

Lærdom fra prosjekteringsledelse av et stort og komplekst byggeprosjekt

ANDERS RULLESTAD
HANNE SKINNARLAND THORUD

VEILEDER
Bo Terje Kalsaas

Universitetet i Agder, 2019
Fakultet for teknologi og realfag
Handelshøyskolen

Forord

Denne masteroppgaven ble gjennomført våren 2019 som et avsluttende ledd i masterprogrammet Sivilingeniør i Industriell økonomi og teknologiledelse (Indøk) ved Universitetet i Agder. Masteroppgaven utgjør 30 studiepoeng og er utarbeidet i samarbeid med Multiconsult.

Oppgaven studerer den anvendte metodikken for planlegging og styring av detaljprosjekteringen av Campus Ås-prosjektet for å identifisere lessons learned sett fra et lean construction-perspektiv. En forskningsartikkel om samme tema er skrevet som en del av masteroppgaven, ment for å bli presentert i den 10nde *Engineering, Project, and Production Management (EPPM)* konferansen i Berlin 2019. Denne er vedlagt i Vedlegg 5. Artikkelen følger samme struktur som masteroppgaven, men presenterer kun hovedfunnene fra datainnsamlingen. Per dags dato er artikkelen under review.

Vi vil gjerne takke vår veileder fra UiA, Bo Terje Kalsaas, for god oppfølging og faglig støtte gjennom hele prosjektperioden både med masteroppgaven og forskningsartikkelen. Videre vil vi takke våre kontaktpersoner fra Multiconsult, Åsmund Tørvi og Geir Juterud, og alle aktører fra Campus Ås-prosjektet som har bidratt med verdifull informasjon og innsyn i prosjektet.

Grimstad, 24. mai 2019



Hanne S. Thorud



Anders Rullestad

Sammendrag

Denne oppgaven studerer et av Norges største byggeprosjekter, Campus Ås-prosjektet, som er en samlokalisering og flytting av Norges Veterinærhøgskole og Veterinærinstituttet til Norges Miljø- og Biovitenskapelige universitet (NMBU). Prosjektet omfatter 63 000 m² fordelt på 10 bygninger. Bygningene har en svært høy grad av kompleksitet på bakgrunn av en stor andel spesialarealer, store ambisjoner innenfor miljø og et ekstremt krav til smittevern. Prosjektet er anskaffet som byggherrestyrte delte entrepriser fordelt mellom 40 ulike utførelsesentrepriser. Prosjektet hadde en oppstart i 2010, og er planlagt ferdigstilt i 2020. For prosjektering alene ble det brukt over én mill. timer med en verdi på mer enn én mrd. NOK.

Formålet med masteroppgaven er å studere den anvendte metodikken for planlegging og styring av detaljprosjekteringen for å identifisere lessons learned. Dette diskuteres i lys av teorier som omhandler design som fenomen, prosjekteringsledelse, planleggings- og styringsmetodikk, lean design management og læring i organisasjoner. Oppgaven er basert på et abduktiv forskningsdesign og er gjennomført som en casestudie hvor både kvalitativ og kvantitativ metode har blitt benyttet. Oppgaven søker dermed å besvare følgende problemstilling:

- *Hvilke lessons learned kan identifiseres ut fra anvendt metodikk for planlegging og styring av detaljprosjekteringen sett fra et lean construction-perspektiv?*

Gjennom funn er det avdekket et utbredt volum av negative iterasjoner og waste i prosjekteringen, selv om enkelte tiltak er i tråd med lean tenkning. Årsaker til utfordringer knyttes blant annet til bruk av tradisjonell planleggings- og styringsmetodikk, en lang brukerprosess og sene byggherre- og brukerbeslutninger. Lessons learned fra caset oppsummeres i seks punkter: 1) Tradisjonell planleggings- og styringsmetodikk er ikke optimalt for et så stort og komplekst prosjekt. 2) Samlokalisering var en stor fordel for gjennomføring av prosjektet. 3) Benytt standardisering i større grad. 4) Inkluder tid til refleksjoner underveis i designprosessen. 5) Håndter gradvis modning på en systematisk måte. 6) Håndter brukerprosessen med bedre organisering og strukturering.

Summary

This master thesis studies one of Norway's largest construction projects, the Campus Ås project, which is a collocation and relocation of the Norwegian School of Veterinary Science and the Norwegian Veterinary Institute to the Norwegian University of Life Sciences (NMBU). The project comprises 63,000 m² spread between 10 buildings. The buildings have a very high degree of complexity due to a large proportion of special areas, great ambitions regarding the environment and an extreme requirement for Infection Prevention and Control. The project is procured as a design-bid-build project divided into 40 different execution contracts. The project started in 2010 and is planned to be completed by 2020. For engineering alone, more than one million hours were spent with a value of more than NOK 1 billion.

The purpose of this thesis is to study the methodology used for managing the detailed design phase to reveal lessons learned. This is discussed in light of theories such as design as phenomenon, design management, management methodology, lean design management and learning in organizations. The thesis is based on an abductive research design and is carried out as a case study where both qualitative and quantitative methods have been used. The thesis seeks to answer the following issue:

- *Which lessons learned can be identified from managing the detailed design phase seen in a lean construction perspective?*

Findings revealed a widespread volume of negative iterations and waste in the design process, although some measures are in line with lean thinking. Causes related to challenges includes the use of traditional management methodology, a long user process and late client and user decisions. Lessons learned from the case are summarized in six points: 1) Traditional management methodology is not optimal for such a large and complex construction project. 2) Collocation was a major advantage for the implementation of the project. 3) Use standardization to a greater extent. 4) Spare time for reflections along the way in the design process. 5) Manage gradual maturation in a systematic manner. 6) Manage the user process with better organization and structuring.

Innhold

Forord	I
Sammendrag	II
Summary	III
Figurliste	VI
Tabelliste	VII
Forkortelser	VIII
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunnsinformasjon	1
1.2 Problemstilling	2
1.3 Oppgavens oppbygging	3
2 Metode	4
2.1 Forskningstilnærming	4
2.2 Casestudie	6
2.3 Innsamling av data	7
2.3.1 Metodetriangulering	7
2.3.2 Litteraturstudie	8
2.3.3 Dokumentanalyse	8
2.3.4 Intervjuer	9
2.3.5 Spørreundersøkelse	12
2.4 Analyse av data	13
2.4.1 Intervjuer	13
2.4.2 Spørreundersøkelse	14
2.5 Kvalitet i forskningen	15
2.6 Avgrensninger og utfordringer	16
3 Teori	18
3.1 Design som fenomen	18

3.2	Prosjekteringsledelse	23
3.3	Planleggings- og styringsmetodikk	25
3.4	Lean Design Management	27
3.4.1	TFV-teorien	27
3.4.2	Last Planner	29
3.4.3	Integrated Concurrent Engineering	30
3.4.4	Choosing by Advantages	31
3.4.5	Target Value Design	31
3.4.6	Level of Development	32
3.4.7	Scrum	33
3.5	Læring i organisasjoner	34
3.6	Overgang fra teori til casestudien	37
4	Case	38
5	Funn	41
5.1	Detaljprosjektering fram til anbud	41
5.2	Oppfølgende prosjektering	45
6	Diskusjon	47
6.1	Transformasjon	47
6.2	Flyt	51
6.3	Verdi	70
7	Konklusjon	74
8	Referanser	78
	Vedlegg	86
	Vedlegg 1 - Intervjuguide	86
	Vedlegg 2 - Samtykkeskjema	89
	Vedlegg 3 - Resultater fra spørreundersøkelse	90
	Vedlegg 4 - Analyse av spørreundersøkelse	95
	Vedlegg 5 - Forskningsartikkel	98

Figurliste

1	Oppgavens bruk av den abduktive tilnærmingen	5
2	Fordeling av respondenter i spørreundersøkelsen	15
3	Samlet, sekvensiell, resiprok og intensiv avhengighet (Bell & Kozlowski, 2002, s. 58)	19
4	Cynefin-rammeverket (oversatt av forfatterne, basert på Kurtz & Snowden (2003))	23
5	Sammenheng mellom innflytelse, læring/modning og kostnad av endring (ukjent opphav)	25
6	Delprosesser i en produksjonsprosess (ukjent opphav)	28
7	Illustrasjon av verdiaspektet (ukjent opphav)	29
8	Kolbs (1984) læringssirkel	35
9	SECI-modellen (Nonaka og Takeuchi, 1995)	36
10	Oversikt over prosjekteringsgruppens organisasjonsplan (bearbeidet etter materiale mottatt fra Multiconsult)	39
11	Oversikt over bygningene i Campus Ås-prosjektet	40
12	Illustrasjon av fremdriftsplanen for detaljprosjekteringsfasen (bearbeidet etter materiale mottatt fra Multiconsult)	41
13	Et utdrag av prosjektets prosjekteringsplan	42
14	Oversikt over entrepriseorganisasjonen (bearbeidet etter materiale mottatt fra Multiconsult)	45
15	Oversikt over frontene (bearbeidet etter materiale mottatt fra Multiconsult)	46
16	Svar på spørsmål vedrørende organisering av prosjekteringsprosessen	48
17	Svar på spørsmål vedrørende beslutninger i prosjektet	50
18	Svar på spørsmål om mer ressurser til prosjekteringsgruppen kunne ført til lavere byggekostnader	51
19	Svar på spørsmål vedrørende kompleksiteten av prosjektet	52
20	Svar på spørsmål vedrørende det store antallet entrepriser i prosjektet	55
21	Svar på spørsmål vedrørende informasjonsstrømmen i prosjektet	56
22	Svar på spørsmål om involverte aktører var klar over hvem de skulle forholde seg til, både i PG og på byggeplass	57
23	Svar på spørsmål vedrørende ICE-møtene i prosjektet	58

24	Svar på spørsmål vedrørende byggherrebeslutninger i prosjektet	59
25	Svar på spørsmål om disipliner arbeidet etter at objekter hadde oppnådd frys- status i modellen	62
26	Svar på spørsmål vedrørende håndtering av gradvis modning i prosjektet . . .	63
27	Svar på spørsmål vedrørende nedkutting av arealer underveis i prosessen uten å redusere antall funksjoner i prosjektet	65
28	Svar på spørsmål om designet har gitt god tilkomst for vedlikehold	67
29	Svar på spørsmål vedrørende systematiske prosesser for refleksjon og læring underveis i prosjektet	68
30	Svar på spørsmål vedrørende erfaringsoverføring i prosjektet	69
31	Svar på spørsmål vedrørende brukerbeslutninger i prosjektet	73

Tabelliste

1	Oversikt over analyserte dokumenter	9
2	Oversikt over informantenes roller i prosjektet	11
3	Beskrivelse av stegene i kvalitativ analyse av intervjuer	14
4	Beskrivelse av ulike LoD-nivåer (BIMForum, 2019)	32

Forkortelser

PG – Prosjekteringsgruppen
PGK – Prosjekteringsgruppekoordinator
PGK-A – Prosjekteringsgruppekoordinator Admin
PGK-F – Prosjekteringsgruppekoordinator Fag
EK – Endringsrådskoordinator
DL – Disiplinleder
ARK – Arkitekt
RIB – Rådgivende Ingeniør Bygg
RIV – Rådgivende Ingeniør VVS
RIE – Rådgivende Ingeniør Elektro
RIEn – Rådgivende Ingeniør Energi
RIBr – Rådgivende Ingeniør Brann
RIA – Rådgivende Ingeniør Akustikk
BYFYSS – Rådgivende Ingeniør Bygningsfysikk
SHA – Sikkerhet, Helse og Arbeidsmiljø
FDVU – Forvaltning, Drift, Vedlikehold og Utvikling
LDM – Lean Design Management
BIM – Building Information Modelling
TFV – Transformation - Flow - Value
ICE – Integrated Concurrent Engineering
CBA – Choosing by Advantages
TVD – Target Value Design
LoD – Level of Development

1 Innledning

Dette kapittelet presenterer bakgrunnsinformasjon, problemstilling og oppgavens oppbygging.

1.1 Bakgrunnsinformasjon

Undersøkelser viser at byggebransjen har hatt en svak produktivitetsvekst de siste tiårene (Teicholz et al., 2001; MGI, 2017). Andersen & Langlo (2016) hevder derimot at det er feilkilder i disse målingene, men at bransjen likevel har et forbedringspotensial når det gjelder produktivitet. En påvirkende faktor kan knyttes til at nåtidens byggeprosjekter i høyere grad fremtrer som komplekse enn tidligere, på bakgrunn av mer kompliserte tekniske installasjoner, et økt teknologiinnhold i bygninger samt et økt fokus på miljø, energi og bærekraft (Khanzode et al., 2006; Knotten, 2017).

Prosjekteringsledelse betegnes som den overordnede ledelsen av prosjekteringsfasen (Bølviken et al., 2010). Styring og ledelse av prosjekteringsfasen blir ofte behandlet på samme måte som styring og ledelse av byggefasen (Lahdenperä & Tanhuanpää, 2000), ved bruk av tradisjonelle prosjektledelsesmetoder som eksempelvis Gantt-planlegging og kritisk vei-metoden (Kalsaas & Bonnier, 2017). Disse metodene bygger på fossefallsmodellen, som antar at prosjekter er sekvensielt lineære og at arbeidet kan deles inn i deler og styres som om delene er uavhengige av hverandre. Prosjekteringsfasen er imidlertid en mer komplisert prosess å håndtere på grunn av kjennetegn som høyt uforutsigbare iterasjoner, sterke resiproke avhengigheter, gradvis modning og læring. Tradisjonelle metoder kan være hensiktsmessig for å kontrollere prosjektets gjennomførbarhet, men ikke nødvendigvis for å styre prosjekteringsarbeidet (Kalsaas, 2019). Howell & Koskela (2000) argumenterer for at styring av prosjekteringsprosessen trenger en form for ledelse som tar hensyn til prosjekteringsprosessens natur med iterasjoner og resiproke avhengigheter.

Lean har de siste årene fått økende oppmerksomhet innenfor flere bransjer, hvor lean construction er en byggeplasstilpasset versjon utviklet siden tidlig på 90-tallet (Koskela, 1992). Innen lean construction betegnes ofte ledelse av prosjekteringsprosessen for Lean Design

Management (LDM) (Koskela et al., 1997). Ulike teorier og en rekke metoder og verktøy kan kobles til LDM, eksempelvis TFV-teorien, Last Planner, Integrated Concurrent Engineering, Target Value Design, Choosing by Advantages, Level of Development og Scrum. Felles for disse er at de legger til rette for å styre prosjekteringsprosessen med hensyn på å øke flyten i arbeidet, minimere waste og maksimere kunde verdi.

