM skal brukes. Dokumentene kan også hjelpe til med å avklare flyten av arbeidet, bl.a. ved å tilrettelegge for å oppnå en pull-effekt slik at de ulike fagene kan utarbeide en tilpasset informasjonsmengde til riktig tid. Å fremskaffe informasjon som ikke er vesentlig for arbeidet, vil ikke være verdiskapende. Eksempelvis bør en ikke utføre kompliserte dimensjoneringsberegninger av bjelker i forprosjektet, men heller gjøre et raskt overslag. Ulempen med disse dokumentene er at de kan være tidkrevende å utarbeide, og en må her vurdere hvor mye informasjon som skal beskrives.

Et problem flere av de spurte peker på, er at involveringspunktet for BIM har vært for sent. Flere ganger har BIM-modellen kommet frem i detaljprosjektet, noe som tilfører prosjektet lite effekt. Imidlertid har dette endret seg, og de BIM-modellen kommer i dag frem i skissefasen eller under forprosjektet. På spørsmål om når de ønsker at BIM involveres, var svarene noe varierende. Det var enighet om at BIM-modellen må tidlig opp, men ønsket hvor tidlig var derimot noe ulikt. Halvparten av de spurte mente at modellen burde bygges i idefasen, mens den andre halvparten først ville introdusere BIM-modellen i skisseprosjektet. De som mente at modellen skal bygges fra start av pekte på at modellen bør holdes fleksibel og uten særlige detaljer. Fordelen er da at en tidlig kan måle ulike alternativer opp mot hverandre. Blant de som var for BIM-modellering fra skissefasen var Matland, som mente at en i idefasen skulle være mer opptatt av å finne riktig form og funksjon til bygget. Ratcliff var også enige dette, og sa *"Det ville være mer nyttig å kunne bruke modellen når hoveddrammene er lagt"*.

På spørsmål om hva som i størst grad benyttes mest til nå, var svarene ganske klare. Visuell kontroll og kvalitetssikring, kollisjonskontroll og sammenstilling av ulike fagmodeller gikk igjen hos alle de spurte, hvilket også gjenspeiler resultatene fra McGraw-Hill Construction (2009). Den viktigste effekten de fikk ut av BIM-modellen var også entydig - *økt forståelse og oversikt*. Statsbygg mente at mengdeuttak av volumer og arealer i stor grad var viktig. BIM bidrar her i stor grad til å redusere unødvendig arbeid. Bl.a. nevnte Statsbygg at *"Vi bruker 1/10 av tiden på arealuttak, sammenliknet med tradisjonell arbeidsmetode"*.

Under alle fasene av prosjekteringen på det nye Nasjonalmuseet brukes BIM til programmering, modellering, modellvurdering mot krav, driftsmodell, 3D-koordinering, design/modellgjennomgang, analyser, beregninger, simuleringer, kodevalidering og kostnads kalkyle. I tillegg vil digital fabrikkering inngå i detaljprosjekteringen (Rambøll BIM-utføringsplan, 2011:8).

7.2.5 Bidrar BIM til lønnsomhet?

Under intervjuene ble det også spurt om investeringen i BIM hadde vært lønnsom til nå. Ingen i Rambøll kunne komme opp med et konkret tall, men tre av informantene mente at det i løpet av kort tid sannsynligvis ville vise seg å være lønnsomt. En uttalte *"Om en kan ta ut opplæringskostnadene så har det vært lønnsomt, og når brukerne vet hvordan de skal bruke BIM vil løsningen være lønnsom"*. En

annen informant sa ”Vi har ingen tall på dette som kan dokumenteres, men føler at det har vært lønnsomt ved at arbeidskrevende prosesser stadig effektiviseres ved hjelp av BIM”. En av grunnene til at disse tallene ikke foreligger enda er fordi BIM er relativt nytt, og en har ikke tilstrekkelig med erfaring. En annen grunn kan også være at det å måle lønnsomheten kan være komplisert, og hvilke inntekter og kostnader som skal medberegnes, kan variere fra bedrift til bedrift. En lønnsomhetsrapport er imidlertid under utarbeidelse av Statsbygg.

7.2.6 Fremtidsutsikter for BIM

En gjennomgående holdning hos alle de spurte var at de er positive ovenfor BIM, og ønsker mer bruk i fremtiden. Alle informantene hadde stor tro på den videre utviklingen, og forventer at det etterhvert vil bli krav om bruk av BIM på alle større byggeprosjekter. De uttalte derfor også at de var interessert i å øke kompetansen sin fremover. Fem av informantene mente også at en kan sammenlikne overgangen til BIM med overgangen til DAK, og flere mente at vi nå er inne i et paradigmeskifte.

En av de spurte derimot uttalte ”Jeg er veldig positiv, men føler at vi sliter med å komme oss videre fremover i utviklingen”.

Når det kommer til Rambøll sine målsetninger (kapittel 3), så var det usikkerhet blant informantene om hvor langt de hadde kommet. Markedsansvarlig i BIM-rådet hadde derimot et svar på at de hadde nådd 70-80 % av målsetningene de har satt seg, samtidig som de er godt i gang med de resterende 20-30 %. En av informantene gav uttrykk for at Rambøll totalt sett er best på BIM blant de rådgivende ingeniørbedriftene i Norge, men at andre bedrifter har enkelte ”superbrukere” som isolert sett er bedre. Dette er samtidig i tråd med Rambøll sin strategi om å ha bred kompetanse og kunnskap, slik at hvert kontor kan bruke BIM på prosjekter. De vil utvikle seg på billigst mulig måte, gjennom intern kursing hos og læring under virkelige prosjekter. Fordelen ved å lære på denne måten er at en arbeider med virkelige prosjekter, og de fleste kan derfor ha en bratt læringskurve. Ved å arbeide med virkelige prosjekter vil en muligens være noe mer skjerpet under innlæringen. Ulempen kan derimot være at prosjektet får unødvendig høy belastning, og at en bruker lenger tid i starten enn ved tradisjonelt arbeid noe som flere kan være imot. For at dette skal være lønnsomt må den medgåtte tiden kunne spares inn i fremtidige prosjekter.

Et annet spørsmål som er aktuelt er: *Hvem skal betale for denne ekstra medgåtte tiden?* Noen vil hevde at byggherren skal betale for de ekstra timene siden dette er en naturlig del av utviklingen i bransjen, samtidig som fremtidig byggherrer vil nyte godt av denne læringen som gjør at en forbedrer seg. Andre derimot mener at de prosjekterende skal ta denne kostnaden, siden de selv er ansvarlige for å være konkurransedyktige og holde seg faglig oppdatert. Det kan også være mulig at byggherren sjeldent engasjerer rådgivende bedrifter, og vil derfor ikke nyte godt av denne forbedringen i fremtiden.

7.2.7 Muligheter og utfordringer ved BIM

”En bygger modellen elektronisk på forhånd, hvilket gjør at en kan spare store summer” og ”En ser potensielle problemer langt tidligere” uttalte Ratcliff, og viser med det et par av mulighetene ved BIM. Bruken av BIM åpner for mange interessante muligheter, men samtidig kan BIM by på en god del utfordringer. I dette delkapittelet vil muligheter og utfordringer nevnt av informantene drøftes nærmere.

Forbedret tverrfaglig kommunikasjon ble nevnt blant alle informantene som en av de store fordelene. Bakgrunnen for dette er at en får en god oversikt over prosjektet gjennom en brukervennlig visuell fremstilling av bygget, samtidig som informasjonen er tilgjengelig i samme modell. Dette er spesielt fordelaktig ved komplekse konstruksjoner og større prosjekter. Ved hjelp av en 3D fremstilling kan en oppnå et bedre helhetsbilde av bygget enn tradisjonelle tegninger i 2D. Dette gjelder spesielt for personer som ikke er vant til å lese tegninger. BIM-modellen kan derfor med fordel benyttes under presentasjoner for byggherre, brukere, og andre involverte. Ved å inkludere disse aktørene tidlig kan en lettere legge opp

til en bedre samarbeidsprosess hvor mye arbeid gjøres tidlig, mens muligheten til å påvirke prosjektet med lave kostnader fortsatt er stor.

Informantene fortalte at BIM-modellen var til stor hjelp under prosjekteringsmøter. Representanter fra hvert av fagene kan dermed diskutere en samkjørt modell i stedet for fagspesifikke tegninger. Slike BIM-modeller kan også vise hvert enkelt fagfelt alene slik at dette kan diskuteres isolert. En forutsetning er at prosjekteringslederen klarer å navigere i modellen.

Rambøll har nå valgt å rette litt av fokuset over på prosjekteringsleder og PGL, slik at de skal bruke BIM aktivt til å løse oppgaver, og dermed få hevet kompetansenivået. I fremtiden skal alle oppgavene til prosjekteringslederen kunne løses vha. BIM. Eksempelvis kan den tverrfaglige kontrollen utføres i modellen, hvor den både kan gjøres visuelt og ved kollisjonskontroll. Dette bidrar også til å kvalitetssikre modellen, noe som også er en av prosjektlederens oppgaver. Både Jacobsen og Kvarsvik uttalte *”En kan ikke lyve med BIM-modellen”*. Dvs. at alle fag sine bidrag vises, og prosjekteringslederen kan lettere følge opp fremdriftsplanen. En av utfordringene ved dette kan være å få alle prosjekteringsledere til å bruke BIM. Selv om alle informantene hadde en positiv innstilling og holdning til BIM, betyr ikke det at andre nødvendigvis har det. Under observasjonen min fikk jeg bl.a. høre en av de eldre rådgiverne uttale *”IFC-fil, hva er det? Jeg har ikke tenkt å tilpasse meg noe nytt. Jeg er snart pensjonist”*. Jeg fikk også høre at en avdelingsleder mente innføringen av BIM kom for tidlig og av den grunn var imot det. Ved å ha denne innstillingen når en har ansvaret for en hel avdeling, betyr det at resten av avdelingen kan påvirkes i samme retning. Det kan også nevnes at da jeg under en samtale med en RIE fra Bright AS (rådgivende ingeniørbedrift) tok opp BIM, var hans umiddelbare reaksjon *”Så kjedelig! Dette håper jeg ikke vil utvikle seg videre”*. Etter en lengre diskusjon viste det seg at bakgrunnen for denne uttalelsen var frykt for å ikke klare å lære seg verktøyet pga. høy vanskelighetsgrad.

Kollisjonskontroll

Kollisjonskontrollen er et av verktøyene som benyttes mest blant rådgiverne. Ved å sette sammen de ulike fagmodellene til en modell kan tidligere oppdage feil og mangler, og en vil forsøke å kontinuerlig forbedre prosjektet. Dette avhenger av detaljeringsgraden i modellen. Vanligvis finner funksjonen kollisjoner som ventilasjonskanal/bjelke eller søyler som stikker på undersiden av dekket. Slike kollisjoner har ofte BIM-koordinatoren ansvaret for å finne, og deretter lage en rapport som sendes ut til de involverte, slik at dette tas hånd om. Derimot mener Ratcliff at en ofte velger mer uformelle løsninger som å ta en telefonsamtale til den aktuelle rådgiveren for å finne en løsning raskt. Å identifisere slike problemer tidligere gjør at mindre rework må utføres, og lavere kostnader kan oppnås, jmf. MacLeamy kurven i figur 9.

En utfordring ved kollisjonskontrollen oppstår når de ulike, proprietære modellene overføres til et IFC-format. Alle de spurte har opplevd softwareproblemer ved importering og eksportering av IFC-filer, noe som også er støttet av observasjon. Ofte føler brukerne at det kun er basisinformasjon som følger med i IFC-filen, og de skulle gjerne hatt mer detaljert informasjon. Samtidig påpeker Statsbygg at deres erfaring er at modellen sjeldent er tilpasset mottakeren. Ofte leveres modellen med for mye detaljer og informasjon, slik at den ikke er fleksibel og blir tung å bruke, eller så leveres modellen med for lite informasjon.

4D og 5D

4D og 5D er to av mulighetene en kan utnytte ved BIM når det planlegges. *Tidssimulering* bidrar til å se hvilke aktiviteter som foregår til enhver tid. Dette kan kobles opp mot lokale værstasjoner med statistisk data som angir sannsynlige vær- og temperaturforhold under byggeprosessen, slik at en kan tilrettelegge bedre for utvendig arbeid. 4D vil sannsynligvis ha en større betydning i utførelsesfasen, enn i prosjekteringsfasen. Ved å ha en bedre oversikt, kan en lettere innføre pull-prinsippet siden en kan ha en god oversikt over hva som skjer til en enhver tid. Selv om en lager foreløpige prognoser, bør en styre etter

behov for å oppnå best mulig ”flow”. Dette kan også overføres til de prosjekterende, hvorav aktivitetene kan koordineres og styres etter hva en har behov for.

5D eller *kostnadssimulering* kan være mer aktuelt for de prosjekterende, siden en her kommer opp med budsjett og finansierungsplaner. Når informasjon legges inn i modellen, kan dette kobles opp til en database med enhetspriser. Dette forutsetter at en har et velfungerende IFD-objektbibliotek, som bidrar til at riktige objekter velges. Ifølge de spurte er ikke dette på plass enda, men under utarbeidelse. Dette er arbeid som kan meget lang tid med tanke på alle muligheter en har å velge mellom. Ifølge Matland arbeider man nå med å få til et system som innfører umiddelbar kostnadskontroll. Dvs. at når objekter legges inn i modellen, vil dette være linket opp til et kalkyleprogram som automatisk viser endringene i det øyeblikk objektet er på plass i modellen.

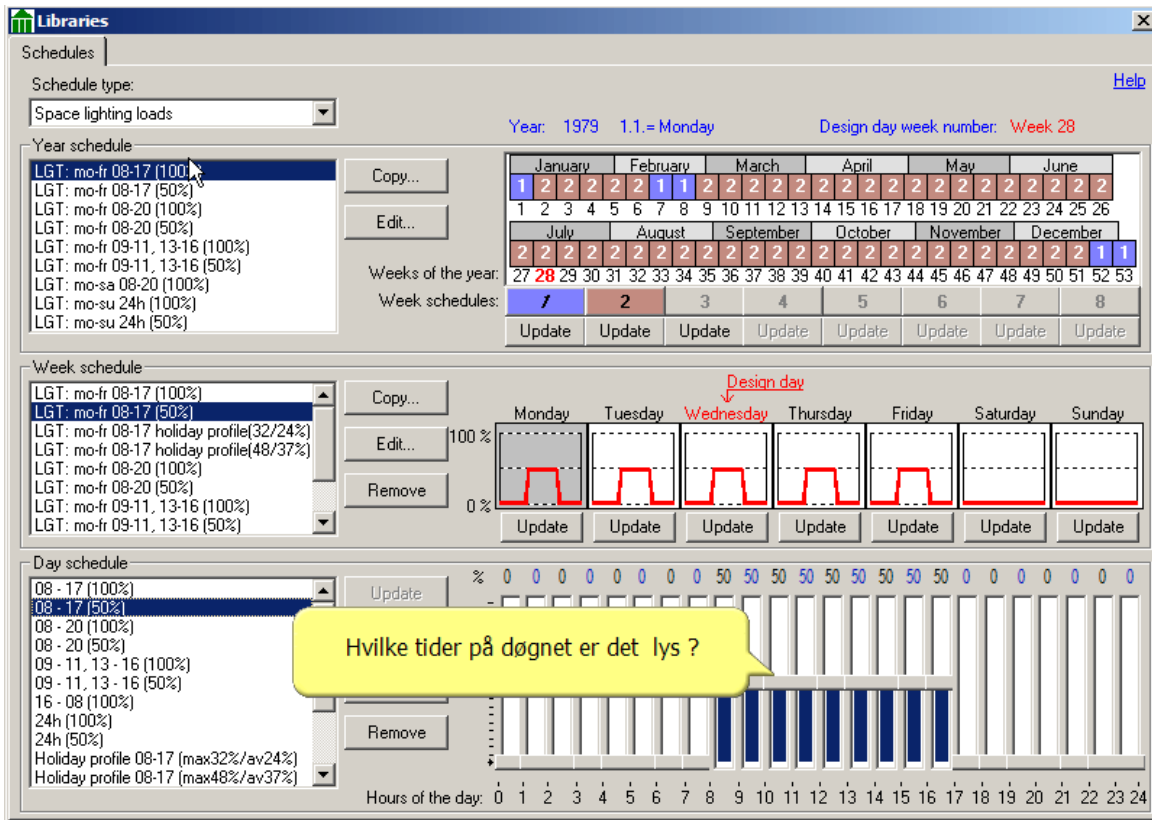
Ifølge de spurte skaper BIM-modellen entusiasme, engasjement og et bedre samhold under prosjekteringen pga. visuell effekt. De føler at ved å kunne se bygget bli bygget elektronisk, er de med på å skape noe. Matland mener også at brukerne blir mer løsningsorientert og problemene blir lettere å løse fordi fokuset brukerne har er mer positivt enn tidligere. At modellen skaper engasjement er noe både Heier og Kvarsvik støtter seg på, og kan merkes på under prosjekteringen på Nasjonalmuseet. Ifølge en rapport fra McGraw-Hill Construction (2009) opplever man færre konflikter i BIM-prosjekter grunnet en høyere tverrfaglig forståelse. Rapporten påviser at de ofte slipper unna destruktive konflikter, og har færre konflikter generelt. At en unngår de destruktive konfliktene er en stor fordel, men færre konstruktive konflikter har både fordeler og bakdel. Fordelene er gode løsninger vha. et bredt synspunkt og en har en profesjonell tone underveis, noe som kan bygge opp et godt kontaktnettverk for videre samarbeid på andre prosjekter. Ved å ha en konstruktiv konflikt kan flere endre oppfatning og syn på modellen, som igjen kan gi en bedre forståelse. En utfordring kan være å få alle til å stå frem med sine meninger, i frykt for at deres forslag ikke er gode nok. Prosjekteringslederen bør sammen med gruppen forsøke å skape en atmosfære hvor medlemmene kan føle seg trygge nok til å hele tiden kunne ytre sin mening.

Beregningsanalyser blir pekt på av informantene som en av de store mulighetene ved BIM som kan utvikles. En har et stort antall ulike analyser som kan utføres. Eksempler på hva som kan analyseres og simuleres er brann, rømning, luftfordeling, vannforbruk, jordskjelv og akustikk. BIM-modellen kan kontrolleres opp mot universell utforming og gjeldende myndighetskrav. Informantene var enige om at analysemulighetene brukes, men ikke så stor grad som ønsket. En viktig grunn kan manglende kompetanse, noe flere av informantene nevnte. De mente også at denne kompetansen var under utviklingen, og vi vil fremover kunne se en mer utstrakt bruk av dette. Et eksempel fra Nasjonalmuseet på analyser er simuleringen av siktlinjene. Ved å linke en GIS-modell sammen med BIM-modellen, har de muligheten til å se Nasjonalmuseet fra ulike synsvinkler. En konsekvens av dette kan være at arkitektene slipper å tegne disse siktlinjene fra ulike punkter.

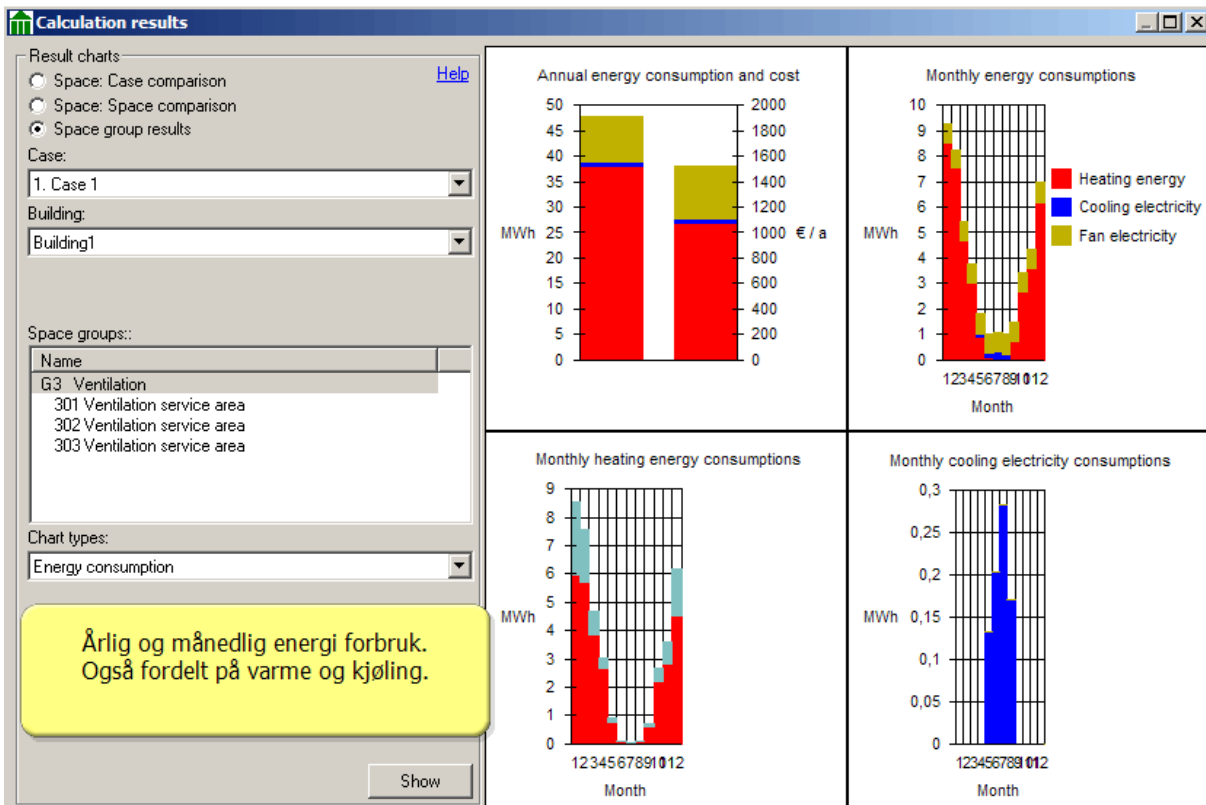
Et annet eksempel på beregningsanalyser brukt på Nasjonalmuseet er energianalyse. Dette kan gjøres ved å laste BIM-modellen inn i et program som analyserer modellen, og gir deretter informasjon om vannbruk, årlig energibruk (kWh) og CO₂-utslipp. Analysen kan også gi estimerte toppunkter for strømforbruk i løpet av en periode, og dermed også svar på hvor store energikostnadene vil være. Grunnlaget til analysen vil stamme fra informasjonen, samt lokale værstasjoner. Dette gjør at en kan endre modellen ved for eksempel endre isolasjonstykkelsen i taket, eller ta i bruk bevegelsessensorer i stedet for manuelle lysbrytere. På en slik måte kan ulike scenarier analyseres i løpet av kort tid.