1.2 Problemstilling

Denne masteroppgaven studerer Campus Ås-prosjektet, som er en samlokalisering og flytting av Norges Veterinærhøgskole (NVH) og Veterinærinstituttet (VI) til Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet (NMBU). Prosjektet hadde en oppstart i 2010, og er planlagt ferdigstilt i 2020. Ved utarbeidelse av denne masteroppgaven er prosjektet i fasen med oppfølgende prosjektering, som er fasen etter detaljprosjektering. Formålet med oppgaven er å studere den anvendte metodikken for planlegging og styring av detaljprosjekteringen i relasjon til relevant teori for å identifisere hva som kan læres av prosjektet. Oppgaven søker dermed å besvare følgende problemstilling:

- *Hvilke lessons learned kan identifiseres ut fra anvendt metodikk for planlegging og styring av detaljprosjekteringen sett fra et lean construction-perspektiv?*

Med metodikk menes strukturen av sammenhengende metoder og verktøy. Målet er at lessons learned fra prosjekteringen kan påvise muligheter for forbedring og bidra med lærdom som prosjekteringsgruppen kan ta med seg videre til senere prosjekter, og refleksjoner rundt forbedringstiltak knyttet til identifiserte lessons learned vil derfor også bli presentert.

1.3 Oppgavens oppbygging

Masteroppgaven er strukturert i følgende rekkefølge:

- **Kapittel 1: Innledning**
Presentasjon av bakgrunnsinformasjon, problemstilling og oppgavens oppbygging
- **Kapittel 2: Metode**
Beskrivelse av oppgavens forskningsdesign og valgte metoder
- **Kapittel 3: Teori**
Presentasjon av relevant teori avdekket gjennom litteraturstudie
- **Kapittel 4: Case**
Beskrivelse av oppgavens case
- **Kapittel 5: Funn**
Presentasjon av kvalitative og kvantitative funn fra datainnsamlingen
- **Kapittel 6: Diskusjon**
Diskusjon av funnene i lys av relevant teori
- **Kapittel 7: Konklusjon**
Konklusjon av svarene på problemstillingen

2 Metode

Ifølge Hjelseth (2000) beskrives forskningsmetoder som fremgangsmåter for å koble teori og empiri opp mot hverandre for å vinne ny kunnskap. Utarbeidelse av en forskningsoppgave krever riktige valg av forskningsmetoder for at det skal være mulig å etterprøve resultatene oppgaven finner og konkluderer med. Forskjellige forskningsmetoder har ulike fordeler og ulemper og må derfor velges basert på hva formålet med studien er (Dalland, 2000).

Utarbeidelse av et forskningsdesign innebærer å lage en overordnet plan for hvordan studien skal gjennomføres (Blaikie, 2010). Dette inkluderer planer og prosedyrer for å organisere forskningsaktiviteter for innhenting av data på en slik måte at man kan få en detaljert analyse og oppnå målene med forskningen (Creswell, 2009; Easterby-Smith et al., 2015). Valg av forskningsdesign skal bidra til en tilnærming som effektivt produserer nødvendig informasjon til gitte begrensninger (Ghauri & Grønhaug, 2005). Easterby-Smith et al. (2015) anser et godt forskningsdesign som fundamentet for kvalitet i forskningen som skal gjennomføres.

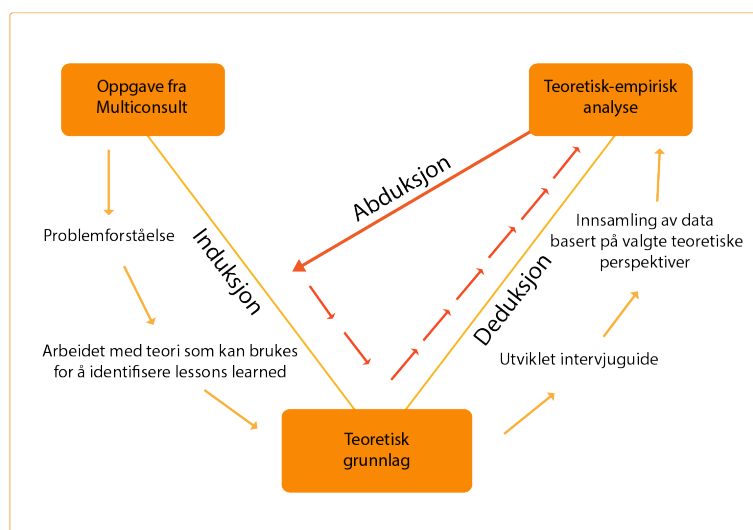
Formålet med dette kapittelet er å presentere forskningsdesignet som er blitt benyttet i oppgaven. I tillegg vil valgene gjort i forbindelse med forskningsprosessen bli begrunnet og presentert. Den mest hensiktsmessige retningen for forskningsdesignet er ansett å være kritisk realisme. Kritisk realisme er definert som en retning imellom sosialkonstruktivistisk og positivistisk epistemologi, som står nærmere positivisme enn sosialkonstruktivisme (Easterby-Smith et al., 2015). Denne tilnærmingen antar at det eksisterer en virkelighet, uansett hvilken oppfatning mennesker har, samtidig som det anerkjennes at våre meninger og verdier kan påvirke hvordan virkeligheten oppfattes (O'Mahoney & Vincent, 2014).

2.1 Forskningstilnærming

Det finnes to hovedtilnærminger for forskning: deduktiv og induktiv. Ved induktiv tilnærming samles det empirisk data og utvikles teori basert på data, informasjon og analyse innenfor et teoretisk rammeverk. Deduktiv tilnærming forklares i motsatt rekkefølge, og vil si å utvikle teori, hvor forskningsdesignet blir brukt for å teste teorien opp mot empiri. Abduktiv tilnærming kombinerer derimot elementene fra både induktiv og deduktiv tilnærming (Saunders et

al., 2009; Kovács & Spens, 2005), og det er tolket at abduktiv tilnærming bygger bro mellom induksjon og deduksjon.

Blaikie (2010) forklarer at målet til den abduktive tilnærmingen er å utvikle og teste teori basert på virkelige konsepter, betydninger og motiver. Ifølge Dubois & Gadde (2002) kan forskere utvide sin forståelse av både teori og empiriske fenomener dersom de stadig beveger seg mellom teori og empiriske observasjoner, og fra en forskningsaktivitet til en annen. Videre hevder forfatterne at den abduktive tilnærmingen kan føre til at nye kombinasjoner utvikles gjennom en forening av etablerte teoretiske modeller og nye konsepter avledet av en konfrontasjon med virkeligheten. Det kan derfor argumenteres for at teori og empiri vil resultere i en større forståelse ved bruk av abduktiv tilnærming, enn ved bruk av induktiv eller deduktiv alene. Oppgavens bruk av den abduktive tilnærmingen er illustrert i Figur 1.



Figur 1: Oppgavens bruk av den abduktive tilnærmingen

Masteroppgaven startet med et ønske fra Multiconsult om å identifisere lærdom fra prosjekteringsprosessen av Campus Ås-prosjektet. Innledningsvis i arbeidet med oppgaven ble det tatt utgangspunkt i empiri som finnes for å få en helhetlig forståelse av design som fenomen, prosjekteringsledelse, planleggings- og styringsmetodikk og læring i organisasjoner. Deretter ble teorien analysert og operasjonalisert for å utvikle en problemstilling. Det har dermed

blitt arbeidet induktivt med virkeligheten og empiri som finnes, for så å abstrahere relevante teorier for å utvikle problemstillingen. Den utvalgte problemstillingen har vært fundament for intervjuguiden, se Vedlegg 1, som har blitt benyttet til intervjurunder med informanter. Intervjurundene bidro til innsamling av data basert på valgte teoretiske perspektiver, og det har dermed blitt arbeidet deduktivt fra et teoretisk grunnlag og fram til en teoretisk-empirisk analyse. Videre ble det, med utgangspunkt i funnene fra datainnsamlingen, studert relevante teorier og metoder knyttet til lean design management, herunder TFV-teorien, Last Planner, Integrated Concurrent Engineering, Choosing by Advantages, Target Value Design, Level of Development og Scrum, for å undersøke forbedringstiltak til caset. Etter dette ble en spørreundersøkelse sendt ut til representanter fra caset, hvor denne bidro til å knytte empiri med teori og kontribuerte med å svare på problemstillingen. Denne prosessen, ved å arbeide både induktivt og deduktivt, har vært iterativ utover studien, og oppgaven benyttet seg dermed av den abduktive tilnærmingen.

2.2 Casestudie

Easterby-Smith et al. (2015) forklarer at casestudie er en undersøkelsesmetode som ser i dybden og studerer en eller et få antall objekter eller enheter. Ifølge Yin (2009) bidrar casestudier til kunnskap om blant annet organisatoriske og sosiale relaterte fenomener. Ved å benytte casestudie som metode kan forskere samle inn store mengder data (Easton, 2010), samtidig som meningsfulle og helhetlige karakteristikk ved virkelige hendelser beholdes (Yin, 2009). I denne masteroppgaven søkes det å identifisere lessons learned ut fra anvendt metodikk for planlegging og styring av detaljprosjekteringen av Campus Ås-prosjektet. Ved å benytte casestudie har det derfor vært mulig å gå i dybden og få en helhetlig forståelse av prosjektets planleggings- og styringsmetodikk samt andre prosjekt karakteristikk.

Det skilles mellom fire casestudier: single-case, multiple-case, holistisk-case og embedded-case. Denne casestudien er en single-casestudie med tanke på at formålet med studien er å undersøke spesifikt Campus Ås-prosjektet. Single-casestudier brukes ofte i eksplorative studier hvor det tillates å observere og analysere problemer som har en etablert teori, men som det gjerne ikke er forsket så mye på (Saunders et al., 2009; Ghauri & Grønhaug, 2005). En

av begrensningene med casestudie er derimot at det kan føre til lav statistisk representativitet (Easton, 2010). I tillegg kan det risikeres at forskeren tolker innhentet data subjektivt ved å studere få enheter. For å unngå dette må derfor casestudie planlegges nøye på forhånd (Easterby-Smith et al., 2015).

2.3 Innsamling av data

For å kunne svare på oppgavens problemstilling er det viktig å samle inn data som gir god gyldighet, hvor valg av innsamlingsmetode avhenger av hva slags informasjon som behøves. De to aktuelle metodene er kvantitativ og kvalitativ metode. Hovedforskjellen mellom kvalitativ og kvantitativ metode er prosedyren informasjonen hentes inn på (Dalland, 2007). I kvantitativ forskning kan forskere utnytte målinger, i form av numerisk og standardisert data, og videre transformere innhentede data til tall og målbare enheter. I kvalitativ forskning kommer ikke resultatene av statistiske metoder eller andre prosedyrer av kvantifisering, men gjerne i uttrykk av ord og ikke-standardiserte data. Kvalitative metoder innhenter dermed data som ikke lar seg måle eller tallfeste (Saunders et al., 2009; Ghauri & Grønhaug, 2005). Dataene innsamlet i oppgaven er hentet inn både kvalitativt og kvantitativt, og oppgaven benyttet seg dermed av metodetriangulering (Creswell, 2009).

2.3.1 Metodetriangulering

Kvalitativ og kvantitativ metode representerer forskjellige ender på et kontinuum hvor den blandede metodeformen, metodetriangulering, ligger i midten og inneholder både kvalitative og kvantitative tilnærminger (Creswell, 2009). Easterby-Smith et al. (2015, s. 343) definerer triangulering som: *“Using different kinds of measures of perspectives in order to increase the confidence in the accuracy of observations.”* Given (2008) hevder at enhver metode har sine svakheter, og at ideen bak å kombinere ulike metoder er at de ulike metodene vil kunne utfylle hverandre. Valg av metodetriangulering i studien begrunnes med etterprøvheter for de to forskningsmetodene. Ifølge Olsson (2011) er etterprøvheter ofte utfordrende i kvalitative studier, mens kvantitative studier har en høy grad av etterprøvheter.

I oppgaven representerer litteraturstudie, dokumentanalyser og semi-strukturerte intervjuer

den kvalitative delen, mens spørreundersøkelse representerer den kvantitative delen. Spørreundersøkelsen betrygger at oppfattelsene innhentet og analysert fra de kvalitative metodene er korrekte. Bruk av metodetriangulering kan dermed bidra til økt validitet og reliabilitet i oppgavens tolkninger og innsamlede data, samt en bedre helhetlig forståelse av dataene.

2.3.2 Litteraturstudie

Ifølge Easterby-Smith et al. (2015) bør alle som starter et forskningsprosjekt ha oversikt over eksisterende litteratur og resultater fra tidligere forskning innen tilsvarende tema. Creswell (2009) forklarer at dette vil kunne gjøre det mulig å bygge videre på forskningsemnet. En omfattende litteraturstudie ble gjennomført på et tidlig stadium i arbeidet med oppgaven, for å innhente relevant informasjon som skulle fungere som fundament for videre arbeid.

Det ble arbeidet kontinuerlig med litteraturstudier gjennom hele prosjektperioden da forståelse for temaene ble fordypet underveis. Målet var å bruke relevant litteratur primært for å besvare problemstillingen, herunder bruke litteraturen som sammenligningsgrunnlag for empirien. De akademiske databasene Oria og Google Scholar ble hovedsakelig brukt for å søke etter relevant litteratur, mens ProQuest og Emerald Insight ble brukt sekundært. I tillegg ble aktuelle fagbøker innhentet fra Universitetet i Agders bibliotek. Mange av referansene i oppgaven er konferanseartikler, hvor dette skyldes at kunnskapsområdet utvikles i nært samkvem med praksis. Dalland (2007) understreker at det er viktig for en kildes pålitelighet å utøve god kildekritikk ved innsamling og bruk av litteratur, noe som inkluderer å vurdere avsender og troverdigheten til informasjonen.

2.3.3 Dokumentanalyse

Ifølge Grønmo (2004, s. 52) er dokumenter definert som *“beretninger som ikke er generert av forskerens innsats.”* Holme & Solvang (1996) argumenterer for at det er gjennom dokumentanalyser forskere skaper en dypere forståelse av det studerende området. Hensikten med bruk av dokumentanalyser som metode var å få en bredere oversikt over caset før gjennomføring av intervjuer og spørreundersøkelse. Dokumentanalyser er relativt enkle å gjennomføre, og kan være nyttig når det brukes kombinert med andre forskningsmetoder.

En utfordring med dokumentstudier er den store informasjonsmengden, som senker validiteten. I tillegg er mye av informasjonen ikke direkte anvendbart til forskningsformål (Holme & Solvang, 1996).

Innhenting av dokumenter ble gjort ved å se igjennom Multiconsults interne prosjektmapper i samarbeid med kontaktperson fra Multiconsult. Kriterium i utvelgelsesprosessen var vurdering av relevans i forhold til problemstillingen. For å forstå betydningen av dokumentene var generell bakgrunnskunnskap om prosjekteringsprosessen avgjørende. Tabell 1 viser en oversikt over hvilke dokumenter som ble analysert.

Tabell 1: Oversikt over analyserte dokumenter

Analyserte dokumenter
Campus Ås – Forprosjekt beskrivelse
Campus Ås – Omvisningskart
Campus Ås – Nyhetsbrev Januar 2018
PG Campus Ås – Kvalitetsplan for detaljprosjekt og byggefase
PG Campus Ås – BIM tall oktober 2018
PG Campus Ås – Organisasjonskart
PG Campus Ås – Prosjektnedbrytningsstruktur
PG Campus Ås – Internt notat Prosjektnedbrytningsstruktur
PG Campus Ås – Internt notat Videre planleggingsprosess detaljprosjekt
PG Campus Ås – Fremdriftsplan prosjektering baseline 4
PG Campus Ås – Fremdriftsplan prosjektering baseline 7

2.3.4 Intervjuer

Intervju anses som en av de viktigste kildene til informasjon i en casestudie (Yin, 2009). Det skilles mellom strukturerte og semi-strukturerte intervjuer. Strukturerte intervjuer baserer seg på en standard mal systematisert i kombinasjon med kvantitative og statistiske metoder. I et semi-strukturert intervju gis det rom for å ha en åpen samtale og diskusjon om emner (Saunders et al., 2009; Ghauri & Grønhaug, 2005). Semi-strukturerte gir dermed rom for fleksibilitet, noe som også kan bli referert til som et kvalitativt forskningsintervju (Saunders et al., 2009). På bakgrunn av dette var semi-strukturerte intervjuer ansett som den mest passende intervjuformen.

I et semi-strukturert intervju forberedes det et valg av emner som skal bli tatt opp, hvor disse

kan variere fra intervju til intervju (Easterby-Smith et al., 2015). Slike intervjuer åpner muligheter for å få personlige svar på spørsmål, noe som kan bidra til en dypere forståelse av problemstillinger og utfordringer. Dette kan videre føre til oppfølgingsspørsmål som ikke er forberedt fra intervjuguiden (Easterby-Smith et al., 2015). Saunders et al. (2009) forklarer at utfordringer ved å ha varierte spørsmål og ulike temaer for hvert intervju kan løses ved å ta notater eller lydopptak av samtalen.

Intervjuprosessen startet etter at forskningsprosjektet var meldt inn til Norsk Senter for Forskningsdata (NSD). Oppgaven skal sikre intervjukandidatenes identitet, og alle intervjukandidatene ble informert om behandlingen av deres personvernopplysninger, se Vedlegg 2. I samarbeid med kontaktperson fra Multiconsult ble det utarbeidet en liste med aktuelle kandidater hvor disse hovedsakelig var ledere og sentrale aktører i prosjekteringsgruppen, men også representanter fra byggherreperspektivet. Informantene kan ha et subjektivt syn på saker, og det var derfor viktig for oppgaven å ha flere synsvinkler og erfaringer angående styring av prosjekteringsprosessen. Personene ble kontaktet via mail, hvor oppgaven ble presentert og det ble spurt om de var villige til å intervjues samt ledige til å stille til intervju på avsatte datoer. Under noen av intervjuene ble det nevnt andre aktuelle informanter for studien, som senere ble kontaktet og intervjuet. Totalt ble 13 personer intervjuet, hvorav 11 av disse var fra prosjekteringsgruppen og 2 fra byggherresiden. Tabell 2 viser en oversikt over de ulike informantenes roller i prosjektet.

Tabell 2: Oversikt over informantenes roller i prosjektet

Dato	Firma	Rolle
15. februar	Multiconsult	PGK
15. februar	Erichsen & Horgen	Prosjekteringsleder
15. februar	Multiconsult	Disiplinleder RIB
25. februar	Multiconsult	PGK Entreprenseansvarlig
25. februar	Multiconsult	Disiplinleder RIV
25. februar	Multiconsult	PGK Adm
26. februar	Multiconsult	PGK Kvalitetsledelse
26. februar	Multiconsult	Disiplinleder RIE
26. februar	FABEL Arkitekter	ARK/Prosjektansvarlig
5. mars	Multiconsult	BIM-koordinator/Digital samhandlingsleder
5. mars	Multiconsult	BIM-koordinator/ICE-møter
21. mars	Statsbygg	Prosjektleder prosjektering
22. mars	FREMKO	Fremdriftsplanlegger

En intervjuguide (Vedlegg 1) ble utarbeidet i samarbeid med veileder, og inneholdt spørsmål knyttet til følgende fem temaer:

- Prosjektet
- Planleggings- og styringsmetodikk
- Prioriteringer i prosjekteringen
- Rammebetingelser/organisering
- Samarbeid

Intervjuene ble innledet med oppgavens problemstilling og bakgrunn til deltakende informant, før samtalen ble rettet mot temaene oppramset i intervjuguiden. Etter første runde med intervjuer gikk intervjuguiden igjennom en positiv iterasjon som bidro til å få klarere og mer relevante spørsmål for oppgavens problemstilling. Det var forbehold om at informantene ikke kunne utdype like mye innen alle temaene og intervjuene ble derfor tilpasset informantens rolle. Videre fikk informantene snakke relativt fritt innenfor hvert tema, noe som resulterte i at informasjon kom fram på en naturlig måte. Lengden på intervjuene varte fra 50 til 90 min. per informant. Alle intervjuene ble tatt opp og transkribert. Underveis i intervjufasen har mye av den samme informasjonen kommet fram, og mange av informantene har gjentatt tidligere funn. Graden av unike funn ble derfor mindre lengre ut i prosessen, noe som ble oppfattet som en indikasjon på at de mest sentrale aspektene ved prosjektet var tilstrekkelig avdekket.

2.3.5 Spørreundersøkelse

Ifølge Easterby-Smith et al. (2015) er spørreundersøkelser en god metode for å samle inn data om meninger fra et større utvalg. I forbindelse med studien ble en spørreundersøkelse gjennomført som en supplerende metode for datainnsamling. Hensikten med spørreundersøkelsen var å undersøke om resultatene fra de kvalitative intervjuene var representative for et større utvalg i caset. Undersøkelsen ble distribuert til representanter fra både prosjekteringsgruppen og byggeherreorganisasjonen. Ingen fra byggeherreorganisasjonen svarte på undersøkelsen, og denne aktørgruppen er derfor ikke tatt med i videre analyse. Spørreundersøkelsen (Vedlegg 3) var delt inn i fire kategorier:

- Bakgrunn
- Produkt
- Organisasjon
- Prosess

Prosess var videre delt inn i *metoder/regler, informasjon og beslutninger*. I undersøkelsen ble informantene bedt om å stadfeste visse påstander, ved å svare *meget enig, litt enig, nøytral, litt uenig, meget uenig* eller *vet ikke*. Spørreundersøkelsen ble utviklet ved bruk av SurveyXact¹ og spørsmålene ble utviklet av studentene i samarbeid med veileder. Totalt bestod undersøkelsen av 26 spørsmål med en varighet på ca. 5-10 min. I tillegg var det også mulighet for respondentene til å legge inn en valgfri kommentar i besvarelsen. Kontaktperson fra Multiconsult var ansvarlig for å distribuere spørreundersøkelsen til respondenter via mail, hvor undersøkelsen ble utført og registrert over nett. Ifølge Holme & Solvang (1996) vil frafall øke dersom en respondent må avsette mye tid til å svare. Det var derfor kommunisert at undersøkelsen ville ta 5-10 min. å besvare, i tillegg til at alle spørsmålene var på samme side slik at respondentene fikk en oversikt over lengden på undersøkelsen. Undersøkelsen ble distribuert 3. mai 2019, og data ble hentet ut 10. mai 2019.

¹SurveyXact er et verktøy for spørreundersøkelser utviklet av Rambøll (SurveyXact, 2019).

2.4 Analyse av data

Kvalitativ og kvantitativ metode har ulik analyse og tolkningsprosess. Etersom kvantitativ data er organisert og strukturert i forkant av analysen, kan dataene analyseres direkte etter innsamling. Kvalitativ data er ofte mer tidkrevende å prosessere enn kvantitativ, da det må struktureres og organiseres etter at dataene er samlet inn (Holme & Solvang, 1996). I følgende kapittel vil oppgavens prosedyrer for analyse av kvalitativ og kvantitativ data bli presentert.

2.4.1 Intervjuer

Ifølge forfatterne Creswell (2009) og Baxter & Jack (2008) oppstår innsamling av data og analyse av data samtidig ved bruk av kvalitative metoder. Noen av farene assosiert med dette er at funnene rapporteres separat og at hver datakilde blir behandlet uavhengig (Baxter & Jack, 2008). Forfatterne argumenterer derfor for at forskere må sørge for å konvertere data slik at et best mulig totalbilde kommer fram. I tillegg kan det være nyttig å dele forskernes tolkninger med informantene i etterkant, for å gi informantene mulighet til å diskutere tolkningen (Baxter & Jack, 2008). Videre hevder Easterby-Smith et al. (2015) at forskere skal være obs på kvaliteten til dataene innhentet da det kan være potensiell partiskhet i svarene, noe som kan påvirke argumentasjonen når en konklusjon blir trukket (Creswell, 2009). Dette er i tråd med kritisk realisme hvor man skal forsøke å forstå objektene, mekanismene og forholdene da disse faktorene kan påvirke svarene (Sayer, 1992).

Alle intervjuene ble analysert etter prosedyren presentert i Tabell 3, inspirert av Gale et al. (2013) og Srivastava & Thomson (2009) sine rammeverksmetoder for analysing av kvalitativ data. Prosedyren foregikk rett etter intervjuene, mens informasjonen fremdeles var ferskt i minne, for å få en bedre oversikt over innsamlet kvalitativ data.

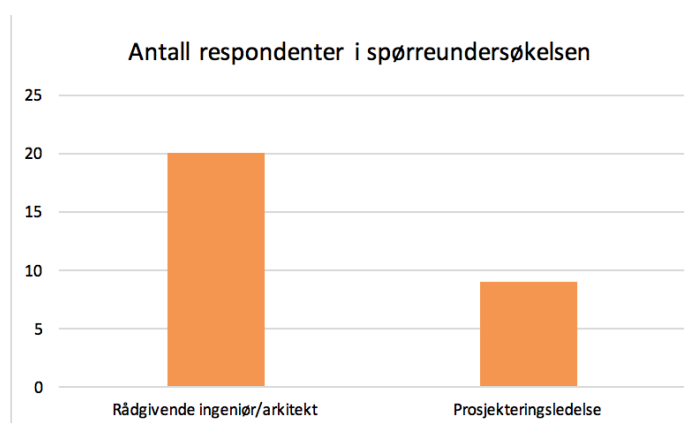
Tabell 3: Beskrivelse av stegene i kvalitativ analyse av intervjuer

Steg	Beskrivelse
Intervju	<ul style="list-style-type: none"> • Intervju med kandidater ved bruk av utarbeidet intervjuguide • Lydopptak ble benyttet ved samtykkelse
Transkribering	<ul style="list-style-type: none"> • Transkriberte intervjuer ordrett ved å høre på lydopptakene for å unngå tap av informasjon
Korreksjoner	<ul style="list-style-type: none"> • Transkriberte intervjuer ble sendt i retur til informantene for korreksjon og verifisering • La ved eventuelle spørsmål dersom noe var uklart
Individuell analyse	<ul style="list-style-type: none"> • Analyserte alle intervjuene individuelt for å få uavhengig forståelse og mening om funnene
Samlet analyse	<ul style="list-style-type: none"> • Samkjørte oppfattelsene og knyttet disse opp mot problemstillingen • Sorterte all transkribert data inn i temaer
Oppfølging	<ul style="list-style-type: none"> • Kontaktet aktuelle informanter for å samle inn supplerende informasjon rundt temaer vi ønsket å vite mer om for å styrke utvalgte funn
Utsende behandlet data	<ul style="list-style-type: none"> • Sendte informantene ferdig behandlet empiri for å gi de muligheten til å komme med en siste tilbakemelding før innlevering av oppgaven

2.4.2 Spørreundersøkelse

Ved bruk av kvantitativ metode er data organisert og strukturert i forkant av analysen, og dermed klar til å analyseres direkte etter innsamling (Holme & Solvang, 1996). For å analysere dataene fra spørreundersøkelsene ble analyseverktøyet til SurveyXact benyttet (Vedlegg 4).

Alle respondentene tilhørte prosjekteringsgruppen, enten som rådgivende ingeniør/arkitekt eller som representant fra prosjekteringsledelsen, hvorav totalt 55 av disse fikk tilsendt spørreundersøkelsen på mail. 33 respondenter besvarte undersøkelsen, men kun 29 fullførte, noe som gir en svarprosent på 53%. Fordelingen av respondenter er presentert i Figur 2.



Figur 2: Fordeling av respondenter i spørreundersøkelsen

Ved analysering av spørreundersøkelsen ble svaralternativene *helt enig*, *litt enig*, *nøytral*, *litt uenig*, *helt uenig* gjort om til tallene 1-5, hvorav 1 representerte *helt enig* og 5 representerte *helt uenig*. Alternativet *vet ikke* ble ikke tatt med i videre beregninger. Til hvert av spørsmålene i undersøkelsen ble det kalkulert et gjennomsnitt, noe som gir en oppfatning av tendensen i utvalget. Etter at spørreundersøkelsen var analysert, ble transkriberingene av intervjurundene gjennomgått enda en gang for å se etter detaljer som kunne knyttes til funnene fra spørreundersøkelsen.

2.5 Kvalitet i forskningen

Når en utfører forskning ønsker man å benytte verktøy og metoder som gir et tilfredsstillende resultat og som underbygger kredibiliteten til forskningsfunnene. Creswell (2009) nevner validitet, reliabilitet og generalitet som indikatorer for et kvalitativt studie. Easterby-Smith et al. (2015, s. 343) definerer validitet som “*i hvilken grad målinger og forskningsfunn gir en nøyaktig representasjon av de tingene som de er ment for å beskrive.*” Holme & Solvang (1996, s. 153) forklarer at “*reliabiliteten blir bestemt av hvordan målingene er gjort, og hvor nøyaktig en så er i den videre behandlingen av dataene.*” Videre refererer Creswell (2009) til Gibbs (2007) om at kvalitativ validitet kvalitetssjekker hvor nøyaktig funnene er, mens kvalitativ reliabilitet indikerer om forskernes tilnærming er konsekvent. Generalitet er den eksterne validitet for å anvende resultatene til nye omgivelser (Creswell, 2009). Målet med oppgaven er ikke å generalisere utover dette prosjektet, da det påvirkes av kontekstuelle for-

hold. Oppgavens funn heller mer mot særegenhet enn generalitet da studien ser på én case som er unik i norsk byggebransje.

Ved å bruke prosedyren beskrevet i Tabell 3, samsvarer det med Yin (2009) sin anbefaling om å sette opp og dokumentere prosedyren som ble gjennomgått for å indikere reliabiliteten i studien. I tillegg har oppgaven blitt støttet av en veileder som har fungert som en kryssjekker for tekst, prosedyrer og resultat. Ghauri & Grønhaug (2005) skriver at ved bruk av semi-strukturerte intervjuer kreves det at intervjueren har en komplett forståelse for forskningsspørsmålet, dens formål og hvilken informasjon som trengs. Dersom intervjueren ikke har det, kan det ifølge Saunders et al. (2009) føre til observatørfeil, noe som videre kan påvirke reliabiliteten. Forfatteren relaterer dette også til partiskhet for observatøren, med at observatøren kan mistolke svaret til intervjuobjektet.