I figur 22 kan en se hvordan informasjon legges inn for å beregne energibehovet til et rom. Dette gir videre resultatene som er vist frem i figur 23. Her vises estimert kjøle- og oppvarmingsbehov for hver enkelt måned, samt totalt forbruk og kostnad. Dette kan dekomponeres til mer detaljerte estimater som bl.a. viser forbruk for hver time. Slike analyser kan være verdifulle for prosjekteringslederen med tanke på hvilke løsninger som skal velges. Ulempen ved slike analyser er at det ofte kun er basisinformasjon som inngår i BIM-modellen siden en del av informasjonen ikke følger etter under eksportering til IFC-

format. Selv om ikke all detaljert informasjon følger etter får man en pekepinn på hvordan en ligger an. Dette er noe som også ble gjort under Nasjonalmuseet hvor Statsbygg satt opp en energianalyse av de foreløpige modellene som ble vurdert innledningsvis. Modellene var ikke særlig detaljerte og bl.a. var det ikke krav om søyler i modellen



Figur 222: Informasjon som legges inn før energianalyse (IAI Norge, 2003)



Figur 233: Analyseresultater fra energisimulering av kjøkken (IAI Norge, 2003)

En annen utfordring ved BIM er å få med seg de mindre bedriftene i bransjen. Heier uttalte at byggherren bør være mer frempå ved å kreve bruk av BIM. Konsekvensen blir dermed at bedriftene "tvinges" til å utvikle BIM-kompetanse for å fortsatt være konkurransedyktig. Å skaffe seg denne kompetansen kan for store bedrifter ikke være noe problem, men for mindre bedrifter kan det være kostbart og ta lang tid, noe som kan være hovedgrunnene til at ikke flere europeiske bedrifter har innført BIM. Dessuten kan mindre bedrifter peke på at mindre prosjekter sjeldent oppnår en merkbar forbedring ved bruk av BIM. Det Kvarsvik og Heier fortalte var at selv om mindre prosjekter ikke gir merkbar forbedring isolert sett, gir de ofte mye læring og erfaring som en kan dra nytte av i større prosjekter.

7.2.8 Erfaringer fra BIM

Noen av erfaringene fra bruken av BIM er allerede nevnt, men det er fortsatt en god del lærdom som kan trekkes ut fra tidligere BIM-prosjekter.

Alle de spurte mener at arbeidsmetoden deres har endret seg etter innføringen av BIM, men i varierende grad. Ratcliff mener at arbeidsmetoden hans har endret seg svært lite, tre av informantene vil karakterisere endringen som middels annerledes, mens fire av de spurte merker en større endring. Som nevnt tidligere merker en at de involverte er mer engasjerte, samarbeidsvillige og løsningsorienterte enn tidligere. En av informantene mente også at en kunne merke "en mer lekelysten modelleringsprosess". De som føler en middels endring mener dette har blitt merket på prosjekteringsmøtene, hvor kommunikasjonen er forbedret fordi den tverrfaglige forståelsen har økt. Jacobsen føler at jobben som prosjekteringsleder har blitt enklere fordi kontrollen over de andre prosjekterende er bedre, samtidig som møtene også flyter bedre. Dette er blant annet på grunn av at modellen kan vises frem og diskuteres under møtene. En annen endring de har opplevd er at de tenker mer på andre rundt seg fordi modellen er mer forståelig og transparent enn tidligere. Mange tilpasser derfor modellen til fordel for andre brukere.

En erfaring Statsbygg trakk fra Nasjonalmuseet, var at holdningen ovenfor BIM var mer positiv enn de trodde på forhånd. De hadde spådd at flere ville være kritiske til bruk av BIM i fullskala på et komplekst prosjekt av denne størrelsen. Slike positive tilbakemeldinger kan tyde på at holdningen i arkitektbransjen er lovende for BIM-utviklingen.

Flere av spurte har også erfaring med at BIM-modellen flere ganger har kommet frem for sent i prosjekteringen, noe som betyr at effekten ikke kan utnyttes maksimalt. Heier uttalte på dette temaet at "Å innføre BIM i detaljprosjektet er altfor sent". Dersom dette skjer kan konsekvensene være at kalkylene ikke kommer tidligere enn før. Kollisjonene vil også oppdages sent, men sannsynligvis tidligere enn ved tradisjonell arbeidsmåte. I detaljprosjekteringen er allerede mange valg tatt, og en kan i mindre grad endre prosjektet. Om en her finner ut at andre valg ville vært bedre, må byggherren vurdere om det er verdt å gjøre endringene. Dette kunne vært unngått om en tidligere hadde tatt i bruk en BIM-modell, og brukt "Integrated Design & Delivery".

7.2.9 Generell kunnskap og holdninger til lean

Rambøll har tidligere uttalt at de vil implementere lean i deres organisasjonskultur som et ledd i deres utviklingsstrategi. Det virker ikke som denne uttalelsen har nådd ut til alle de spurte, og svarene jeg fikk av informantene da jeg spurte om deres kunnskaper innen lean var varierende. Da jeg fortalte at lean skulle implementeres for å utvikle bedriften, fikk jeg blant annet svar som "Det var nytt for meg". Alle var enige om at svært lite informasjon hadde blitt gitt om temaet. Kunnskapen og holdningene informantene hadde opparbeidet seg stammet fra internettartikler og samtaler med andre..

To av de spurte sa at de hadde hørt om lean, uten å helt vite hva det gikk ut på. Det de visste var at "Det handlet om effektivisering og å minimalisere sløsing under produksjon". Tre av informantene følte at de hadde en viss kontroll på hva de omhandlet, men de hadde problemer med å formulere seg når de skulle forklare hva filosofien gikk ut på. De siste tre informantene hadde derimot god oversikt på hva lean gikk ut på, og kunne diskutere de fem hovedprinsippene som lean bygger på.

Under observasjon og uformelle samtaler med andre på kontoret viste det seg at de hadde ingen eller liten kunnskap om hva lean er. Da jeg forklarte hva filosofien gikk ut på, viste alle interesse og mente at filosofien hadde flere gode poenger som bedriften oftere kunne benytte seg av.

At flere av de ansatte har valgt å sette seg inn i lean filosofien, selv om ikke bedriften har pålagt dem å lære seg det, viser at lean filosofien interesserer dem. Denne interessen, samt den positive holdningen, er noe Rambøll kan dra nytte av dersom de bestemmer seg for å implementere lean i bygg og designavdelingen. En ide kan være å bruke de med erfaringen fra lean filosofien, dersom bygg og designavdelingen velger å innføre lean. I Rambøll er det hovedsakelig olje og gassavdelingen som har erfaring fra lean. Disse kan dermed overføre sin erfaring om bruken av lean innad i bedriften.

Da informantene ble spurt om de ville innføre lean, og eventuelt hvordan, var svarene noe varierende. Fire av informantene mente at det ville være lurt å vente med innføringen av lean til de fikk mer informasjon om hva det er, og om det ville være noe for dem. De fire andre informantene mente at det kunne være lurt å innføre lean i bedriften, men at flere av de ansatte må overbevises om at denne filosofien faktisk er lønnsom for bedriften.

7.2.10 Bruk av lean og “12 tools” under prosjekteringsfasen hos Rambøll

Også under dette temaet var svarene spredt. Tre av de spurte i Rambøll mente at det ikke var noen bruk av lean i Rambøll pr. dags dato. Tomren i Rambøll mente derimot at lean filosofien ble brukt hele tiden av både han og flere andre, men at det lå forkledd bak BIM-konseptet.

Informantene som var koblet til Nasjonalmuseet påpekte at deler av lean filosofien benyttes under prosjektet. Statsbygg nevnte at de allerede fra start av på Nasjonalmuseet, registrerte redusert sløsing som en konsekvens av bruken av BIM. Dette ble gjort ved å effektivisere flere arbeidsprosesser, som beregninger av volumer og arealer. Her mente de pga. BIM-modellen brukte de 10 % av tiden på denne aktiviteten, sammenliknet med tradisjonell metode.

Av verktøyene fra “12 tools” har følgende 7 blitt, eller vil bli brukt, under Nasjonalmuseet.

Prosjektmålene (pkt. 1) er blitt definert tidlig i prosjektet. Her er det Statsbygg som har satt opp målene, hvorav de videre er blitt orientert til hvert fag og alle BIM-koordinatorer. Dermed skal prosjekteringsgruppen inneha informasjon om hvorfor kunden behøver prosjektet, når løsninger skal leveres og hva som må leveres. Disse tre faktorene er viktige for å treffe hva kunden verdsetter. En ulempe som kan oppstå er at kunden vil ha løsninger som de prosjekterende finner ut at de ikke vil klare å levere til oppsatt tid.

Frontloading (pkt. 3) er et verktøy noe som inngår i prosjekteringsfasen, og brukes på Nasjonalmuseet. Her finner man tidlig svar på mange spørsmål som vanligvis kan bli stilt senere i prosjektet ved at BIM-modellen automatisk bidrar til dette. Ved å utføre en stor mengde med arbeid allerede fra start av, kan mange av feilene oppdages tidlig slik at de unngås senere. Fordelen med dette er at jo tidligere endringene gjøres, jo mindre blir kostnadene, noe som også vises av MacLeamy kurven i figur 9. Ulempen er at mye av arbeidet må fokuseres på akkurat disse oppgavene i denne tidsperioden. Dersom andre prosjekter også krever fokus fra samme person i den samme perioden, kan det ha en uheldig effekt for begge prosjekter, men kan løses ved å sette inn flere personer, eller øke tidsfristen. Også ved disse løsningene kan det både være fordeler og ulemper. En positiv side ved å få flere personer inn er at flere spørsmål kan bli stilt, og en har dermed flere ressurser til rådighet, samtidig som en også kan holde seg til tidsfristen. Ulempen er at dette også kan bli dyrere for prosjektet siden flere personer skal betales, og det vil være flere personer å forholde seg til for andre aktører. BIM kan være med på å gjøre denne jobben enklere, ved at en setter opp en foreløpig modell som viser hovedtrekkene til bygget. De visuelle mulighetene en får kan dermed hjelpe til å stille flere kritiske spørsmål, og se eventuelle problemer tidligere enn før. Ulempen ved BIM-modellen er at noen må modellere bygget på kort tid, og det kan dermed være vanskelig å få med seg alle

viktige punkter. Et forslag er da at en person fra hvert fag, modellerer de viktigste trekkene inn i BIM-modellen, og dermed øker muligheten for at flere viktige sider ved bygget er med i modellen.