Ved validering av datakilder har oppgaven triangulert ulike kilder med samme og/eller tilsvarende informasjon for bekreftelse av informasjonen. Triangulering av ulike kilder er ansett som den validitetsstrategien som er oftest brukt og enklest å implementere (Creswell, 2009; Saunders et al., 2009). Bruk av casestudie muliggjør triangulering av kvalitativ og kvantitativ data, noe som bidrar til økt validitet og reliabilitet. En annen strategi for å øke valideringen er å bruke intervjuobjektene til å fastslå nøyaktigheten av transkriberingen (Creswell, 2009). Som nevnt tidligere, se Kapittel 2.4.1 - Intervjuer, fikk informantene transkriberingen tilsendt for validering av deres utsagn. Informantene sendte transkriberingen i retur med nytt svar på spørsmål de følte ikke var utbedret godt nok eller på daværende tidspunkt ikke oppfattet riktig. Dette medførte en kort iterasjonsprosess for utbedring av nøyaktigheten til empirien.

2.6 Avgrensninger og utfordringer

Avgrensninger

Denne oppgaven er avgrenset til å omhandle lærdom fra detaljprosjekteringsfasen av caset, men innslag fra oppfølgende prosjektering blir også nevnt og diskutert.

Under datainnsamlingen ble det identifisert mange lessons learned fra prosjektet, men oppgaven avgrenses til å kun diskutere de mest gjentakende av disse.

Videre finnes det en rekke ulike metoder og verktøy som kan knyttes til lean design management og som kunne vært aktuelle forbedringstiltak i caset. På bakgrunn av oppgavens omfang er det kun valgt ut og presentert de forfatterne anså som mest relevante med utgangspunkt i funnene fra datainnsamlingen.

Utfordringer

Datainnsamlingen startet tidlig, og underveis i arbeidet har vår forståelse for design som fenomen, lean construction og selve prosjektet økt betraktelig. Det var ønskelig å gjennomføre nye intervjuer i etterkant av intervjuperioden, men dette ble ikke prioritert grunnet oppgavens tidsbegrensning. Ved spørsmål og avklaringer har det dermed blitt sendt mail til de aktuelle informantene.

Ved innsamling av data var Campus Ås-prosjektet i fasen med oppfølgende prosjektering. Intervjuene er gjort med aktører som har arbeidet i prosjektet i alt fra 1-9 år. Til tider har det vært utfordrende å finne tilstrekkelig informasjon om enkelte temaer, da det kan være vanskelig for informantene å huske prosesser og oppståtte hendelser langt tilbake i tid, i tillegg til at flere sentrale personer har sluttet i prosjektet. Informasjonen fra intervjurundene påvirkes også av informantenes subjektive meninger og oppfatninger.

Oppfattelsen av caset er basert på dokumentanalyse, intervjuer og spørreundersøkelse. Det var ønskelig å delta på tverrfaglige møter, eksempelvis ICE-møter, for å observere prosjektsituasjoner samt hvordan partene samhandler. Dette kunne gjort det enklere å få et mer objektivt syn på caset, men var derimot ikke mulig da disse møtene ikke lenger ble gjennomført i den perioden studien foregikk.

3 Teori

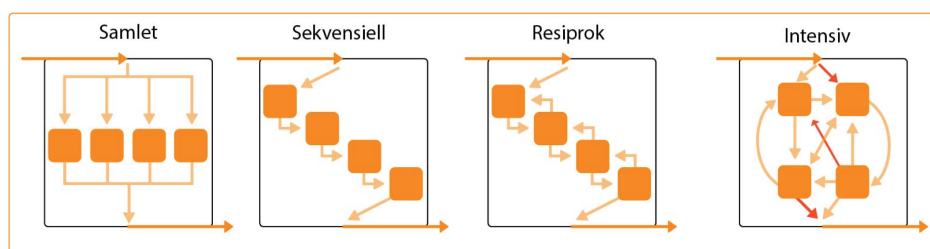
Dette kapittelet presenterer teorier, generiske metoder og tidligere forskning som vil bidra til å gi leseren nødvendige bakgrunnskunnskaper for å forstå oppgavens case, funn og diskusjon. Innledningsvis blir design som fenomen og prosjekteringsledelse forklart, deretter blir ulike tilnærminger til planleggings- og styringsmetodikk samt metoder og verktøy knyttet til lean design management presentert, og avslutningsvis blir teori knyttet til læring i organisasjoner presentert.

3.1 Design som fenomen

Cuff (1991, s. 4) hevder designprosessen er *“a social construction, where buildings are collectively conceived.”* Kalsaas & Moum (2016) argumenterer for at designprosessen baserer seg på et samspill mellom regulerte, forutsigbare og lineære aktiviteter på den ene siden, og iterative, uforutsigbare og ikke-lineære aktiviteter på den andre. De regulerte, forutsigbare og lineære aktivitetene karakteriseres som målbare og baserer seg ofte på repetisjon og rutiner. Moum (2009) bruker metaforen *“å bake brød”* for å illustrere dette, og disse aktivitetene er viktige for å blant annet å følge opp milepæler og tidsfrister underveis i prosessen. De iterative, uforutsigbare og ikke-lineære aktivitetene er improviserte og baserer seg i stor grad på talent og erfaringer (Kalsaas & Moum, 2016). Dette illustreres ved bruk av metaforen *“å spille jazz”* (Moum, 2009), og det er disse aktivitetene som i størst grad skaper verdi for selve designprosessen. De ulike formene for aktiviteter oppstår til en viss grad på samme tid i designprosessen, og det er balansen mellom disse to som er avgjørende for det som faktisk blir bygget. Videre beskriver Kalay (2004) designprosessen som et samspill mellom problemløsning, hvor det forsøkes å produsere løsninger til dårlig definerte problemer, og puslespill”, hvor design er sett på som en prosess med oppdagelse. Kalsaas (2019) argumenterer for at prosjekteringsledere må forstå teoretisk og empirisk hva slags fenomen design er for å kunne praktisere god prosjekteringsledelse.

Avhengigheter og koordinering

Designprosessen karakteriseres av avhengigheter mellom aktiviteter, beslutninger og disipliner. Disse avhengighetene kan deles inn i fire ulike kategorier: samlet, sekvensielle, resiproke og intensive (Thompson, 1967; Bell & Kozlowski, 2002), som vist i Figur 3. Ved samlet avhengighet gir alle disiplinene hvert sitt bidrag til sluttresultatet. Sekvensiell avhengighet betyr at aktivitet A må utføres før aktivitet B kan påbegynnes (Kalsaas & Ose, 2017). Resiproke (gjensidige) avhengigheter betyr at flere disipliner jobber samtidig på samme aktivitet, hvor statusen i arbeidet bestemmer hva som må gjøres av de enkelte disiplinene. Intensive avhengigheter er sterke resiproke avhengigheter hvor problemer må løses ved samarbeid (Bell & Kozlowski, 2002).



Figur 3: Samlet, sekvensiell, resiprok og intensiv avhengighet (Bell & Kozlowski, 2002, s. 58)

For å håndtere avhengighetene kan ulike koordineringsmekanismer benyttes, hvor samlede avhengigheter kan koordineres gjennom standardisering, sekvensielle avhengigheter kan koordineres etter plan, og resiproke og intensive avhengigheter må koordineres etter gjensidig tilpasning (Malone & Crowston, 1994). Resiproke og intensive avhengigheter er uendelige prosesser som krever en beslutning for å ta slutt, og designprosessen er derfor i stor grad preget av beslutningstaking. Kalsaas & Sacks (2011) argumenterer for viktigheten av å identifisere ulike avhengigheter i designprosessen for å kunne håndtere dem, og påpeker at en bedre forståelse av ulike typer avhengigheter vil bidra til bedre beslutningstaking og bedre organisering av designprosessen.

Verdi

Verdi kan, ifølge Eikeland (2001), betraktes som noe som forbedrer prosjektet, enten i en av delprosessene eller i sluttdesignet. Ulike interessenter kan derimot ha ulik oppfatning av hva som skaper verdi (Chase, 2001). Kunde verdi og brukerverdi oppnås ved å tilby et produkt med høy byggbarhet som oppfyller kundens og brukernes krav og ønsker. Entreprenørverdi oppnås ved å tilby et gjennomførbart og realistisk underlag for produksjon. Koskela et al. (2013, s. 9) påpeker at: *“The design-production use process as a chain where the value is created as a potential in design, is embodied in production and is realised in the intended use by the client.”*

Waste

Waste (sløsing) defineres som aktiviteter som ikke bidrar med verdiskaping (Bonnier et al., 2015). Ifølge studier av Ballard (2000) er det estimert at så mye som 50% av tiden brukt til prosjektering er waste. Wastedrivere er definert som mekanismer som muligens forårsaker waste eller hindrer arbeidsflyt (Kalsaas, 2013). Bonnier et al. (2015) har beskrevet 18 kilder til waste i designfasen, hvor disse blant annet inkluderer dårlig koordinering, dårlig informasjon- og kunnskapsdeling, over-engineering, overarbeid, ineffektivitet, venting, utakt i prosjekteringen, mangel på nødvendig kompetanse, uklar arbeidsfordeling, samarbeidsbarrierer og endringer av krav underveis i prosessen. Koskela (2004) hevder at en av de største wastedriverne i byggeprosjekter er *making-do*, som vil si å starte på en oppgave før alle forutsetninger for oppgaven er på plass. Making-do er ofte et resultat av et press for å følge en fremdriftsplan samt et ønske om å til enhver tid sysselsette ansatte. En eliminering av waste krever evnen til å gjenkjenne underliggende årsaker, og prosjektmedlemmer med forståelse av wastedrivere øker sjansen for å sikre en effektiv designprosess (Kristensen, 2013). En liste over wastedrivere kan derfor være nyttig for alle parter involvert i designprosessen, slik at de ut ifra denne kan handle rasjonelt for å unngå å bidra til waste (Denzer et al., 2015).

Iterasjoner

Designprosessen består i stor grad av iterasjoner, hvor disse enten kan være positive eller negative. Positive iterasjoner er prosesser som skaper verdi for prosjektet, enten i en av delprosessene eller for sluttdesignet, herunder gjelder også nødvendig prøving og feiling på veien mot en designløsning. Negative iterasjoner er prosesser som ikke genererer verdi, og som kan fjernes uten at det har noe å si for delprosessene eller designet, og er dermed ansett som kilder til waste (Ballard, 2000). Det kan derimot være utfordrende å skille mellom hvilke iterasjoner som er positive og negative på stadier hvor den ønskede designløsningen ikke er klart definert (Kalsaas & Sacks, 2011).

Læring og modning

Et viktig aspekt ved designprosessen er læringen og modningen som oppstår underveis, både individuelt og i samspill med andre rundt felles problemløsning og utfordringer. Illeris (2007, s. 3) definerer læring som: *“Any process that in living organisms leads to permanent capacity change and which is not solely due to biological maturation or ageing.”* Kolb (1984) understreker at læring er en prosess og ikke et resultat. Læring er med andre ord en kontinuerlig prosess hvor kunnskap blir skapt gjennom nye erfaringer. Lawson (1997, s. 33) beskriver designprosessen som en *“simultaneous learning about the nature of the problem and the range of the possible solutions.”* Kalsaas & Moum (2016) understøtter dette ved å forklare at designprosessen kan sees på som en læringsprosess hvor det utvikles og optimaliseres en god nok løsning. I starten av en designprosess har hverken arkitekten, ingeniøren eller kunden fullstendig oversikt over hvordan det ferdige byggeprosjektet vil se ut. Det er også uklart hvordan prosessen vil utarte seg eller hvilke problemer som kan oppstå. Når det arbeides med et designproblem over tid vil involverte aktører se og forstå nye sider, sammenhenger og muligheter etterhvert som de arbeider seg inn i saken. Designet modnes gradvis gjennom iterasjoner, og gradvis modning er derfor et sentralt fenomen i prosjektering. Mange av de sentrale og nødvendige aktivitetene i en designprosess krever modning, refleksjon og omgjøring før de kan fullføres (Kalsaas, 2019).

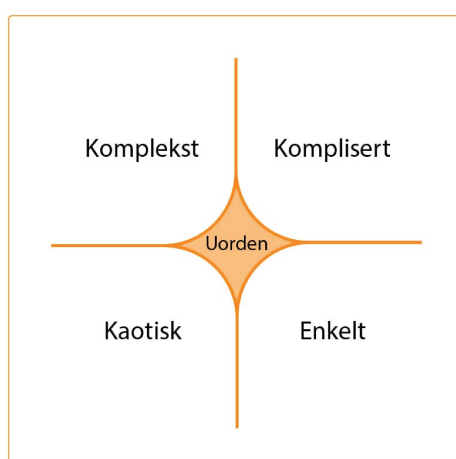
Kompleksitet

Byggebransjen er i en konstant utvikling, og nåtidens byggeprosjekter fremtrer i høyere grad enn tidligere som komplekse på bakgrunn av et økt fokus på bærekraft, miljøkrav og teknologi (Khanzode et al., 2006). Det er ikke uvanlig at det er et tosifret antall aktører som bidrar med detaljprosjektering, hvor dette gir mange grensesnitt som skal koordineres. I tillegg øker antallet aktører og grensesnitt med mer spesialisering og outsourcing, eksempelvis dersom deler av designet prosjekteres og prefabrikeres av en ekstern leverandør (Kalsaas, 2019).

En av utfordringene ved designprosessen er at det finnes potensielt uendelig med løsninger til et designproblem, og designprosessen karakteriseres dermed som et *wicked problem* (Lawson, 1997). Rittel & Webber (1973) beskriver wicked problems som komplekse og unike problemer med enten ingen eller mange løsninger, hvor en løsning eksempelvis er ”god eller dårlig” fremfor ”rett eller galt”. Det finnes alltid en bedre løsning på et wicked problem, og en foreslått løsning til et wicked problem kan videre forårsake nye problemer. I motsetning, kan et *tame problem* beskrives som et problem som alltid kan defineres og løses. Ved tame problems vet man når man har kommet fram til riktig svar (Lawson, 1997).

Cynefin-rammeverket er et verktøy innenfor beslutningsteori som gjerne brukes ved kollektive beslutninger (Kurtz & Snowden, 2003). Rammeverket kan ligne på en 2x2-matrise, der målet er å bruke kvadrantene til å se dynamikken i ulike situasjoner. Dette er for å skape en felles forståelse for beslutninger i situasjoner der det er usikkerhet involvert. Rammeverket er delt i fem kategorier, som vist i Figur 4. I kategorien *enkel* er årsaken og effekten godt kjent, og sammenhengen antas å være lineær. Dette gir grunnlag for et fast handlingsmønster. Øverst til høyre finnes kategorien *komplisert*, der det også eksisterer en klar sammenheng mellom årsak og effekt. Her kan derimot sammenhengen være delvis ukjent. Elementene i denne kategorien kan flyttes til kategorien enkel dersom de gis tilstrekkelig med ressurser og tid (Kurtz & Snowden, 2003). Til venstre i Cynefin-rammeverket finnes kategoriene *komplekst* og *kaotisk*. I komplekst-kategorien kan det spores mønster av årsak og effekt, imidlertid kan disse mønstrene bare observeres og ikke forutses fullstendig. Et wicked problem kan plasseres under kategoriene komplisert og komplekst. Kaos-kategorien er fritatt fra sammenheng

mellom årsak og effekt, og det er ifølge Kurtz & Snowden (2003) sløsing med tid å vente på et mønster eller system. Problemer i domenet *uorden* er så store, komplekse og uoversiktlige at de ikke kan plasseres innenfor en av de fire aspektene. Den eneste måten å løse disse problemene på er å dele det opp i mindre problemer som så kan plasseres innenfor de andre aspektene (Kurtz & Snowden, 2003).