Risikoledelse (pkt. 5) utføres av Rambøll sin prosjekteringsgruppe, og gjentas flere ganger underveis. Fordelen er da at nye risikoer som oppstår underveis har større sjanse for å oppdages, og bli tatt hånd om. En kan dermed velge å fokusere på risikoene etter konsekvens og hyppighet. Ulempen er derimot at dette er en aktivitet som må utføres flere ganger, og kan derfor ta mye tid. En annen ulempe er at prosjekteringsgruppen har utført disse risikoanalysene på egenhånd uten å være en hel gruppe. De har dermed ikke inkludert Statsbygg, arkitekter eller rådgivende ingeniører. Dette kan gjøre at verdifulle synspunkter ikke blir medtatt i risikoanalysene.

Prosjektorganisering (pkt. 6) er gjort under prosjektet. Her er rollene for alle deltakerne hos Statsbygg, arkitekt og rådgivende ingeniører gjort rede for. Fordelen er dermed at klare roller er avklart, slik at alle vet hva som tilhører deres ansvarsområde og hvilken tid de har på seg til å utføre arbeidet. En utfordring man må se opp for er at grensesnittene mellom de ulike rollene defineres på en god måte. Fra tidligere prosjektet finnes det flere eksempler av typen "Dere utførte beregningene over X, og dermed tok vi det som en selvfølge at dere også utførte beregninger over Y" eller de involverte har utført det samme arbeidet uten å vite om det før i etterkant.

Oppfølging av prosjektet (pkt. 8) gjøres hver onsdag hvor det avholdes fagmøter. Her fokuseres det på status og problemer. En fordel er at statusoppdateringer ofte er effektive, og gir informasjon om de viktigste punktene. En utfordring kan være å løse problemer på en god måte. Om problemene er komplekse, bør disse løses på egne møter hvor en ikke bruker tiden til andre personer som ikke har kompetanse på området.

Intern prosjektevaluering (pkt. 10) gjennomføres flere ganger underveis i prosjektet slik at eventuelle forbedringer kan gjøres. I tillegg vil det utføres en intern evaluering av prosjektet ved prosjektslutt. Fordelen med dette er at de kan med seg de positive sidene fra prosjektet, over til neste prosjekt. De kan også rette opp de punktene de selv synes de var dårlige på slik at deres prestasjoner blir bedre neste gang.

Kundetilfredshet (pkt. 11) vil også bli målt på prosjektet. Rambøll vil sende ut et spørreskjema som kunden besvarer. I likhet med den interne evalueringen vil en her få svar på hvordan arbeidet har fungert underveis, og hvordan resultatet er blitt. Rambøll ser imidlertid hensikten med at slik informasjon bør innhentes gjennom møter hvor en kan prate ansikt-til-ansikt, og det er derfor mulig at slik informasjon vil innhentes gjennom møter i fremtiden, uavhengig av prosjektstørrelse.

En av informantene mente at JIT kan brukes under prosjekteringen, ved "*Å produsere informasjon til riktig tid, og tilpasse informasjonen med riktig mengde og detaljeringsgrad. En skal ikke produsere mer enn nødvendig, og informasjonen skal være tilpasset fasen en er i*". En annen mente at "*en kan tilpasse prosessene og oppgavene som henger sammen, slik at dette gir størst mulig nytte*". Med det siste sitatet kan det menes at en sikter til det området som den stasjonære industrien kaller "design av arbeidsplassen". I dagens tekniske hverdag er det ikke lenger nødvendig at de prosjekterende sitter på rekke og rad, men de oversender tegninger og modeller elektronisk til hverandre. Det å vite hvor mye som skal gjøres i hvert fag til enhver tid kan sammenliknes med dette. Om de prosjekterende sitter sammen og jobber på et prosjekt, er det klart flere fordeler som kan og bør utnyttes. Blant annet er mulighetene for kommunikasjon mellom fagene hele tiden til stede, og ved å arbeide tett på hverandre kan en bygge opp et godt samhold og team i prosjektet. Dette merkes i stor grad på Nasjonalmuseet.

7.2.11 Fremtidsutsikter for lean innenfor prosjekteringsfasen

De spurte mente at dersom det viser seg at lean innen byggebransjen vil lønnsomt over tid, er sannsynligheten stor for at rådgiverbransjen forsøker det stor. Men som på mange av de andre spørsmålene angående lean, følte de at de manglet nok kunnskap til å kunne vurdere om lean er noe for de prosjekterende enda. De var derimot interessert i å lære mer om filosofien, og ville gjerne lære hvordan det kunne brukes. Dette er med på å vise at en positiv holdning hos de ansatte er tilstede, noe som er en viktig faktor når noe skal innføres. En av de spurte som i likhet med de andre var usikker på om lean var noe for de prosjekterende, sa også at *”Derimot er jeg sikker på at lean vil brukes mer på byggeplassen i fremtiden”*. En av grunnene til dette er at den fysiske utføringen ofte er lettere å måle enn arbeidet til de prosjekterende. En kan også måle hva de prosjekterende utfører, men i denne fasen går en ofte gjennom en nødvendig iterasjonsprosess for å komme frem til den endelige løsningen. Spørsmålet en må stille seg blir da: *”Skal en regne de foregående iterasjonsprosessene som sløsing, eller som verdiskapende arbeid?”*. En kan argumentere for sløsing ved å si at de foregående iterasjonene ikke benyttes, og at det er arbeid som ikke kommer frem i resultatet. Samtidig kan en også argumentere for at de samme iterasjonene kan regnes som verdiskapende arbeid, fordi en ikke hadde kommet frem til den samme løsningen uten å ha vært innom iterasjonene på forhånd. Om en velger å gå for første forslag som kommer så slipper en å gå gjennom flere iterasjoner, men samtidig kan en miste en potensiell, god løsning som kunden verdsetter fordi en velger å kalle disse iterasjonene for sløsing og forsøker derfor å unngå dem.

Dersom de prosjekterende velger å innføre lean i fremtiden, kan dette gjøres på flere ulike måter. Hos Rambøll vil det vil kreve en endring fra nåværende arbeidsmetode, som kan betraktes som tradisjonell. Flere av de ansatte har arbeidet hos Rambøll i mange år, og derfor innarbeidet seg et arbeidsmønster som de kan føle at fungerer. En ulempe er da at disse kan ha vanskeligheter med å godta at de kanskje må endre deres måte å jobbe på. Ut ifra observasjon og intervju kan det virke som flere eldre enn yngre kan ha vanskeligheter med å godta en eventuell endring, men fra de samme observasjonene kan det virke som de eldre også er positive, så lenge de får en grundig innføring som kan vise til gode resultater fra tidligere prosjekter. En slik endring krever altså i tillegg til en ny teori, også endring av arbeidsmetode og holdninger. Det kan derfor være nyttig å vise til andre bedrifter eller avdelinger som har lyktes å innføre dette.

Lean Enterprise Institute har kommet med tips til hvordan en kan innføre lean filosofien i en bedrift eller avdeling. Under følger en liknende liste med forslag som kan gjøres, men mer beregnet for Rambøll som prosjekterende aktør (Lean Enterprise Institute; Lean Action Plan, 2009):

- Startfasen:

Ledelsen må være interessert i å innføre lean, noe også de ansatte må være. Ut fra intervjuene ser dette ut til å ligge til rette for en eventuell innføring. Videre bør en bedriften velge ut en person eller gruppe som er ansvarlige for implementeringen, gjerne innad i bedriften. Dette ble for øvrig gjort under implementeringen av BIM hos Rambøll, noe som viste seg å fungere svært godt. Den/de som velges ut til å lede implementeringen bør være personer som brenner for temaet, og viser stor interesse. Dette kan en finne ut av ved å velge ut i frivillige personer. Så bør de utvalgte bygge opp kunnskap hos seg selv først, for deretter dele denne kunnskapen med andre ansatte. Dette kan gjøres gjennom kurs, besøke olje og gassavdelingen hvor lean brukes, andre bedrifter som allerede har innført lean, og leie inn konsulenter som kan komme med forslag om hva som kan gjøres.

- Pilotprosjekt:

Deretter kan en forsøke å utføre prinsippene en har lært seg gjennom et utvalgt pilotprosjekt. I dette prosjektet bør en på forhånd være klar over hva en kan måle som sløsing, men også være åpne for nye erfaringer som også kan vise sløsing og forbedringspotensial. Når en har funnet hva som kan regnes som sløsing, kan en også finne hvilke aktiviteter som er verdiskapende slik at disse kan trekkes frem for å

skape flyt i arbeidet. Dette kan også vises frem som et nettverk for de som skal lære, siden visuelle hjelpemidler ofte kan være til stor hjelp under opplæring. Dette nettverket kan også vise ønsket verdistrøm i under prosjekteringen. Når de aktivitetene som ikke er verdiskapende skal forbedres, bør en starte med de som har størst potensial for forbedring slik at resultatene blir tydelig synlig. Slike synlige endringer kan ofte være med å skape motivasjon i det videre arbeidet. Denne forbedringen av aktiviteter og prosesser bør kontinuerlig foregå, og de ansatte bør oppmuntres til å gi tilbakemeldinger på hva de synes fungerer, og hva som ikke fungerer. Når pilotprosjektet avsluttes, bør en evaluere og analysere hva som er gjort slik at en lærer av feilene sine, og minimaliserer sløsing fremover. De bør også evaluere om lean filosofien er noe de bør satse på fremover. De kan se etter områder de har vært mer effektive på, eller aktiviteter som har vært mer lønnsomme enn tidligere. Det bør også nevnes at en sjeldent opplever fortjeneste på pilotprosjekter siden nye prinsipper skal prøves ut, hvilket ofte tar tid å lære seg og få til i praksis.

- Videre arbeid:

Om den prosjekterende bedriften finner lean filosofien interessant og velger å gå videre med den, kan de begynne med å lage en utviklingsstrategi med visjoner og mål for en gitt tidsperiode fremover. En slik utviklingsstrategi kan være noe liknende den som ble brukt under implementeringen av BIM i Rambøll, hvor det var satt opp hovedmål og delmål for hvert av årene 2010-2012. Arbeidsprosessene kan også reorganiseres slik at de følger lean filosofien og blir mer effektive. Dette kan bl.a. gjøres ved å legge mer til rette for ansikt-til-ansikt møter, eller videokonferanser der en føler det er behov for det, og ellers bruke e-post dersom slike møter er unødvendige. Mange føler at det er lettere å få frem budskapet dersom de kan forklare og diskutere problemstillinger og løsninger med en fysisk person fremfor seg, enn med en person på telefon eller e-post. Etter hvert som arbeidet går fremover, læringskurven stiger og en får prøvd seg frem, kan en på nytt forsøke å se etter nye forbedringer ved hjelp fra alle deltakerne. Nettopp det siste punktet kan være viktig, at alle får delta i prosessen. Ved implementeringen bør en sørge for at alle får opplæring og delta i prosessen. Jo flere som deltar, jo flere endringer og forbedringer kan en se.

Lederstilen i bedriften kan søke etter å bli mer "bottom-up"-styrt, hvor de ansatte selv får være med å planlegge fremdriften og ta del i avgjørelser. Slik planlegging blir vanligvis utført av de personene som gjør arbeidet, fordi det er de som vet hvordan det skal gjøres. Dette er også slik at LPS fungerer, ved å la de utførende ta del i planleggingen. Slik planlegging er også viktig for å komme frem til et godt budsjett, eller "target cost", som en kan holde seg til. Fordelen er da at en kan oppnå sikrere estimater, og unngå "putelegging / padding" av estimatene. Det vil være bedre om en setter opp den faktiske tiden, og kostnadene, som en tror vil oppstå. Ved å ha en ekstra "bufferzone" med tid og kostnader, kan en miste flyten i arbeidet fordi en vet at en har noe ekstra å gå på. En annen fordel med en slik "bottom-up"-strategi som skal skape mer nøyaktighet, er at kunden ikke får falske forhåpninger i forhold til tid og kostnad (Larson & Gray, 2011).

7.2.12 Muligheter og utfordringer ved lean for de prosjekterende

Da informantene som ble spurt om hvilke fordeler de så ved lean i forhold til prosjekteringsfasen, ga de fleste svarene "*Mindre tidsbruk på tegninger og dokumenter*" og "*Mer effektive prosesser*". I tillegg påpekte en av informantene at en på Nasjonalmuseet hadde opplevd at "*Arbeidet flyter bedre, vi får mer presis data, det er mindre ressursbruk, vi får informasjon tidligere og det samme gjør vi med svar fra andre*".

En annen fordel med lean er at kunden får hva han/henne etterspør. Dette gjelder både i form av tid, kostnad og kvalitet. Ved å arbeide tett og godt med både prosjektmålene og kundeforventningene, kan en kartlegge både hva en skal få ut av prosjektet og hva kunden forventer å få tilbake fra det som investeres. Matland uttalte "*Selv om kostnader skal minimaliseres, er det viktig at kunden får hva som han/henne faktisk behøver. Kunden har ikke alltid all denne informasjonen selv, og derfor er det viktig at vi hjelper til i denne prosessen*". Med dette kan Matland mene at det å komme frem til hva kunden faktisk har

behov for og verdsetter, kan først komme frem etter flere runder med møter og samtaler. Dette er noe en skal finne ut av i idefasen. Her bør en gjøre et godt arbeid med å finne byggets form og funksjon. Dette er også noe Matland peker på som noe potensielt negativt ved lean. Han var ikke positiv til lean i alle prosjektets faser, fordi *”Lean kan være med på å standardisere for mye av arbeidet, noe som gjør at kunden ikke blir tatt hensyn til på riktig måte”*. Han mener at det er viktig at kunden står i fokus, og ikke bare økonomi. Fordelen med en slik holdning er at en kan ha større frihet under prosjekteringen, og komme frem med innovative ideer som ikke har blitt fremmet tidligere. Han mener at lavere pris ikke nødvendigvis betyr suksess for prosjektet, og at kostnader ikke bør være styrende i alle prosjekter. Fordelen er at en ikke må forholde seg til et fastsatt budsjett, men kan ha litt frihet når det gjelder løsninger og muligheter, som igjen kan føre til mer ”spenstigere” valg av løsninger. Etter hvert som prosjektet går fremover kan en finne ut, at en burde gjøre større endringer som kan gi endrede kostnader. Å ha muligheten til å gjøre slike endringer kan ha mye å si for det endelige resultatet man kommer frem til. En slik prosess kan blant annet gjøre at arkitekten stå friere til å utforske mulighetene, i stedet for å gå for forhåndsdefinerte løsninger som er standard for bestemte typer bygg. Matland er derfor noe bekymret for at kreativiteten kan bli innestengt og ikke få utfolde seg, slik at mange løsninger oppleves som standard. Ulempen ved at prisen ikke bør være styrende, er blant annet at budsjettet er svært usikkert. Flere uforutsette kostnader kan oppstå, og dersom disse blir for store kan prosjektet stoppe opp. En annen ulempe er at en ikke får benyttet seg av ”target cost”, som gjør det vanskeligere å holde kontroll over økonomien. Om en ikke vet hvor store kostnadene blir på forhånd, blir det vanskelig å prise produktene eller tjenestene. En vanlig form for å finne target cost er å trekke fra fortjenesten av markedsprisen. Dersom markedsprisen på forhånd er bestemt, vil størrelsen på target cost avgjøre hva fortjenesten blir. En ukontrollert kostnad kan fort føre til at hele fortjenesten spises opp.

Andre ulemper som ble nevnt av informantene var at det i starten vil kreve en innføringsprosess som koster penger og tar tid. Her er det forståelig at flere nevner dette, da kunnskapen på om lean filosofien er begrenset hos flere av informantene. Dette er kostnader som tapte inntekter på prosjekter som de alternativt kunne tjent penger på. Å velge å bruke tid på kursing i stedet for å tjene penger på alternative prosjekter vil for mange bedrifter være et vanskelig valg. Meningen bak denne satsingen vil være at investeringen skal tjenes inn igjen, og dersom det er en storsatsing som skal til, følger også store investeringer med. Når en skal tjene inn disse summene bør en se på hva alternativkostnaden blir, og om de vil klare å få disse pengene tilbake igjen. Om investeringen går over et større tidsrom, bør en også ta hensyn til at pengene mister sin verdi ettersom tiden går. For å kunne løse dette må bedriftene finne ut av hvilken kalkulasjonsrente til skal legge til grunn for å tjene inn investeringen. Dette kan blant annet finnes ved å bruke nåverdiberegninger. Det vil si at en legger til grunn størrelsen på investeringen, samt inntjeningen en får fremover for ved hjelp av kalkulasjonsrenten finner ut om den fremtidige inntjeningen er større enn investeringen som foretas.

Å kunne unngå rework kan som nevnt oppnås ved å finne innovative løsninger. Alle arbeidere er hele tiden med på å lete etter områder hvor det er mulig å forbedre seg. Under bilproduksjonen av Toyota hadde de ansatte full rett til å stoppe produksjonen dersom de så uregelmessigheter som feil og mangler. Dermed fant en ut av hvor feilen ble funnet og hva feilen var slik at de kunne spore den tilbake der hvor den stammet fra. Da de kom dit, fant de den mulige årsaken til at feilen oppstod, og tok hånd om årsaken slik at dette ikke skulle kunne skje igjen. Dermed fjernet de en form for sløsing som ikke var verdiskapende. Måten de fant årsaken på kunne være ved hjelp av flere metoder, men et verktøy som de utviklet og benyttet seg av var ”5 Whys”. Om en hele tiden er på utkikk etter måter å kunne forbedre seg på, kan det føre til at en kommer opp med innovasjoner. Siden en søker etter måter å løse nåværende eller fremtidige problemer på, kan det skje at en kommer opp med løsninger som kan brukes flere andre steder også. Ved et slikt kontinuerlig arbeidet er det hovedsakelig inkrementelle innovasjoner som oppstår, og sjeldent radikale innovasjoner. Sannsynligheten for at radikale innovasjoner skal oppstå er høyest i begynnelsen når også forbedringspotensialet er stort. Etter hvert som arbeidsprosessene forbedres blir endringene mindre og mindre, og en bruker punkt 5 blant de 5 hovedprinsippene innen lean som er å søke

etter perfektjon. I teorien skal en hele tiden kunne forbedre seg mot en ideell prosess, men i praksis er dette svært lite sannsynlig at noen klarer. Ohno, i Toyota, var en av de som kom opp med flere innovasjoner da han utviklet lean filosofien. Han kom opp med flere prinsipper, ideer og verktøy som gjorde arbeidet hos Toyota slankere, og mer effektivt. Under arbeidet med Nasjonalmuseet kom Statsbygg opp med flere innovasjoner for å lette deres eget arbeid, og fjerne sløsing. Disse innovasjonene var koblet opp mot BIM-modellen. En av innovasjonene oppstod på grunn av lokale og globale koordinater. Da de skulle koble BIM-modellen i IFC-format sammen med en GIS-modell, ble de først nødt til å få de lokale koordinatene fra BIM-modellen, over til globale koordinater i GIS-modellen. Det i seg selv var ingen innovasjon, men å utvikle en IFC-støtte i en GIS-modell slik at de kunne vise BIM-modellen som en film med omgivelser var nyskapende. En annen innovasjon som oppstod for å lette Statsbygg sitt arbeid var å skape IFC-filer med anonymitet. Hver gang et objekt legges inn i BIM-modellen, skapes en ny og unik identitet for dette objektet, kjent som en GUID. Regelen sier at slike GUID'er ikke skal endres. En slik unik GUID kan brukes til å finne ut hvem som har lagt den inn, noe som også betyr at en kan finne ut hvem som har laget BIM-modellen, hvilket Statsbygg ville unngå i begynnelsen. I stedet for at Statsbygg skulle slippe å bygge opp hver BIM-modell på nytt (slik at det står Statsbygg på alle GUID'er i stedet for bedriften som virkelig har laget modellen), så kom de opp med en ny løsning som gjør at alle modellene ble anonyme. Ulempen med dette var at mye tid gikk med til å utvikle løsningen, noe som også kostet penger. Fordelen er derimot at en denne løsningen kan brukes ved liknende situasjoner senere.

Allerede er noen ulemper nevnt, men det finnes også flere ulemper ved lean. En av disse er målingen som bedriftene foretar for å kontrollere fremgang eller tilbakegang. Slike målinger kan være med på å stresse de ansatte. Dersom de skal måles på flere områder, kan de føle at de er under konstant overvåkning, noe som mennesker sjeldent liker. Dessuten kan slik måling føre til at mange føler at de må overgå seg selv, og derfor jobbe lange dager med kun små pauser, og høyt tempo. Når en innfører lean filosofien bør en forsøke å unngå slike situasjoner, som kommer av en misforståelse av hvordan lean fungerer. Når en skal arbeide på en lean måte skal en ha flyt i arbeidet, og det er derfor viktig at en følger opp og kontrollerer arbeidstempoet. Over kort tid kan kunstig høyt arbeidstempo være bra, men i lengden er sjeldent dette holdbart. Et høyt arbeidstempo med lange dager over lengre tid kan føre til utbrente arbeidere som sykemeldes, som igjen er uheldig fordi en mister arbeidskraft og erfaring. Om en ikke kommer inn i riktig arbeidsflyt, kan en variere mye i prestasjonene, og målingene som foretas blir også ustabile. Dette kan også være et problem i innkjøringsprosessen av lean i bedriften, hvor mye er nytt og nye teknikker og prinsipper skal læres. Ustabil arbeidsflyt kan også virke frustrerende for flere. Dette viser igjen at det er viktig å kontrollere arbeidstempoet hos de ansatte, slik at de prøver å tilpasse seg et tilfredsstillende arbeidstempo.