Figur 4: Cynefin-rammeverket (oversatt av forfatterne, basert på Kurtz & Snowden (2003))

3.2 Prosjekteringsledelse

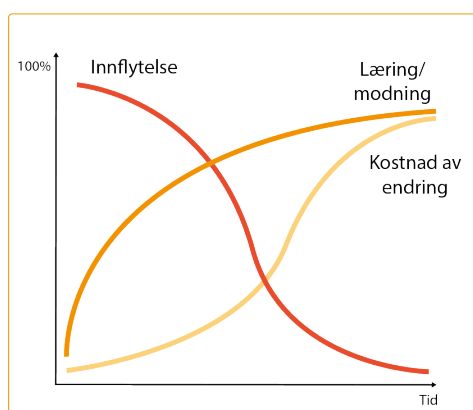
Ifølge Knotten (2017, s. 45) involverer prosjekteringsledelse “*planning, organizing, and managing people, their knowledge, and the flow of information to obtain specific project goals and objectives.*” Ifølge Emmitt (2016) har disiplinen prosjekteringsledelse lenge vært en undervurdert ledelsesfunksjon i byggeprosjekter, og dens betydning for byggeprosessen ble ikke anerkjent før på 2000-tallet. Dette bekreftes også av studier gjort av Kalsaas (2019). Til tross for et stadig økende fokus på prosjekteringsledelse, har fagfeltet fått lite oppmerksomhet innen forskning og utdanning, noe som har resultert i et kunnskapsgap innad i bransjen (Emmitt, 2016).

Prosjekteringsledelse innebærer blant annet å planlegge selve prosjekteringsprosessen, som inkluderer både planlegging av sekvensielle aktiviteter, eksempelvis fremdriftsplanlegging og milepælsplanlegging, og reflekterende aktiviteter som krever innspill fra flere disipliner.

Det kan derimot være vanskelig å planlegge reflekterende aktiviteter da disse i stor grad er uforutsigbare og iterative (Hansen & Olsson, 2011). Planlegging av prosjekteringsprosessen er derfor en kontinuerlig prosess, hvor det er nødvendig å planlegge mer detaljert underveis som prosessen modnes og det læres mer om designproblemet (Kalsaas & Moum, 2016).

Videre, innebærer prosjekteringsledelse å utvikle stabile team og etablere samarbeidsarenaer som får arkitekter og rådgivere til å samhandle og prestere i fellesskap (Hands et al., 2005). Byggebransjens utvikling, med en større grad av tekniske installasjoner og teknologiinnhold i bygninger, har resultert i både flere, og mer spesialiserte fagdisipliner. De ulike disiplinene har i tillegg en større grad av autonomi i prosjekteringsarbeidet enn tidligere, og dette øker behovet for grensesnittstyring av ledelsen. Videre er det viktig å legge til rette for kontinuerlig læring og utvikling av teamet, samt sikre at medlemmenes kunnskap og kreativitet utnyttes i størst mulig grad (Knotten, 2017).

En god prosjekteringsprosess avhenger av prosjektets interessenter. Brukerinvolvering handler om å inkludere brukerne for å sikre at deres krav og ønsker oppfylles. Kunden er en viktig del av teamet, da det er kunden som er ansvarlig for tilgjengelig tid, budsjett og omfang av prosjektet (Fundli & Drevland, 2014). Videre, bør prosjekterende og utførende involveres tidlig i prosjekteringsprosessen, da de sitter på faglig ekspertise om oppgaver og grensesnitt, samt verdifull erfaring fra tidligere prosjekter (Sinclair, 2011; Svalestuen et al., 2015). Samset (2014) understreker nødvendigheten av tidlig aktørinvolvering, da det er i startfasen av prosjekteringsprosessen innflytelsen og verdiskapingspotensialet er sterkest. Ifølge forfatteren har endringer gjort tidlig i prosjektet liten effekt på prosjektets totalpris sammenlignet med endringer som gjøres sent. Figur 5 illustrerer sammenhengen mellom innflytelsen til aktører, læring/modning og kostnader av endringer i byggeprosjekter. Paradokset er at når innflytelsen er stor og kostnaden av endring er liten, er modenheten av designløsninger lav, mens når ytelsen er stor, er også kostnaden av endring stor.



Figur 5: Sammenheng mellom innflytelse, læring/modning og kostnad av endring (ukjent opphav)

Videre, har prosjekteringsprosessen en stor betydning fra perspektivet til byggets livssyklus. Gilbertson (2006) presenterer, med indikerende verdier, et eksempel av en boligblokk for å illustrere dette. Med utgangspunkt i byggets livssyklus-kostnad, utgjør total designkostnad 20% av konstruksjonskostnadene, hvor dette inkluderer planlegging av konstruksjons-, drift- og vedlikeholdskostnader. Til sammenligning utgjør drift- og vedlikeholdskostnadene fem ganger konstruksjonskostnadene, og administrative kostnader kan være opp mot 200 ganger konstruksjonskostnadene. Dette illustrerer viktigheten av bedre prosjektering samt bedre styring av prosjekteringsprosessen, da dette kan bidra til å spare produksjonskostnader og øke kunde verdien etter ferdigstillelse. Kostnader i prosjekteringsfasen bør derfor sees i sammenheng med byggets livssyklus, og det kan eksempelvis være hensiktsmessig å investere i ekstra ressurser til prosjekteringsfasen dersom det vil resultere i lavere drift- og vedlikeholdskostnader.

3.3 Planleggings- og styringsmetodikk

Planlegging og styring av prosjekteringsprosessen innebærer å ta i bruk metoder og verktøy som forsikrer at designet leveres på budsjett, til riktig tid og med riktig kvalitet (Knotten, 2017). Dette inkluderer å tilpasse planleggings- og styringsmetodikken til prosjektet, med utgangspunkt i prosjekt karakteristikk som prosjektmedlemmenes kunnskap og erfaring, byggherrekrav, kunde verdi, brukerverdi, kompleksitet, ressurser, tidsramme og mål.

Praksis viser at planlegging og styring av prosjekteringsprosessen ofte blir gjort ved bruk av tradisjonelle prosjektledelsesmetoder (Lahdenperä & Tanhuanpää, 2000), eksempelvis Ganttplanlegging, kritisk vei-metoden, kritisk kjede-metoden og inntjent verdi-metoden (Kalsaas & Bonnier, 2017). Disse metodene bygger på fossefallsmodellen, som antar at prosjekter er sekvensielt lineære og at arbeidet kan deles inn i deler og styres som om disse delene var uavhengige av hverandre (Demir & Theis, 2016). Metoder basert på denne modellen tar kun hensyn til samlede og sekvensielle avhengigheter, men har problemer med å behandle resiproke avhengigheter (Ballard & Koskela, 1998). Å styre store og komplekse prosjekter med metoder som ikke tar hensyn til resiproke avhengigheter, er ifølge Howell & Koskela (2000, s. 9) mot sin hensikt, og de argumenterer for at: *“It creates self-inflicted problems that seriously undermine performance.”* Undersøkelser av Ballard (2000) viser at tradisjonell prosjektplanlegging basert på kritisk vei-metoden kun realiserte 54% av planlagte arbeidspakker, hvor dette genererer variasjon og usikkerhet for utførende aktører lenger ned i produksjonskjeden. I tillegg kan tradisjonelle metoder gi flere konsekvenser for det endelige designresultatet ettersom arbeidet ikke styres med fokus på prosessoptimering og verdiskapning.

Til tross for mye kritikk mot tradisjonelle planleggingsmetoder, påpeker Kalsaas & Bonnier (2017, s. 62) at: *“Det er ikke det samme som å hevde at tradisjonelle metoder ikke har deler som er nyttige. Det kan også være at tradisjonelle metoder er egnet for byggeprosjekter med relativ stor grad av forutsigbarhet, men i mindre grad for prosjekter som er mer komplekse og uforutsigbare.”* Videre hevder forfatterene at det uansett er viktig at prosjektplanleggere lærer seg tankegangen bak tradisjonelle planleggings- og styringsmetoder, for å på best mulig måte forstå hensikten med de nye. Howell & Koskela (2000) argumenterer for at styring av prosjekteringsprosessen trenger en form for ledelse som tar hensyn til prosjekteringsprosessen natur med høyt uforutsigbare iterasjoner, resiproke avhengigheter, gradvis modning og læring.

Lean er en ledelsesfilosofi med utspring i Toyota's produksjonsprinsipper (Modig & Åhlström, 2016). Ifølge Womack & Jones (1996) bygger lean tenkning på fem prinsipper: *verdi, verdistrøm, flyt, pull* og *kontinuerlig forbedring*. Lean har de siste årene fått økende oppmerksomhet innenfor flere bransjer, hvor lean construction er en byggeplasstilpasset versjon utviklet konti-

nuerlig siden tidlig på 90-tallet (Koskela, 1992). Sentrale kjennetegn ved lean construction er å maksimere kundeverdi, minimere sløsing og fokusere på flyteffektivitet i prosessene. Innen lean construction betegnes ofte ledelse av prosjekteringsprosessen som Lean Design Management (LDM) (Koskela et al., 1997; Kalsaas, 2019). Ulike teorier og en rekke metoder og verktøy kan kobles til LDM, hvor de som ansees som mest relevante for oppgavens case og diskusjon vil bli presentert i avsnittene nedenfor.

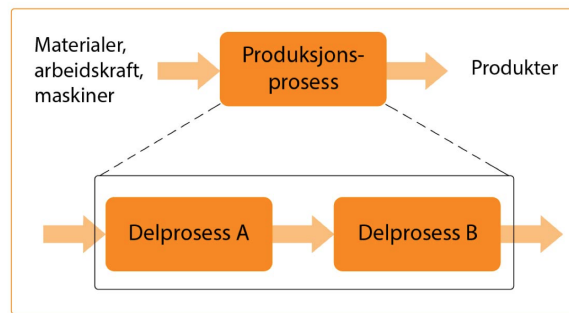
3.4 Lean Design Management

I avsnittene nedenfor vil aktuelle teorier, metoder og verktøy for oppgaven, som relateres til lean design management, bli presentert.

3.4.1 TFV-teorien

TFV-teorien handler om å forstå produksjon i byggeprosjekter, og er en av de mest sentrale teoriene innen lean construction. Ifølge Koskela (2000) finnes det tre ulike tilnærminger å forstå produksjon på: *transformasjon*, *flyt* og *verdi*. Transformasjon er det tradisjonelle perspektivet på produksjon, mens flyt og verdi er de nye komplementære perspektivene. Koskela (2000) integrerte tilnærmingene sammen til TFV-teorien for å kunne fullstendig forstå produksjon, da produksjon kan sees på som en flyt av transformasjoner som skaper verdi i form av et produkt. Denne forståelsen erkjenner at det er tre essensielle enheter i produksjon: arbeidskraft og generelle ressurser, materialer og kunde (Koskela et al., 2007).

Transformasjon vil si at input, i form av materialer, arbeidskraft og maskiner, tas inn i en prosess hvor det blir transformert til produkter. I denne tilnærmingen kan man dekomponere den overordnede transformasjonsprosessen i flere delprosesser, som vist i Figur 6, hvor produksjonen i sin helhet kan optimaliseres ved å optimalisere hver av delprosessene. Transformasjon kan ses i sammenheng med prosjekteringsprosessen, der delprosesser i design kan knyttes til de ulike prosjekteringsfasene skisseprosjekt, forprosjekt og detaljprosjekt (Koskela, 2000).

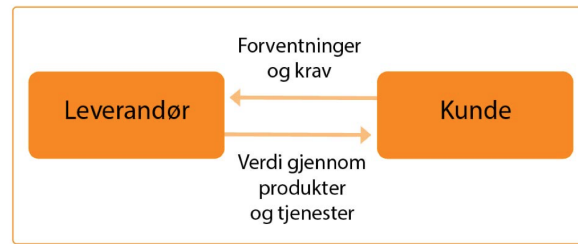


Figur 6: Delprosesser i en produksjonsprosess (ukjent opphav)

Transformasjonstilnærming ser kun på akkurat det som skjer i transformasjonen, og ikke det som skjer imellom denne prosessen. Materialer, folk og informasjon skal også bli flyttet på, hvor det er her flyt tilnærmingen kommer inn. I flyt-tilnærmingen sees produksjon på som en flyt av materialer gjennom produksjonssystemet, hvor alle aktiviteter som ikke innebærer pro-sessering av produktet anses som waste (Koskela, 2000). I serieproduksjon er det produktet som flyter gjennom produksjonen, mens det i prosjektbasert produksjon er arbeidsoperasjone-ne som flyter gjennom produktet. I flyt-tilnærmingen legger Koskela (2000) vekt på å:

- Fjerne sløsing
- Redusere ledetiden i forsyningskjeden
- Motvirke variasjon
- Forenkle forsyningskjeden (antall steg, deler, komponenter og relasjoner)
- Øke fleksibiliteten
- Øke gjennomsiktigheten (visuell ledelse)
- Kontinuerlig forbedring

En utfordring ved transformasjonstilnærmingen er at den legger opp for sub-optimalisering. Spørsmålet er om delprosessen er optimal og tilrettelagt for det som kommer etter i produksjonskjeden? Her kommer verdiaspektet inn, se Figur 7. Dette aspektet handler om at man skal innom produksjonssystemet for å levere det kundene trenger for å skape kunde-verdi. I lean construction innebærer kundebegrepet mer enn bare kunde av sluttproduktet, da det også omhandler alle som kommer nedstrøms i produksjonskjeden som skal bearbeide produktet videre til sluttproduktet (Koskela, 2000).



Figur 7: Illustrasjon av verdiaspektet (ukjent opphav)

3.4.2 Last Planner

Last Planner er en metode for prosjektplanlegging og -styring utviklet av Ballard (2000) som en respons mot det tradisjonelle styringssystemet. Ballard et al. (2009) trekker fram fem grunnleggende prinsipper fra Last Planner:

1. Planlegg med større detaljering desto nærmere du kommer den konkrete utførelsen
2. Planlegg sammen med dem som skal utføre arbeidet
3. Identifiser og fjern hindringer for planlagte oppgaver i team/grupper
4. Utarbeid pålitelige forpliktelser for at arbeid utføres som avtalt og vedlikehold forpliktelsene
5. Ta lærdom av tilfeller hvor problemer med gjennomføringen oppstår

Last Planner-systemet tar sikte på å skape en kontrollert fremtid ved å ivareta en realistisk planlegging av prosjektet basert på hvilke ressurser som er tilgjengelig, fremfor å tvinge fram en langsiktig fremdriftsplan for prosjektet som ikke er gjennomførbar (Ballard & Howell, 2003). Systemet tar i bruk fire ulike planleggingsverktøy: hovedplan, faseplan, utkikksplan og ukentlig arbeidsplan. Hovedplanen omfatter hovedmilepælene i prosjektet. Faseplanen innebærer å finne en god rekkefølge på arbeidspakkene i fasene mellom milepælene. Målet med utkikksplanen er å gjøre aktiviteter og arbeidspakker sunne ved å systematisk fjerne hindringer og begrensninger for at arbeidet skal kunne utføres i best mulig rekkefølge. Arbeidsplanen er en flerfaglig plan som utarbeides med en horisont på 2-4 uker (Kalsaas, 2017a).