En måte å unngå stress på kan være å la de ansatte få rotere, og ha varierte arbeidsoppgaver. For de prosjekterende kan dette være å kunne ha muligheten til å jobbe med flere ulike prosjekter. En bør derimot være klar over at å variere mellom flere prosjekter krever multitasking og en "start og stopp"-prosess som tar ekstra tid. Om en person på Nasjonalmuseet føler mye stress på prosjektet, kan det være til hjelp å koble av ved å arbeide en tid med et annet prosjekt samtidig. Det andre prosjektet kan da gjøre at en får Nasjonalmuseet litt på avstand, men samtidig arbeider. Selv om en har fått prosjektet litt på avstand, kan det ligge i bakhodet og en kan finne løsninger på problemene som gjør at en blir stresset under arbeidet med Nasjonalmuseet.

Som nevnt kan lean føre til stress og frustrasjon på arbeidsplassen. Samtidig kan lean også føre til en god flyt i arbeidet dersom en får til det en holder på med. Om en kommer inn i riktig arbeidsflyt kan det føre til at en får en følelse av at en bare kan fortsette med det en holder på med så lenge en vil. Om trekker inn et utenomfaglig eksempel, så kan dette forklare flytsonen på en god måte. Når en er ute å løper seg en langtur kan en føle at "alt" stemmer. Mange løpere får da en følelse de kaller "runners high". Det som skjer er at en opplever å beherske en aktivitet over lengre tid i et tilfredsstillende arbeidstempo, som gjør

at en får en følelse av at beina går av seg selv under treningen. Noe av det samme kan det sies at de ansatte har når de har flyt i arbeidet sitt.

7.2.13 Koblingen mellom BIM og lean

Av de spurte var alle enige om at koblingen mellom BIM og lean både var spennende og verdt å undersøke nærmere, for å se på lønnsomheten. De hadde en alle en positiv holdning, og var nysgjerrige på om disse områdene ville vokse tettere sammen i tiden fremover. Samtidig hadde de tro på at det ville bli mer fokus på koblingen i fremtiden. Jacobsen sa at han hadde hørt mye positivt om synergien som kan oppstå som følge av kombinasjonen, Kvarsvik uttalte ”*BIM fremmer lean*”, mens Heier sa ”*BIM og lean går hånd i hånd. Dersom en bruker BIM på riktig måte, betyr det at en benytter seg av lean også*”. Slike utsagn viser at flere er interesserte i en slik kobling, og en ide for Rambøll eller andre liknende bedrifter, kan derfor være en ide å se nærmere på det. Matland kom med følgende utsagn ”*Det er en side av samme sak, effektivisering. Bruk av BIM gir effektivisering, bruk av lean gir effektivisering, så det må være en link der*”.

7.2.14 Andre prosjekter hvor BIM og lean construction er kombinert

Nye St. Olavs Hospital som skal stå ferdig i 2014 til en pris på 12 mrd. kr kombinerer både BIM og lean. Byggherre er Helsebygg Midt-Norge (HBMN). I 2009 ble Gastrocenteret ved sykehuset ferdigstilt og overlevert, og arbeidet ble referert til som ”verdensrekord i ferdighetsgrad” av adm. dir. J. A. Vatnan hos HBMN. All informasjon ble gjort tilgjengelig digitalt, i tillegg til at anbudene også ble innhentet digitalt. HBMN hevder at ved bruk av prinsipper hentet fra bl.a. lean og BIM å ha spart hundrevis av millioner (Baartvedt, 2010).

I USA har flere prosjekter som er gjennomført med bruk av både BIM og lean. Et eksempel er rehabiliteringen av ”Sutter Health Medical Center Castro Valley” i California, USA. Prosjekteringen startet i 2007, og bygget skal ferdigstilles i 2013. Noe av det første de gjorde var å ta i bruk ”Integrated Design & Delivery”, slik at både entreprenører og underentreprenører ble inkludert under prosjekteringen. De satt av 7 uker i begynnelsen til en studie som skulle sikre at de holdt seg innenfor budsjett - og kostnadsrammene ved å finne svar på problemer som senere kan oppstå. Dette kan sammenliknes med frontloading (pkt. 3 i ”12 tools”). Prosjektet genererte i løpet av de to første årene generert 25 000 digitale dokumenter. Samtidig var over 50 bedrifter med i prosjektet, og hundrevis av personer hadde tilgang til prosjektmaterialer. utfordringer som ble taklet var for eksempel å alltid ha siste oppdatering. Dette ble løst ved de innførte et system som gjorde det mulig å se hvem som jobbet med hvilke dokumenter til enhver tid. Med disse tiltakene lå de i desember 2009 under budsjett med \$1,2 mill. Estimert prosjekteringstid og tidsbruk før godkjent byggetillatelse foreligger ved et tradisjonelt prosjekt av denne størrelsen på var henholdsvis 30 - 36 og 24 måneder. Virkelig prosjekteringstid og tidsbruk på byggetillatelse var på henholdsvis 15 og 6 måneder. Dvs. at prosjektet her hadde spart 33 - 39 måneder (McGraw-Hill Construction, 2009).

Bedriften Pacific Contracting fra USA er et annet eksempel på hvilken effekt bruk av lean og BIM kan ha. Bedriften sine to største ulemper var dårlig informasjonsflyt med tilførende dårlig forarbeid som førte til mye rework, og dårlig flyt av materialtilførsel. De endret prosjekteringsfasen ved å benytte BIM, som førte til at de ansatte kunne utforske tegninger, analysere og planlegge på en annen måte enn tidligere. De innførte også Last Planner System™ slik at de kunne forbedre materialtilførselen og øke flyten i arbeidet. Med samme antall ansatte, klarte de i løpet av 18 måneder å øke den årlige omsetning med 20 % (Constructing Excellence, 2004).

8 KONKLUSJON

Hvordan kan BIM bidra til en mer leanorientert prosjekteringsledelse, og hvilke muligheter åpner dette for?

At BIM bidrar til en mer leanorientert prosjekteringsledelse er det liten tvil om. Ved å bruke BIM på den rette måten åpner en samtidig for flere prinsipper fra lean filosofien.

BIM er både en bygningsmodell med informasjon, og en prosess for å komme frem til denne modellen. Gjennom bruk av “Integrated Design & Delivery” kan en forbedre samarbeidsprosessene under et prosjekt. Dette kan gjøres gjennom å bruke metoden som Lean Project Delivery, Set-Based Design og Evidence-Based Design. Når en bruker disse metodene integrerer en flere aktører tidligere enn hva som er vanlig. Ved å inkludere BIM i disse samarbeidsprosessene kan det bidra til at en tidligere øker teamet sin forståelse for prosjektet. Dette fører også til at mer arbeid gjøres tidligere i prosjektet når endringene er billige og foreta, og en fortsatt har stor mulighet til å påvirke løsningene.

BIM bidrar også til en mer leanorientert prosjekteringsledelse i form av en visuell effekt. En slik visuell effekt kan være med på å redusere variasjon, aktørene kan kontrollere bygget og lage fremdriftsplaner med sikre estimater vha. simulering i 4D og videreutvikling i Last Planner System™ (LPS). Utarbeidelsen av fremdriftsplaner i LPS vil til at en vil oppnå pull-effekt i prosjektet. Et godt eksempel vil være en rådgivende ingeniør som mottar BIM-modellen fra arkitekten i det øyeblikk som den etterspørres. Det er viktig at informasjonen i BIM-modellen er tilpasset brukeren, og at modellen holdes på et fleksibelt og praktisk nivå.

Fleksibelt er et prinsipp innen lean som BIM bidrar til gjennom å kunne bruke tidligere løsninger fra andre prosjekter, eller brukte løsninger som er endret. BIM har også den egenskapen at flere sett med tegninger endres, dersom et objekt endres.

Andre områder BIM bidrar til mer leanorientert arbeid er gjennom å redusere omstillingstider, standardisere prosesser, kontrollere og søke etter forbedringer (bl.a. gjennom kollisjonskontroller).

Dette åpner for muligheter som økt effektivitet, bedre flyt, kortere prosjekttid, mer omfattende arbeid i prosjekteringsfasen, høyere kvalitet, bedre koordinasjon, kommunikasjon- og samarbeidsprosesser, og reduserte kostnader. I tillegg åpner koblingen BIM og lean for muligheten av større forståelse for hva kunden verdsetter, og dermed mer verdifulle løsninger for kunden. Samtidig oppstår muligheten for mindre sløsing, i form av bl.a. mindre rework, mindre overproduksjon, og mindre venting.

BIM åpner også for muligheten av bedre utarbeidelse av FDV-dokumentasjon, noe kunden kan verdsette høyt. Dette kan åpne for en bedre, og sikrere drift av bygger for kunden.

Erfaringer

Både fra tidligere prosjekter og Nasjonalmuseet sitter de involverte i prosjekteringsfasen igjen med følelsen av å ha levert arbeid av bedre kvalitet enn tidligere, noe som har høy verdi hos kunden. Dette henger sammen med økt forståelse, bedre kommunikasjon, flere involverte tidlig, og muligheten til å bygge elektronisk før fysisk slik at feil oppdages tidligere i kollisjonskontroller som gjør at prosjektet kontinuerlig forbedrer seg.

BIM-brukere føler også ofte at de får et bedre samhold i teamet, som følge av flere involverte tidlig og at modellen viser hva de bidrar til å skape. Dette skaper engasjement, tillitt, ansvarsfølelse på et annet plan enn tidligere. Modellen forenkler også prosjekteringslederens sitt arbeid, ved at det visuelle berikes med

informasjon som kan kontrolleres og kvalitetssjekkes. Under prosjekteringsmøtene kan en samkjørt modell trekkes frem og diskuteres. Mulighetene dette byr på, overgår de tidligere mulighetene en har hatt ved at hvert fag har med seg hvert sitt sett med fagspesifikke tegninger. Prosjekteringslederen har også bedre kontroll over fremdriften til alle involverte fordi modellen er “gjennomsiktig”.

Mange er usikre på hva lean filosofien går ut på, men et fellestrekk som går igjen hos de spurte er at de er positive til alt som er med på å forbedre prosjekteringsarbeidet deres. De vil derfor at noen går foran og viser at dette er noe som fungerer, for at lean skal innføres. En mulighet kan derfor være at store og viktige aktører går i bresjen for å vise at dette er noe som en bør satse på, slik som Statsbygg og Forsvarsbygg har gjort med BIM.

9 ETTERORD

I etterkant av oppgaven kan jeg se at oppgaven kan ha betydning for andre bedrifter enn Rambøll som også arbeider i prosjekteringsfasen. De kan gjennom oppgaven få innsikt i hvordan Rambøll har valgt å arbeide innenfor områdene BIM og lean, og dermed få ideer til deres arbeid innen de samme områdene. Det er også mulig at de kan se på Rambøll som en utviklings- og samarbeidspartner i fremtiden.