Arbeidsplanen utarbeides av menneskene som skal utføre arbeidet, og baserer seg på Post-it lapper med informasjon om aktiviteter og tilhørende varighet. Denne planleggingsprosessen

hjelper gruppen med å forbedre forståelsen for de resiproke avhengighetene mellom disipliner og aktiviteter, samtidig som det øker fokuset på viktigheten av å følge planen. Det første steget i arbeidet med planen er å sette en ferdigstillelsesdato og utarbeide milepæler. Deretter blir aktiviteter planlagt bakover fra disse milepælene (Kalsaas, 2017a). Aktivitetenes oppstart skal baseres på tilgjengeligheten til ressursene, hvor ressursene skal trekkes til arbeidsoppgavene etter hvert som de klargjøres. For å hindre forsinkelser blir det kontinuerlig vurdert mulige begrensninger som kan oppstå underveis i prosessen (Ballard & Howell, 2003). Videre blir det gjennomført hindringsanalyser, noe som innebærer å analysere systematisk og fjerne potensielle hindringer før de oppstår, for å sikre at alle aktiviteter som påbegynnes er sunne. I tillegg blir det målt Prosent Planlagt Utført (PPU) med utgangspunkt i ukeplanen. PPU måles ved å dele antall planlagte aktiviteter utført på totalt antall planlagte aktiviteter. Måling av PPU kan øke effektiviteten på arbeidet, samt øke sjansen for at de ulike fagdisiplinene er ferdige med sin del av arbeidet innen neste møte (Kalsaas, 2017a). Basert på målingene av PPU kan årsak-virkningsanalyser gjennomføres for å undersøke rotårsaker til ikke-utførte arbeidsoppgaver (Ballard & Howell, 1994).

3.4.3 Integrated Concurrent Engineering

Integrated Concurrent Engineering (ICE), også kalt samtidig prosjektering, er en reaksjon mot den tradisjonelle sekvensielle prosjekteringsprosessen, og innebærer at alle disipliner løser problemstillinger og utfører arbeid samtidig gjennom hele prosjektet. ICE-møter er betegnelsen på samlokaliserte arbeidsmøter hvor alle relevante aktører er tilstede, med hensikt om å danne et interaktivt miljø og effektivisere prosjekteringsarbeidet. Møtene er godt forberedte, avholdes med en avtalt frekvens og har tydelig kommuniserte ønskede resultater. Under møtene tas det i bruk teknologiske verktøy som touchskjermer og BIM-modeller for å illustrere de ulike disiplinenes arbeid slik at alle involverte får en forståelse for hverandres fagfelt og prosjektet som helhet. I tillegg er møtene en kommunikasjonsarena for innhentning av nødvendig informasjon mellom disiplinene på en rask måte samt foreta beslutninger i fellesskap, hvor dette kan bidra til å redusere ventetiden fra det oppdages et problem til utbedring startes (Kunz & Fischer, 2009).

3.4.4 Choosing by Advantages

Prosjekteringsprosessen innebærer å vurdere mange ulike løsninger, hvor flere av disse ofte er motstridende. I slike tilfeller kan ulike beslutningsmetoder tas i bruk for å komme fram til en foretrukket løsning (Arroyo et al., 2018). Arroyo et al. (2016) påpeker at ingeniører, arkitekter, ledere og andre involverte i prosjekteringsprosessen er profesjonelle beslutningstakere som trenger å kunne dyktige metoder for beslutningstaking. Arroyo et al. (2018) hevder videre at å ta komplekse beslutninger uten en metode for beslutningstaking kan føre til konflikter og waste. En fremvoksende beslutningsmetode i dagens praksis er Choosing by Advantages (CBA).

Metoden kan brukes til å ta både enkle og komplekse beslutninger, men er spesielt relevant med tanke på å velge effektive og bærekraftige løsninger. Grunnprinsippet ved CBA er å basere beslutninger på viktigheten av ulike aspekter i forhold til ulike alternativer (Arroyo et al., 2018). Ved bruk av CBA startes det med å identifisere ulike alternativer til en løsning, hvor det vanligvis vurderes mellom to til ti alternativer. Deretter blir ulike faktorer til hvert av alternativene definert, i tillegg til *må* og *vil ha*-kriterier for alle faktorene. Etter dette blir alle egenskapene til hvert alternativ oppsummert, før det vurderes fordelene ved og viktigheten av hver av alternativene. Avslutningsvis evalueres livssyklus kostnaden knyttet til de ulike alternativene, og metoden kan dermed bidra til økt kundeverdi (Arroyo et al., 2016).

3.4.5 Target Value Design

Target Value Design (TVD) stammer fra Target Cost (TC) tilnærmingen brukt i produksjon gjennom flere tiår (Feil et al., 2004). TC er en tilnærming som skal redusere den totale kostnaden til et produkt over ens fullstendige livssyklus ved hjelp av å involvere bedriftens avdelinger og ved bidrag fra forsyningskjeden. Objektivet til TC er å oppnå en ønsket fortjenestemargin ved å styre design og konstruksjon mot tilsvarende målkostnad, Target Cost, istedenfor å kalkulere kostnader etter designet er ferdig (Zimina et al., 2012).

Ifølge Zimina et al. (2012) er TVD, derimot, tilpasset fra TC med tanke på særegenhetene fra prosjekter i bygg- og anleggsnæringen. Istedenfor å behandle kostnad som et utfall av sløsende design-estimering-omarbeid sykluser, skal TVD være en metode for å øke kunde-

verdi gjennom drivere for begrensinger innen kostnad, tid og plassering, samtidig som kvalitet opprettholdes. TVD involverer kunden på et tidlig stadium i prosjektet for å få innsikt i kundens ønsker og begrensinger som bidrag for å definere prosjektets kostnad og mål. I tillegg involveres nøkkelaktører for å få mest mulig verdig input. Gruppen skal samarbeide om å finne innovative løsninger for å spare kostnader uten å renonsere på omfang, fremdrift eller kvalitet (Zimina et al., 2012).

3.4.6 Level of Development

Level of Development (LoD) er en metode som kan benyttes for å planlegge prosjekteringsleveranser og håndtere gradvis modning i prosjekteringsprosesser (Hooper, 2015). BIM er vedtatt som kjernen for informasjonsflyt i prosjekteringsprosesser, og LoD ses på som en løsning for å forbedre kommunikasjon mellom aktører når ledelsen for prosjektering benytter BIM (Grytting et al., 2017). All prosjektering skal nødvendigvis ikke ferdigstilles samtidig, og ved bruk av LoD kan det være enklere for ledelsen å planlegge BIM-leveranser med samme modenhet, i samme område, til samme tid. Ideen er å vedlegge en LoD-status til objekter i BIM-modellen i forbindelse med standardiserte sjekklister som kan gjenbrukes, slik at det med høyere sikkerhet kan garanteres en viss informasjonskvalitet (Hooper, 2015).

LoD forstås som *grad av fullstendighet* og er definert i nivåer fra 100-500. En beskrivelse av de ulike LoD-nivåene er forklart i Tabell 4 (BIMForum, 2019).

Tabell 4: Beskrivelse av ulike LoD-nivåer (BIMForum, 2019)

LoD-nivå	Beskrivelse
LoD100	Omtrentlig informasjon, sjeldent geometri
LoD200	Omtrentlig geometri
LoD300	Elementene representerer bestemte systemer eller objekter
LoD350	Som 300, inkludert grensesnitt med andre bygningselementer
LoD400	Elementet er modellert tilstrekkelig og kan brukes som basis for fabrikkasjon
LoD500	Elementet gir et nøyaktig bilde av det virkelige elementet

Ved å planlegge når BIM-objekter i hele eller deler av byggeprosjekter skal ha en gitt verdi av LoD, vil prosjekteringsprosessen i større grad kunne kontrolleres. I tillegg kan det hjelpe de involverte i prosjekteringen til å kommunisere beslutninger i tide, heve kvaliteten på tverr-

faglige kontroller, forbedre generell effektivitet samt spare prosjektet for omprosjektering (Hooper, 2015). Videre kan det legges til rette for gjenbruk av en effektiv modellprogresjon i en læringsprosess, og forenkle kunnskapsoverføring fra prosjekt til prosjekt i det lange løp (Grytting et al., 2017).

3.4.7 Scrum

Agile er en tilnærming til prosjektmetodikk opprinnelig utviklet med hensikt om å utvikle komplekse informasjonssystemer (Schwaber, 2004). Agile metoder snur den tradisjonelle tilnærmingen, fossefallsmodellen, sidelengs og går kontinuerlig gjennom de ulike stadiene, og foretar seg gradvise forbedringer helt opp til slutten av utviklingsprosessen. En sentral Agile metode er Scrum. Metoden tar utgangspunkt i at krav varierer og må justeres underveis da ny forståelse og læring utvikles i prosessen, og innebærer å jobbe iterativt i tverrfaglige, selvstyrte team. Metoden har hovedsakelig vært benyttet til programvarebaserte systemer, men i prinsippet kan den brukes til å håndtere alle slags komplekse prosjekter (Schwaber, 2004). I design og prosjektering kan det sammenlignes med concurrent engineering ved at prosjektet kjører overlappende aktiviteter som kan trenge gjensidig tilpasning på grunn av resiproke avhengigheter (Demir & Theis, 2016).

Ifølge Demir & Theis (2016) kreves det et dynamisk miljø og et iterativt styringssystem basert på korte sykluser og raske tilbakemeldingsløkker for å kontinuerlig komme fram til den foretrukne designløsningen. En struktur for styring av detaljprosjektering basert på Scrum er utviklet av Kalsaas (2019), hvor denne strukturen innebærer to komplementære elementer:

1. Å dele inn prosjekteringsoppgaver i arbeidspakker/moduler som kapsler inn det kompliserte. Arbeidspakkene omfatter en eller flere sprints, hvor noen vil være enfaglige, mens de fleste flerfaglige. De modulene som karakteriseres av sterke resiproke avhengigheter blir prosjektert som concurrent engineering av selvstyrte team fra prosjekteringsgruppen. Denne organiseringen skal gi rom for kreativitet og felles ”puslespill”.
2. Å gjennomføre sprintene etter en rigid tidsplan for å sikre fremdrift, hvor tidsplanen utarbeides basert på involvering fra deltagerne.

Ved å implementere Scrum i prosjekteringsprosessen kan det, ifølge Demir & Theis (2016), oppnås bedre samarbeid og koordinering mellom ulike disipliner, bedre identifisering og kommunikasjon av problemer og risiko, økt grensesnittstyring samt økt teammotivasjon gjennom overføring av større ansvar. Bruk av arbeidspakker, sprinter og selvorganiserte grupper legger i tillegg tilrette for god læring og kunnskapsoverføring i prosjekteringsprosessen (Kalsaas, 2019). Demir & Theis (2016) hevder at prosjektene som vil ha mest nytte av prinsippene er prosjekter som opererer med høy risiko og usikkerhet, og prosjekter hvor det er en sterk sammenheng mellom design og utførelse.

3.5 Læring i organisasjoner

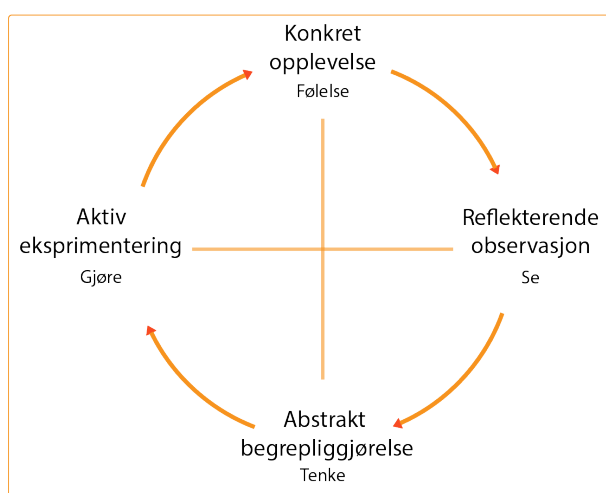
Tradisjonelt har læring kun blitt undersøkt og diskutert på et individuelt nivå, men Illeris (2018) argumenterer for at det nå også har blitt et nøkkeltema på et profesjonelt organisatorisk nivå. Ifølge Garvin (1993) handler læring i organisasjoner om å forbedre seg selv kontinuerlig for å opprettholde eller tilegne seg ny og relevant kunnskap som medfører hensiktsmessige endringer i en organisasjon. de Geus (1988) uttrykker at en av de største konkurransefortrinnene en organisasjon kan ha, er evnen til å lære raskere enn ens konkurrenter. Videre er begrepet *en lærende organisasjon* beskrevet av Garvin (1993, s. 79) som “*an organization skilled at creating, acquiring and transferring knowledge, and at modifying its behaviour to reflect new knowledge and insights.*” En lærende organisasjon kan dermed ses på som et kollektiv av individer som går igjennom en iterativ prosess for å skape en læringsarena der verdi kan realiseres gjennom kunnskaps- og erfaringsdeling.

For å forstå hvordan læring oppstår både på et individuelt og organisatorisk nivå kan ulike læringsmodeller studeres, hvorav Kolbs lærings sirkel og SECI-modellen blir presentert i avsnittene nedenfor.

Kolbs lærings sirkel

Kolb (1984) sin erfaringsbaserte lærings sirkel ser på kunnskap som en transformasjonsprosess. Lærings sirkelen er bygget opp av to dimensjoner, hvor den ene dimensjonen baserer seg på hvordan et individ tilegner seg kunnskap, og den andre dimensjonen omhandler hvordan

erfaringen skal bli omdannet til kunnskap eller handling. Derifra kan individer gå igjennom en ny refleksjonsprosess som blir omdannet til ny kunnskap eller handling. Figur 8 viser læringssirkelens fire faser, hvor disse er konkret erfaring, refleksjon, abstrahering og aktiv eksperimentering. Læringsprosessen kan starte hvor som helst i læringssirkelen, men alle fasene må gjennomføres for at læring skal oppstå. Dette kan videre forstås som at jo lengre den iterative prosessen foregår, jo mer detaljert kunnskapsområde blir avdekket (Kalsaas, 2017b). Kalsaas & Moum (2016) sammenlikner denne kontinuerlige spiralen med prosjekteringsprosessens modenhet, hvor man gradvis forstår arbeidet man gjør i større detalj.



Figur 8: Kolbs (1984) læringssirkel

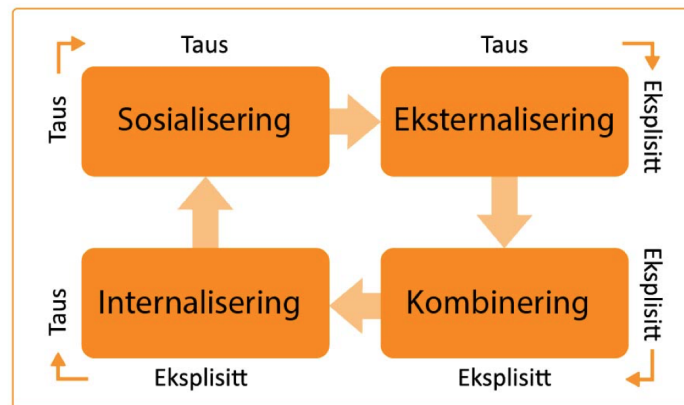
SECI-modellen

Nonaka & Takeuchi (1995) sin dynamiske læringsmodell, SECI-modellen, beskriver hvordan kunnskap oppstår i en organisasjon gjennom fire prosesser for læring og kunnskapsoverføring. Prosessene tar utgangspunkt i Polanyi (1967) sitt skille mellom taus og eksplisitt kunnskap, og overgangen mellom disse. Taus kunnskap er erfaringer som ikke er kodet og som ofte er vanskelig å forklare med ord, mens eksplisitt kunnskap er tilgjengelig for alle. Som vist i Figur 9 har modellen fire ulike typer kunnskapsprosesser:

1. Taus-Taus skjer ved *sosialisering* gjennom arenabygging
2. Taus-Eksplisitt skjer ved kodifisering av taus kunnskap og foregår gjennom *eksternali-*

sering via dialog

3. Eksplisitt-Eksplisitt fører til systematisert kunnskap gjennom *kombinering* av eksplisitt kunnskap
4. Eksplisitt-Taus oppstår ved å *internalisere* den eksplisitte kunnskapen i form av *learning by doing*



Figur 9: SECI-modellen (Nonaka og Takeuchi, 1995)

I likhet med Kolbs lærings sirkel kan SECI-modellen sees på som en kontinuerlig spiral, og det er ikke viktig hvor i prosessen man starter (Nonaka & Takeuchi, 1995). Nonaka et al. (2008) og Rice & Rice (2005) hevder at kunnskap hovedsakelig stammer fra individer som kombinerer både taus og eksplisitt kunnskap gjennom sosiale interaksjoner.

Lessons learned

Garvin (1993) understreker at erfaring fra egen fortid er viktige byggeklosser for organisasjoner. Lessons learned er overordnet lærdom basert på evalueringer og erfaringer, som oftest i form av styrker og svakheter knyttet til gjennomføring og forberedning, og hvordan dette virket inn på resultater. Å oppsummere og dokumentere lessons learned er nyttig av flere grunner. For det første kan det bidra til å oppnå gode resultater på et operativt nivå. For det andre kan slik praksis øke organisasjonens konkurransefortrinn, da kunnskapsbaserte metoder kan være unike og bli organisatorisk integrert over tid. Og for det tredje, foregår over 80% av læring på arbeidsplassen uformelt, gjerne gjennom sosialisering, fremfor formelt (Shani & Docherty, 2003).

3.6 Overgang fra teori til casestudien

Masteroppgavens problemstilling er: *Hvilke lessons learned kan identifiseres ut fra anvendt metodikk for planlegging og styring av detaljprosjekteringen sett fra et lean construction-perspektiv?*

Resiproke avhengigheter er et sentralt aspekt for å forstå hva slags fenomen design er. Disse avhengighetene spiller seg ut i en eller flere iterasjoner. Iterasjoner kan knyttes til Kolbs læringssirkel, hvor hver loop representerer en test, observasjoner og refleksjoner, før det identifiseres et behov eller ønske om å foreta en ny iterasjon. Koordineringsmekanismen for resiproke avhengigheter er gjensidig tilpasning, men dersom det finnes resiproke avhengigheter, er det også alltid sekvensielle avhengigheter til stede, hvor disse må koordineres med plan som metodikk. Design i komplekse prosjekter kan videre betraktes som et wicked problem, noe som vil si at det ikke finnes en logisk slutt for når designet er ferdig. Det kan alltid bli litt bedre. Wicked problems kan igjen knyttes til Cynefin-rammeverket for kompleksitet.

Det er valgt å analysere lessons learned fra caset i forhold til teori relatert til design som fenomen og TFV-teorien. Oppgaven forsøker dermed å besvare hvordan den anvendte metodikken for planlegging og styring håndterer:

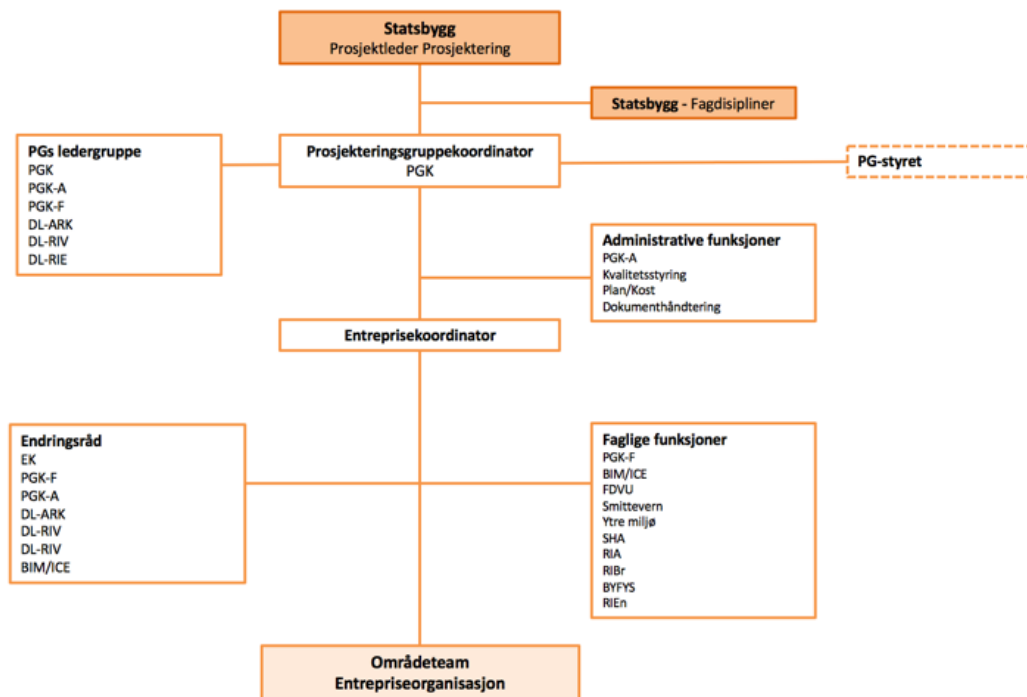
- Transformasjon
- Flyt, herunder kompleksitet, resiproke avhengigheter og koordinering, gradvis modning, byggbarhet og læring
- Verdi, herunder kunde verdi/brukerverdi

I forbindelse med refleksjoner rundt forbedringstiltak til identifiserte lessons learned blir metoder og verktøy knyttet til lean design management trukket inn, herunder Last Planner, Integrated Concurrent Engineering, Target Value Design, Choosing by Advantages, Level of Development og Scrum.

4 Case

Denne oppgaven studerer et av Norges største byggeprosjekter, Campus Ås-prosjektet, som er en samlokalisering og flytting av Norges Veterinærhøgskole (NVH) og Veterinærinstituttet (VI) til Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet (NMBU) på Ås. Veterinærhøgskolen er en del av NMBU, mens veterinærinstituttet er et selvstendig biomedisinsk forskningsinstitutt (Statsbygg, 2019). Campus Ås-prosjektet er den største samlede utbyggingen i universitets- og høgskolesektoren i Norge noensinne, og det finnes ingen tilsvarende fasiliteter med akkurat den samme sammensetningen av funksjoner og institusjoner i samme bygningskompleks (Multiconsult, 2019).

Prosjektet er en stortingsinvestering vedtatt i et stortingsvedtak april 2008, med kunnskapsdepartementet som oppdragsgiver og Statsbygg som byggherre. Byggeprosjektet er anskaffet som byggherrestyrte delte entrepriser fordelt mellom 40 ulike utførelsesentrepriser. I forhold til prosjekteringsprosessen var det en gruppe som vant kontrakten sammen, hvor denne består av Multiconsult, Erichsen & Horgen, Fabel Arkitekter og Henning Larsen Arkitekter. Kontrakten gjelder komplett prosjekteringsgruppe for utførelse av skisse- og forprosjekt, detaljprosjekt og oppfølging i byggetid. Prosjekteringsgruppen består av prosjekteringsledere, arkitekter, landskapsarkitekter og fagrepresentanter fra bygg, elektro, VVS, brann, akustikk og bygningsfysikk, samt 11 ulike spesialdisipliner som eksempelvis smittevern, laboratoriedesign og ytre miljø (Multiconsult, 2019). En oversikt over prosjekteringsgruppens organisasjonsplan er vist i Figur 10. Tilhørende forkortelser er forklart på side VIII.



Figur 10: Oversikt over prosjekteringsgruppens organisasjonsplan (bearbeidet etter materiale mottatt fra Multiconsult)

Byggeprosjektet omfatter 63 100 m² fordelt på 9 sammenkoblede bygninger, som tilsammen utgjør Veterinærinstituttet og Veterinærhøgskolen, og et sidestående fellesbygg på 2100 m² (Statsbygg, 2019). Hele prosjektet er oppdelt i bygningsnummer, hvor hvert bygningsnummer spesifiserer en avgrenset del av bygningsmassen som gjelder for alle plan innenfor det angitte området. En oversikt over de ulike bygningene finnes i Figur 11. Totalt består bygningene av 2466 rom, hvor dette inkluderer en stor andel spesialarealer som laboratorier, dyrestaller, dyrehospital og akvarier, i tillegg til standardarealer som undervisningsarealer, kontorer, bibliotek og kantine.



Figur 11: Oversikt over bygningene i Campus Ås-prosjektet

Prosjektet har store ambisjoner innenfor SHA og miljø, og alle bygningene skal tilfredsstillende passivhusstandard (NS3701). For bygningsmassen skal 20% tilfredsstillende energimerke A og 80% tilfredsstillende energimerke B (Multiconsult, 2019). I tillegg stilles det ekstreme krav til smittevern i prosjektet for å oppnå verdensklasseklassifisering innenfor sitt felt. Videre inneholder prosjektet en rekke utstyrsinstallasjoner som er direkte rettet mot brukers utøvende arbeid og prosesser, blant annet avansert utstyr til forskning, diagnostisering og behandling av dyr. Anskaffelsen av brukerstyret ble gjennomført som et eget prosjekt med Statsbygg som ansvarlig. Kostnadsrammen for brukerstyrsprosjektet er på over 1 milliard kroner fordelt på ca. 97 000 artikler (Statsbygg, 2019).

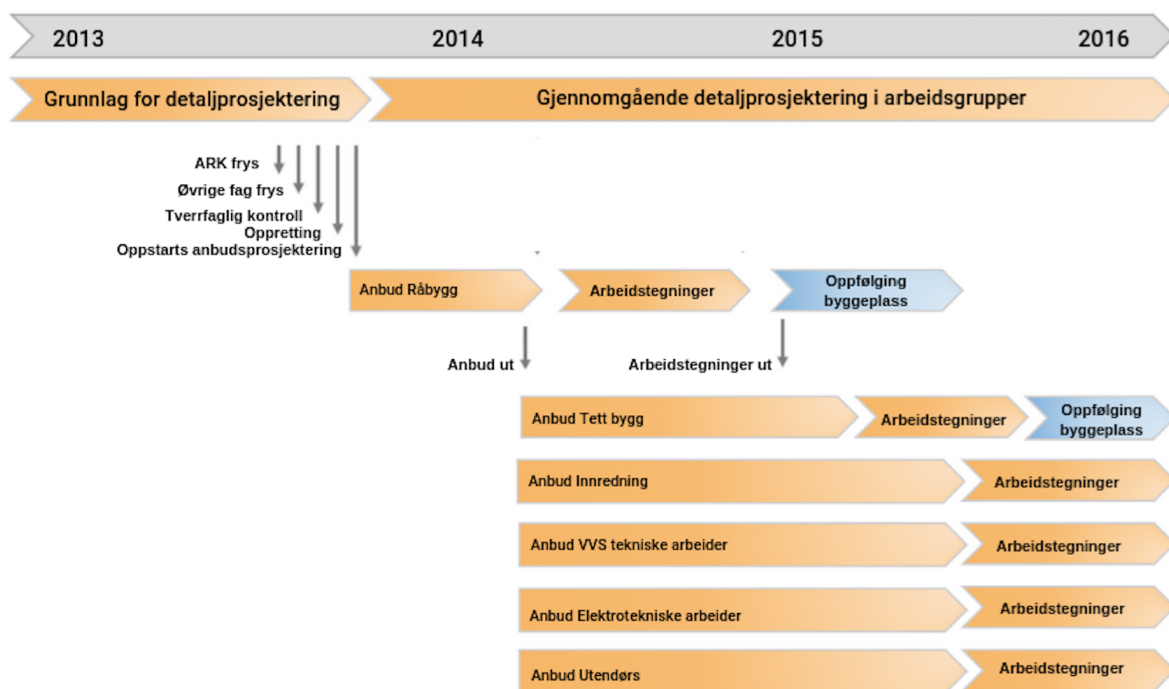
Prosjekteringsperioden startet opp i 2010, der skisseprosjektet ble utarbeidet fra august 2010-desember 2011. Arbeidet med forprosjektet ble igangsatt desember 2011 og levert juni 2012. Oppstart detaljprosjektering var mars 2013, og de siste arbeidstegningene ble sendt ut i starten av 2019. Ca. 200 arkitekter og ingeniører har totalt arbeidet med prosjektering, hvor 120 av disse, på det meste, arbeidet samtidig. Prosjekteringsgruppen har sittet samlokalisert siden oppstart detaljprosjektering i 2013, og prosjektkontoret ble flyttet til byggeplassen august 2018. Byggestart var i 2013, og byggeperioden har deretter pågått parallelt med prosjekteringsprosessen. Planlagt ferdigstilling er i 2020.

5 Funn

I dette kapitlet presenteres kvalitative og kvantitative funn fra datainnsamlingen relatert til anvendt metodikk for planlegging og styring. Det skilles mellom funn knyttet til detaljprosjektering fram til anbud og funn knyttet til oppfølgende prosjektering.