Etter at oppgaven ser jeg også at noen ting kunne ha vært håndtert på en annerledes måte. Bl.a. ser jeg nå fordelene om det hadde vært to personer som hadde skrevet oppgaven. Ved å skrive oppgaven alene måtte jeg gjøre mye arbeid på egenhånd, noe jeg også var klar over ved start. Men jeg savnet å ha en medforfatter å diskutere oppgaven med. Det at både BIM og lean var relativt nytt for meg merket jeg også godt, ved at det krevde mye ekstra arbeid, og mange sene kvelder med rapporter og lærebøker om emnene.

Når jeg går gjennom kildene ser jeg at jeg kunne vært noe mer kildekritisk til noen av dem. Bl.a. bygger rapporten til Grimsmo (2008) på kilder som muligens ikke er så gode. Dette kan svekke gyldigheten for min oppgave. Kilden Ingvaldsen (1994) er også en referanse som en må ta hensyn til. Denne kilden stammer fra 1994, og bygger på forskning mellom 1985-1993. Den aktuelle dataen som han presenterer er ganske stabil, og han viser også til andre rapporter som kommer til de samme resultatene som han gjør. Men det er fortsatt en mulighet for at disse tallene kan ha endret seg i etterkant, siden det er gått 18-26 år siden dataene ble innsamlet. Kilden Kruse Smith AS (2011) bygger også på Ingvaldsen (1994).

Kilden McGraw-Hill Construction (2009, 2010) har samarbeidet med aktører fra BIM-miljøet under utarbeidelsen av rapporten. Av denne grunn kan det være mulig at BIM fremstilles i et meget godt lys i rapporten, noe som bør tas hensyn til når rapporten leses. Bl.a. trekker rapporten frem svært få negative sider.

Til slutt vil jeg si at selv om oppgaven har krevd mye arbeid, har det vært ekstremt lærerikt og spennende. Jeg har fått god innsikt i både BIM og lean under prosjekteringsfasen. Dette har ført til at jeg spesielt kommer til å arbeide med BIM i prosjekteringsfasen innenfor min nye jobb. Jeg håper også å kunne bruke min kunnskap om lean til å innføre dette i større grad på arbeidsplassen.

LITTERATURLISTE

- Andersen, B., Austeng, K., Røstad, C. C., Torp, O., & Veiseth, M. (2004). *Produktivitet og logitikk i bygg- og anleggsbransjen: Problemområder og tiltak*. Trondheim: SINTEF.
- Arge, K., Moe, K., & Westgaard, H. (2010). *Prosjekteringsplanlegging og prosjekteringsledelse*. Arkitektbedriftene og Byggekostnadsprogrammet.
- Autodesk Whitepaper. (2008). *Improving Building Industry Results through Integrated Project Delivery and Building Information Modeling*. USA: Autodesk.
- Baartvedt, O. (2010). *Byggeweb*. Hentet Februar 15, 2011 fra St Olavs hospital : https://www.byggeweb.dk/cms/no/referanser/case_prosjekt/stolav/
- Ballard, G., Mossman, A., & Pasquire, C. (2010). *Lean Project Delivery - innovation in integrated design & delivery*. Ballard, Glenn; Mossman, Alan; Pasquire, Christine.
- BIM Rådet Rambøll Norge, J. (2009). *BuildingSMART Strategi 2010-2012*. Rambøll (Intranett).
- Biscoppro. (2011). *Building Integration Software*. Hentet April 27, 2011 fra The Problem We`re Solving: <http://www.biscoppro.com/index.php/what-we-do/the-problem-we-solving.html>
- Bølviken, T., Gullbrekken, B., & Nyseth, K. (2010). *Collaborative design management*. Oslo: Veidekke Entreprenør.
- Braut, G. S. (u.d.). *Store Norske Leksikon*. Hentet Februar 24, 2011 fra Validitet (SML-artikkel): http://www.snl.no/sml_artikkel/validitet
- Braut, G. S., & Stoltenberg, C. (u.d.). *Store Norske Leksikon*. Hentet Februar 24, 2011 fra Reliabilitet (SML-artikkel): http://www.snl.no/sml_artikkel/reliabilitet
- Brobak, E. (2007, November 27). *Index of/erlenbr/diverse*. Hentet Januar 20, 2011 fra Byggprosessens.doc: folk.ntnu.no/erlenbr/diverse/Byggeprosessens.doc
- buildingSMART. (2008, Januar 11). *buildingSMART, Dashboard, IDM, Home*. Hentet Mars 9, 2011 fra IDM on Confluence: <http://idm.buildingsmart.no/confluence/display/IDM/Home;jsessionid=E87D21BA8F33F37BEC16EFBE4357BB86>
- buildingSMART. (2008). *Vi bygger smartere. Effektiv og lønnsomt - en status på buildingSMART i Norge*. buildingSMART.
- buildingSMART International. (2008). *buildingSMART International home of open BIM*. Hentet 13 Januar, 2011 fra IFC Overview summary - General information about IFC, that is independent of the IFC specification releases: <http://www.iai-tech.org/products/ifc-overview>
- buildingSMART Norge. (2010, Oktober 2010). *buildingSMART Norge buildingSMART*. Hentet Januar 28, 2011 fra Hva er buildingSMART?: <http://www.buildingsmart.no/buildingsmart>

- buildingSMART og Helsebygg Midt Norge. (2010, September 2). *Trimmet bygging - Hva er potensialet med bruk av Lean Construction?* (K. O. Sandvik, Artist) Gardermoen, Oslo, Norge.
- Bulsuk, K. G. (2009, April 2). *Full speed ahead*. Hentet Mai 8, 2011 fra An introduction to 5-why: <http://blog.bulsuk.com/2009/03/5-why-finding-root-causes.html#axzz1LkpGxSAU>
- Byggeindustrien. (2009, Juni 29). *Rambølls racere på Revit*. Hentet Januar 11, 2011 fra <http://www.bygg.no/id/45312>
- Byggekostnadsprogrammet. (2008, Juli 17). *Byggekostnadsprogrammet*. Hentet Februar 9, 2011 fra <http://www.byggekostnader.no/category.php/category/Om%20programmet/?categoryID=263>
- Byggekostnadsprogrammet. (2010). *Sluttrapport for prosjekt 14309 - Klok av skade*. Oslo: Kunnskapssystemet Nasjonal database for byggkvalitet.
- Byggenæringens Landsforbund. (2010). *Fakta om byggenæringens landsforbund*. Oslo: Byggenæringens landsforbund.
- Constructing Excellence. (2004, Oktober 28). *Constructing Excellence*. Hentet Januar 20, 2011 fra http://www.constructingexcellence.org.uk/pdf/fact_sheet/lean.pdf
- Construction Advisor Today. (2009, September 17). *Construction Advisor Today*. Hentet Februar 16, 2011 fra BIM Implementation and Lean Construction Contribute to Millions in Savings on Hospital Project: <http://constructionadvisortoday.com/2009/09/bim-implementation-and-lean-construction-contribute-to-millions-in-savings-on-hospital-project.html>
- Dave, B., Koskela, L., Owen, R., & Sacks, R. (2009). *The Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction*. Israel.
- Det Kongelige Nærings- og Handelsdepartementet. (2008-2009). *Et nyskapende og bærekraftig Norge*. Oslo: Det Kongelige Nærings- og Handelsdepartementet.
- Duff, R., & Horner, M. (2001). *More for less - A contractor's guide to improving productivity in construction*. London: CIRIA.
- Eastman, C., Liston, K., Sacks, R., & Teicholz, P. (2008). *BIM Handbook Introduction*. John Wiley & Sons.
- Eiken, P., & Skavang, E. (2008). *Styringsdokument for Byggekostnadsprogrammet - Versjon 3*. Oslo: Byggekostnadsprogrammet.
- Eriksen, H., & Moe, K. (2010). *Prosjekteringsplanlegging og prosjekteringsledelse*. Byggekostnadsprogrammet og Arkitektbedriftene.
- Espedokken, K. (2006, April 1). *buildingSMART*. Hentet Februar 11, 2011 fra IDM Makes IFC Work: <http://idm.buildingsmart.no/confluence/display/IDM/IDM+Makes+IFC+Work>
- Fafo. (2011). *Lean Shipbuilding - Lean Construction - en prosjektside drevet av Fafo*. Hentet Februar 14, 2011 fra Last Planner: <http://www.fafo.no/lean/lastplanner.htm>
- Ford Motor Company. (2011). *Utviklingen av masseproduksjon*. Hentet Mai 18, 2011 fra <http://www.ford.no/OmFord/Selskapsinformasjon/Historie/UtviklingenavMasseproduksjon>

- Føyen, A. D. (2009, Januar 8). *Byggherreforskriften*. (Føyen Advokatfirma DA, Artist) Kursdagene, Oslo, Norge.
- Grimsmo, E. (2008, Juli 8). *Byggekostnadsprogrammet*. Hentet Februar 17, 2011 fra Hvordan unngå prosjekteringsfeil:
http://www.byggekostnader.no/getfile.php/Filer/PDF%27er%20fra%20prosjekter/Hvordan%20unnga%20prosjekteringsfeil%20_25.01.pdf
- Grønland, S. E. (1998). Logistikkledelse. I S. E. Grønland, *Logistikkledelse* (ss. 146-218 - Kapittel 5). Oslo: Cappelen Akademiske Forlag.
- Hjelseth, E. (2008, Februar 6). *buildingSMART i undervisningen ved NTNU*. Trondheim, Sør-Trøndelag, Norge.
- IAI Norge. (2003, November 18). *buildingSMART International Alliance for Interoperability*. Hentet April 1, 2011 fra Munkerud demo: http://iai.no/demo/Munkerud_demo.htm
- IFD Library. (2011, April 26). *IFD Library for buildingSMART*. Hentet Mai 17, 2011 fra Home Page:
http://www.ifd-library.org/index.php?title=Main_Page
- Ingvaldsen, T. (1994). *Byggskaedomfanget i Norge - Utbedringskostnader i norsk bygge- /eiendomsbransje - og erfaringer fra andre land - Prosjektrapport 163*. Oslo: SINTEF Byggforsk.
- Inno Design. (2009, August 25). *Også Forsvarsbygg krever BIM*. Hentet Januar 11, 2011 fra
<http://www.innodesign.no/nor/Bygg-Anlegg/Ogsaa-Forsvarsbygg-krever-BIM>
- Isaksen (Forelesning - Bruk av teori - 04.01.11), A. (2011, Januar 4). *Bruk av teori i masteroppgaven - Metodeseminar i indøk (Forelesning)*. Universitetet i Agder, Grimstad, Aust-Agder, Norge.
- Kalsaas, B. T. (2009). *Ledelse av verdikjeder - Strategi, design og konkurransevne*. Trondheim: Tapir Akademiske Forlag.
- Kleihues + Schuwerk, G. v. (2010). *forum artis*. Hentet Februar 18, 2011 fra
<http://www.statsbygg.no/Utviklingsprosjekter/Nasjonalmuseet/Nasjonalmuseet-pa-Vestbanen/Foto-forum-artis/>
- Koskela, L. (2000). *An exploration towards a production theory and its application to construction*. Helsinki: VTT Technical Research Centre of Finland.
- Koskela, L., Howell, G., Ballard, G., & Tommelein, I. (2002). The foundations of lean construction. I R. Best, & G. d. Valence, *Design and Construction: Building in Value* (ss. 211-226). Oxford, UK: Butterworth-Heinemann Ltd.
- Kruse Smith AS. (2011, Januar 4). *Samhandling - prosjektering - utførelse*. (T. Stupstad, Artist) NTNU, Trondheim, Sør-Trøndelag, Norge.
- Larsen, A. K. (2008). *En enklere metode - Veiledning i samfunnsvitenskapelig forskningsmetode*. Bergen: Fagbokforlaget.
- Larson, E. W., & Gray, C. F. (2011). *Project Management - The managerial process (5th edition)*. The McGraw-Hill/Irwin Companies.

- Lean Construction Institute. (2008, Juli 21). *Introduction to Lean Construction*. (S. E. Robert Blakey Principal, Artist) ASHE 45th Annual Conference.
- Lean Construction Institute UK. (2005). *Last Planner*. Hentet Februar 14, 2011 fra Making projects more predictable: <http://www.obom.org/DOWNLOADS2/LPSsummary.pdf>
- Lean Enterprise Institute; A brief history of lean. (2009). *What is lean?* Hentet Januar 18, 2011 fra A brief history of lean: <http://www.lean.org/WhatsLean/History.cfm>
- Lean Enterprise Institute; Lean Action Plan. (2009). *Lean Action Plan*. Hentet Januar 18, 2011 fra <http://www.lean.org/WhatsLean/GettingStarted.cfm>
- Lean Enterprise Institute; Principles of lean. (2009). *What is lean?* Hentet Januar 18, 2011 fra Principles of lean: <http://www.lean.org/whatslean/principles.cfm>
- Lean Innovations. (2003). *Lean Innovations*. Hentet Januar 21, 2011 fra What is the 5S Technique?: http://www.leaninnovations.ca/5s_technique.html
- Mapaid, L. (2007, Mai 22). *Google Earth*. Hentet Februar 21, 2011 fra Panoramio: <http://www.panoramio.com/photo/3506800>
- McGraw-Hill Construction. (2009). *The Business Value of BIM - Getting Building Information Modeling to the Bottom Line*. New York: McGraw-Hill Construction.
- McGraw-Hill Construction. (2010). *The Business Value of BIM in Europe*. Massachusetts, USA: McGraw-Hill Construction.
- McGraw-Hill Construction. (2010). *The Business Value of BIM in Europe - Smart Market Report*. Massachusetts, USA: McGraw-Hill Construction.
- Meland, Ø. H. (2000). *Prosjekteringsledelse i byggeprosessen*. Trondheim: NTNU.
- Michigan State University. (2008, April). *Lean Construction - A Promising Future for MSU*. Hentet Januar 19, 2011 fra https://www.msu.edu/~tariq/C2P2AI_LeanConstruction_WhitePaper.pdf
- Multiconsult. (2010, April 16). *Hvordan kan BIM påvirke rollen som prosjekteringsleder*. (T. Ø. Holt, Artist) Tekna, Norge.
- Porwal, V. (2010, Februar 7). *BIM+Lean+Green*. Hentet Mars 29, 2011 fra Building Information Modeling (BIM) and Lean Construction for Successful Project Management: <http://bimleangreen.blogspot.com/2010/02/building-information-modeling-bim-and.html>
- Quality Support Services, I. (2007). *Lean Construction Practices*. Hentet Januar 21, 2011 fra http://www.pinp.org/files/smiw/08/Lean_Contracting_Practices.pdf
- Rambøll. (2008, Oktober 20). *Lean - Improvement meetings*. Storbritannia / Danmark.
- Rambøll BIM-utføringsplan. (2011). *11873 Prosjekt nytt Nasjonalmuseum - BIM-utføringsplan*. Oslo: Rambøll.
- Rambøll. (Desember - 2009). *12 Tools - Rambøll Lean*. Rambøll (Intranett).
- Rambøll Norge . (2011). *Rambøll Norge* . Hentet April 28, 2011 fra Om oss: <http://www.ramboll.no/about%20us>

- Rambøll(Kurs). (2009, Desember 14). Høgskolen i Tromsø, BIM-modell som IFC-fil fra Solibri. *BIM kurs hentet fra Rambøll sitt intranett.*
- Rambøll(Olje/gass) (Regissør). (2009). *Watch lean planning in action - video from Qatar* [Film].
- Rambøll, I. (2010). *Ramboll lean: Moving to world class*. Rambøll.
- Russel, R. S., & Taylor, B. W. (2006). *Operations Management - Quality and competitiveness in a global environment - 5th edition*. John Wiley & Sons, Inc.
- SandeepHardas. (2008, Mai 2008). *Youtube*. Hentet Februar 2, 2011 fra Clash detection & Constructability analysis - Navisworks: <http://www.youtube.com/watch?v=W0kw4obw2wc>
- Sander, K. (2004, August 24). *Kunnskapscenteret*. Hentet Mai 20, 2011 fra Validitetsfeil: <http://www.kunnskapscenteret.com/articles/2683/1/Validitetsfeil/Validitetsfeil.html>
- Seehusen, J. (2009). Første doktorgrad på BIM i Norge: - BIM krever disiplin og nye prosesser. *Teknisk Ukeblad, Januar*.
- SINTEF, B. (2009, Mai 14-15). *Introduksjon til buildingSMART og BIM for Rambøll Norge AS*. (A. Moum, & T. F. Berg, Artister) Norge.
- SNL. (u.d.). *Store Norske Leksikon*. Hentet Mai 18, 2011 fra Henry Ford: http://www.snl.no/Henry_Ford
- Statsbygg. (2008). *BIM-Manual - Versjon 1.00*. Statsbygg.
- Statsbygg. (2009). *Forslag til planprogram for Nasjonalmuseet for kunst, arkitektur og design - Vestbanen*. Oslo: Statsbygg.
- Statsbygg. (2010, Oktober 18). *Nasjonalmuseet: Stor rådgiverkontrakt inngått*. Hentet Mars 9, 2011 fra <http://www.statsbygg.no/Aktuelt/Nyheter/ramboll/>
- Statsbygg, BIM-manual 1.1. (2009). *BIM-manual 1.1*. Oslo: Statsbygg.
- Stave, S. E. (2006, April 27). *Statistisk Sentralbyrå*. Hentet Januar 24, 2011 fra Avfall fra byggevirksomhet, 2004. Foreløpige tall.: <http://www.ssb.no/emner/01/05/avfbygganl/>
- Tjell, J. (2010). *Building Information Modeling (BIM) in Design Detailing with Focus on Interior Wall Systems*. San Francisco og København: University of California Berkeley and Technical University of Denmark .
- UGS PLM Solutions. (2004). *Business Process Initiative: Lean Design*. UGS PLM Solutions.
- UiO. (2008, Juli 28). *Universitetet i Oslo - Norske ordbøker*. Hentet Februar 24, 2011 fra Bokmålsordboka: <http://www.dokpro.uio.no/perl/ordboksoek/ordbok.cgi?OPP=empiri&ordbok=bokmaal&alfabet=n&renset=j>
- Ulstein, H. (2006, Januar 28). *Dagsavisen*. Hentet Mai 11, 2011 fra Alt henger sammen med alt: <http://www.dagsavisen.no/meninger/article286583.ece>
- VVS forum. (2010, Mars 2). *Konferansen "åpenBIM i praksis" skal gi deg oversikt*. Hentet Januar 11, 2011 fra <http://www.vvs-forum.no/konferansen-aapenbim-i-praksis-skal-gi-deg-oversikt.4754053-84671.html>

TABELLOVERSIKT

Tabell 1: Fordeler ved BIM som bidrar til mest verdi innen Storbritannia, Tyskland og Frankrike (McGraw-Hill Construction, 2010).....	26
Tabell 2: Områder som kan bidra til økt verdi fra BIM (McGraw-Hill Construction, 2009).....	32
Tabell 3: Produktivitetsindeks over bygg og anlegg, offshore/skipsbygging og vareproduserende industri (Andersen, Austeng, Røstad, Torp, & Veiseth, 2004).....	40
Tabell 4: Oversikt over TFV-teorien (Koskela, Howell, Ballard, & Tommelein, 2002).....	48

FIGUROVERSIKT

Figur 1: Arbeidsmetode under oppgaveskrivingen (Isaksen (Forelesning - Bruk av teori - 04.01.11), 2011)	17
Figur 2: BIM-trekanten (SINTEF, 2009)	27
Figur 3: Tradisjonell kommunikasjonsmetode under byggeprosjekter til venstre, og kommunikasjon under BIM-prosjekter til høyre (Hjelseth, 2008)	29
Figur 4: Hvilken innvirkning BIM kan ha på prosjekter (Hjelseth, 2008)	31
Figur 5: Samhandling mellom BIM og Rambøll (BIM Rådet Rambøll Norge, 2009)	33
Figur 6: Prosjekteringsfasen (Arge, Moe, & Westgaard, 2010)	36
Figur 7: Kompromisser som vanligvis må gjøres under prosjekter (Bølviken, Gullbrekken, & Nyseth, 2010)	37
Figur 8: Iterasjonsfasen under prosjekteringen (Bølviken, Gullbrekken, & Nyseth, 2010)	38
Figur 9: MacLeamy kurve (Biscoppro, 2011) PD = Predesign, SD = Schematic design, DD = Design development, CD = Construction detailing, PR = Procurement, CA = Construction administration, OP = Operation	39
Figur 10: Produktivitetsindeks mellom 1964-2004 (Eastman, Liston, Sacks, & Teicholz, 2008)	40
Figur 11: 5 hovedprinsipper innen lean filosofien (Lean Enterprise Institute; Principles of lean, 2009)	42
Figur 12: Eliminasjon av sløsing gjennom tre ulike faser (Russel & Taylor, 2006)	44
Figur 13: Oversikt over hvordan Last Planner System™ fungerer (Kruse Smith AS, 2011)	49
Figur 14: Sammenlikning mellom tradisjonell og integrert arbeidsmetode (Ballard, Mossman, & Pasquire, 2010)	51
Figur 15: Verktøy for å fastsette risikoen i et byggeprosjekt (Rambøll, Desember - 2009)	54
Figur 16: Risikomatrise (Larson & Gray, 2011)	54
Figur 17: Flyten i arbeidet ved ulik arbeidsfilosofi. Grafen til venstre viser hvordan fremdriften til tradisjonelt arbeid ofte er, mens grafen til høyre viser hvordan arbeidet skal flyte når en følger lean filosofien (Rambøll, Desember - 2009)	55
Figur 18: Forslag til hvordan en bør gi og motta tilbake meldinger i Rambøll (Rambøll, Desember - 2009)	56
Figur 19: Hvordan filformatet IFC kan utnyttes av ulike aktører	57
Figur 20: Oversiktsbilde av det nye Nasjonalmuseet på Vestbanen (Kleihues + Schuwerk, 2010)	65
Figur 21: Vestbanetomten sett fra nordsiden (Mapaid, 2007)	66
Figur 22: Informasjon som legges inn før energianalyse (IAI Norge, 2003)	72
Figur 23: Analyseresultater fra energisimulering av kjøkken (IAI Norge, 2003)	72