5.1 Detaljprosjektering fram til anbud

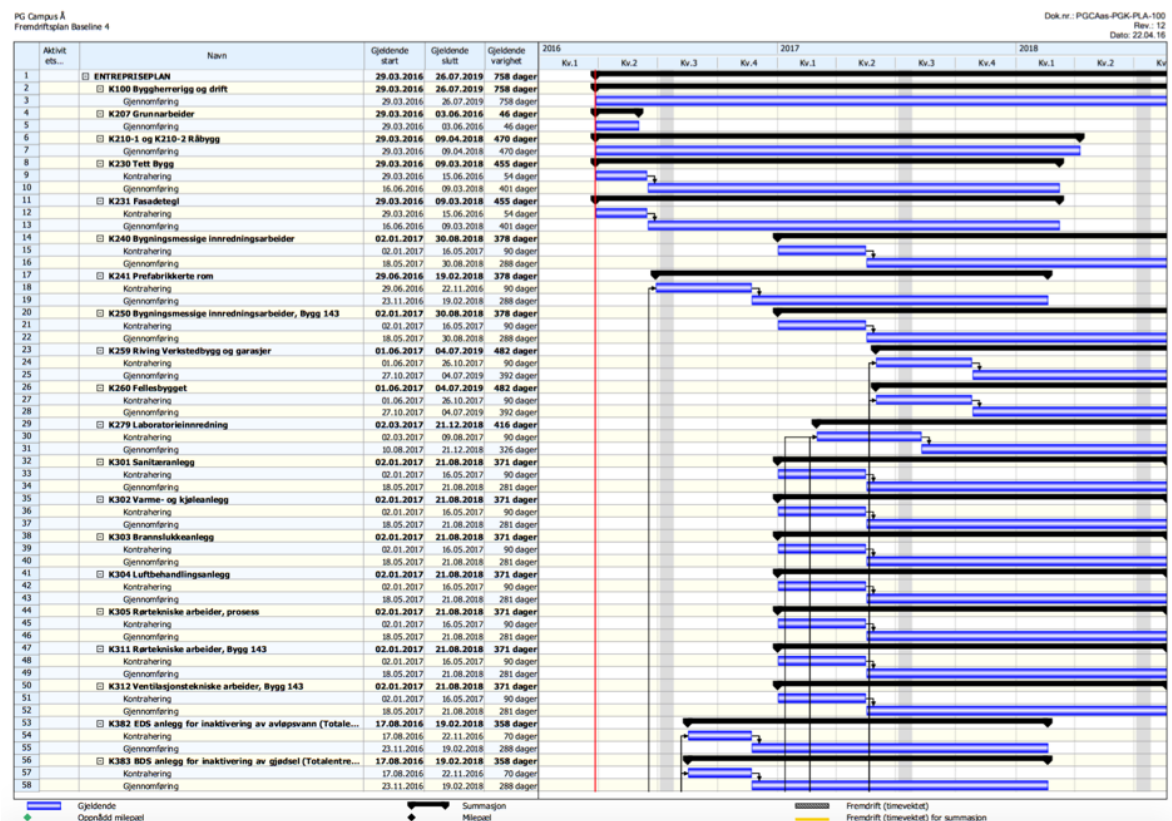
Figur 12 viser hvordan prosjekteringsledelsen har fremstilt den overordnede fremdriftsplanen for detaljprosjekteringsfasen. Det første året av detaljprosjekteringsfasen ble brukt til utarbeidelse av et “grunnlag for detaljprosjektering”. Bakgrunnen for dette var at forprosjektet ikke var modent nok ved oppstart detaljprosjektering.



Figur 12: Illustrasjon av fremdriftsplanen for detaljprosjekteringsfasen (bearbeidet etter materiale mottatt fra Multiconsult)

Prosjekteringsprosessen var i utgangpunktet rigget etter tradisjonelle metoder og verktøy for planlegging og styring. Prosjekteringsplanen ble utarbeidet som et Gantt-diagram, hvor et utdrag av denne er vist i Figur 13. Prosjekteringsplanen har vært samkjørt med byggherrens

prosjektplan, milepælene ble lagt i samarbeid med byggherre og det har vært ukentlige møter med byggherre. I tillegg var det organisert ukentlige prosjekteringsmøter innad i prosjekteringsgruppen. I forhold til fremdriftskontroll ble inntjent verdi-metoden benyttet for å måle fremdrift i forhold til påløpte timer og rapporterte progresjon fram mot hver av milepælene. Videre ble det planlagt detaljert i fremdriftsplanen opp til lenger enn 6 måneder fram i tid. Byggherrens kvalitetssystem tilsa at endelige arbeidstegninger skulle leveres 12 uker før oppstart byggeplass. På bakgrunn av en departementsbeslutning har prosjektet måttet redusere arealet i flere omganger underveis i prosessen, hovedsakelig på relativt tidlige stadier. Totalt ble det redusert fra ca. 120 000 m² til ca. 63 000 m². Selv om prosjektet nedkuttet arealer, reduserte det ikke på antall funksjoner i prosjekter. I 2013, rett etter oppstart detaljprosjektering, ble det besluttet å utsette ferdigstilling av prosjektet med ett år fra 2019 til 2020. For prosjektering alene ble det totalt brukt over én mill. timer med en verdi på mer enn én mrd. NOK.



Figur 13: Et utdrag av prosjektets prosjekteringsplan

Prosjektet var oppdelt i bygningsnummer, hvor hvert bygg representerte et delområde av totalt 9 delområder, se Kapittel 4 - Case. Fra oppstart detaljprosjektering og fram til anbud var prosjektet organisert som områdeprosjektering. Hvert delområde hadde hvert sitt områdeteam, med hver sin ansvarlig. Kompleksiteten i prosjektet medførte betydelig koordinering av aktiviteter og grensesnitt både internt i delområdene og mellom de enkelte områdene. En utfordring ved denne organiseringen kan knyttes til at de ansvarlige for de ulike byggene hadde hver sin idé om hvordan prosjekteringen skulle utføres, noe som endte med ulikheter i designløsninger.

BIM har vært aktivt brukt i prosjektet, både til tegningsproduksjon og beregninger, og til å oppnå bedre kommunikasjon, koordinering, rapportering og kvalitetssikring. Prosjektet har hatt en overordnet BIM-koordinator, i tillegg til en BIM-koordinator for hver disiplin. Romfunksjonsprogrammet var definert i kravdatabasen dRofus². Kravene i dRofus var grunnlaget for de tekniske fagenes prosjektering, og alle programendringer ble kontinuerlig ført inn i databasen slik at den til enhver tid representerte gjeldene romprogram. Som et verktøy for kommunikasjon ble prosjekthotellet Interaxo³ tatt i bruk for å håndtere endringsmeldinger og tegningsutsendelser. Prosjekteringsgruppen hadde ikke tilstrekkelig med kompetanse til å prosjektere alle spesialsystemer for designet, og søkte derfor bistand fra leverandører nasjonalt og internasjonalt, noe som medførte enda flere grensesnitt i prosjekteringen. Arbeidstegninger til leverandørprosjektering ble levert 21 uker før produksjon.

I forbindelse med byggharhet ble det innledningsvis utarbeidet et service- og vedlikeholdsnotat som skulle legge til rette for tilgang til tekniske installasjoner under drift. I tillegg ble det utført byggharhetsanalyser av kritiske områder, som inn- og avganger på sjakter, plassering og installasjoner i sjakter og trafikknutepunkter på himling. I analysene ble det bestemt rekkefølge for montasje, plassbehov og tilkomst i hver av de ulike områdene. Videre har det vært gode rutiner på gjennomføring av kollisjonskontroller, hvor denne prosessen startet to måneder før tegningsutsendelse. I tillegg ble det utført kontroller på avstander og toleranser i BIM-modellen. I slutfasen av detaljprosjekteringen ble det hentet inn en ekstern ressurs fra et av prosjekteringsgruppens firmaer, hvor personen fikk et hovedansvar for å kontrollere

²dRofus er et planleggings- og datahåndteringsverktøy for byggebransjen (dRofus, 2019).

³Interaxo er et verktøy for samhandling og prosjektstyring i nettskyen utviklet av Symetri (Symetri, 2019).

BIM-modellen i forhold til byggbarhet.

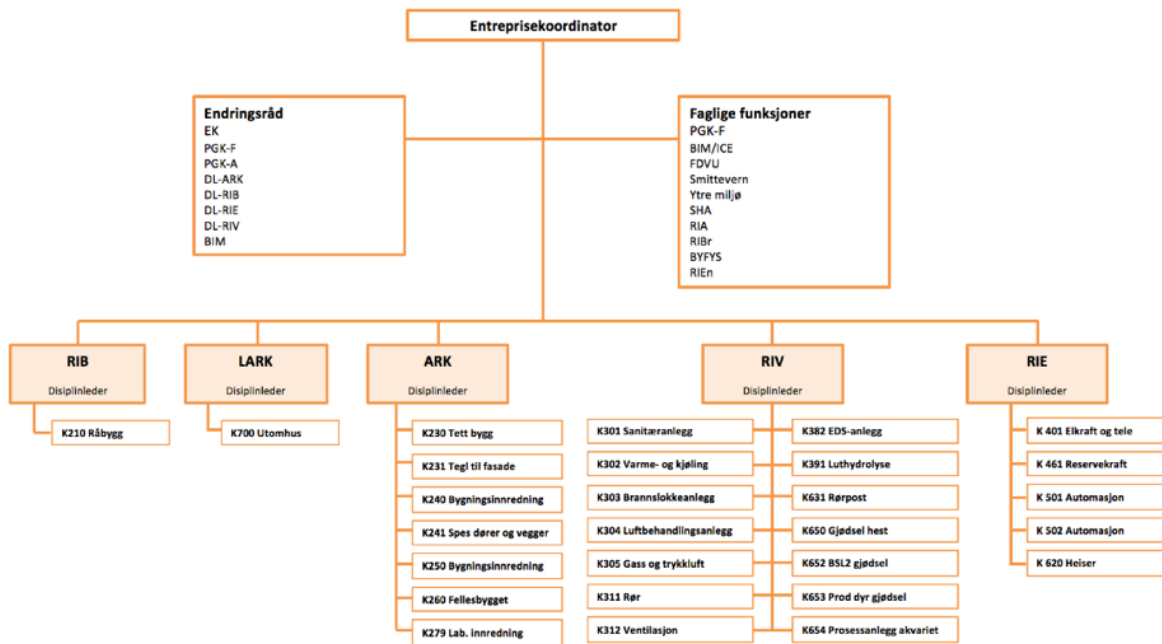
Prosjekteringsgruppen hadde lite kunnskap og erfaring med lean. Det ble derimot satt i gang ICE-møter, som er tverrfaglige samhandlingsmøter, i detaljprosjekteringen etter at en lean-pådriver med VDC⁴-sertifisering kom inn i prosjektet. Tiltaket ble innført som en metode for å sikre kvalitet og fremdrift i prosjekteringen. ICE-møtene startet opp et halvt år før anbud og ble avholdt 1-2 ganger i uken. Møtene var nøye planlagt og hadde en varighet på maks 45 minutter da erfaringene tilsa at det fort kunne bli ineffektivt å sitte lengre. Det var hovedsakelig fokus på kollisjoner i ICE-møtene, men andre tverrfaglige problemstillinger ble også behandlet. I møtene var det kun relevante aktører for punkter på agendaen tilstede. Dersom det viste seg at punkter på agendaen manglet tilstrekkelig informasjon for å vedta en beslutning, ble disse flyttet til egne særmøter.

På prosjektets sidestående fellesbygg, ble det etter initiativ fra samme person, benyttet Last Planner som en planleggingsmetode og en arena for kommunikasjon. Last Planner-møtene ble avholdt én gang i uka med en varighet på ca. 30 minutter, og det ble benyttet lappeteknikk for å planlegge fremdriften fire uker fram i tid. Alle disipliner var til stedet under møtene, og i hvert møte ble det avsatt ca. ett minutt for hver person til å orientere resten av gruppen om hva de arbeidet med og hva de hadde behov for av informasjon og avklaringer.

⁴Virtual Design and Construction (VDC) er et integrert rammeverk bestående av kjente teknikker og verktøy. Konseptets grunnprinsipper er økt fokus på bruk av teknologiske verktøy og arbeidsmetoder som legger til rette for tverrfaglig samhandling (Khanzode et al., 2006).

5.2 Oppfølgende prosjektering

Etter at entreprisene ble kontrahert, endret byggherren struktur, og prosjektet gikk over i en entrepriseorganisasjon. En oversikt over entrepriseorganisasjonen er vist i Figur 14. De fleste disipliner hadde mellom 1-5 entrepriser hver, mens VVS hadde 16. Entrepriseorganisasjonen pågikk fram til prosjekteringsgruppen flyttet ut til byggeplassen i august 2018.



Figur 14: Oversikt over entrepriseorganisasjonen (bearbeidet etter materiale mottatt fra Multiconsult)

Etter at prosjekteringsgruppen flyttet ut til byggeplassen, omstrukturerte byggherren på nytt, og organiserte organisasjonen rundt seks ”fronter”, se Figur 15. Hensikten med omorganiseringen var å sikre fremdrift på byggeplassen. Hver front representerte ett eller flere bygg, med unntak av én front, som var tekniske rom på tvers av frontene. Innad i frontene var det en overordnet leder og representanter fra både prosjekteringsgruppen, byggherren, byggeledelsen og entreprenørene. Innenfor hver front ble det arbeidet internt i tverrfaglige grupper, hvor disse hadde ukentlige møter for å løse saker relatert til prosjektering. I tillegg var det egne produksjonsteam med møter annenhver uke for å løse brennendesaker på byggeplass.

FRONT	A	B	C	D	E	F
PGK	PGK for front A	PGK for front B	PGK for front C	PGK for front D	PGK for front E	PGK for front F
VVS	VVS-ansvarlig for front A	VVS-ansvarlig for front B	VVS-ansvarlig for front C	VVS-ansvarlig for front D	VVS-ansvarlig for front E	VVS-ansvarlig for front F
EL	EL-ansvarlig for front A	EL-ansvarlig for front B	EL-ansvarlig for front C	EL-ansvarlig for front D	EL-ansvarlig for front E	EL-ansvarlig for front F
EL automasjon	EL A-ansvarlig for front A	EL A-ansvarlig for front B	EL A-ansvarlig for front C	EL A-ansvarlig for front D	EL A-ansvarlig for front E	EL A-ansvarlig for front F
ARK	ARK-ansvarlig for front A	ARK-ansvarlig for front B	ARK-ansvarlig for front C	ARK-ansvarlig for front D	ARK-ansvarlig for front E	ARK-ansvarlig for front F
RIB	RIB-ansvarlig for front A	RIB-ansvarlig for front B	RIB-ansvarlig for front C	RIB-ansvarlig for front D	RIB-ansvarlig for front E	RIB-ansvarlig for front F

Figur 15: Oversikt over frontene (bearbeidet etter materiale mottatt fra Multiconsult)

Prosjekteringsgruppen fortsatte arbeidet med detaljprosjektering etter at tilbudene var hentet inn. Årsaken var at prosjekteringsgruppen ikke rakk å ferdigstille alle detaljtegninger før anbud, i tillegg til at det var en nødvendig konsekvens med tanke på at produkter i modellen ble endret. Som et verktøy for kommunikasjon i oppfølgende prosjektering ble PIMS360⁵ tatt i bruk, for å håndtere endringsmeldinger og registrere avvik og avklaringsbehov fra byggeplassen. I forbindelse med håndtering av tverrfaglige endringsmeldinger i oppfølgende prosjektering ble det opprettet et endringsråd i prosjekteringsgruppeorganisasjonen. Hovedsakelig gjaldt dette endringsmeldinger som kom internt fra prosjekteringsgruppen, men endringsmeldinger fra byggherren og byggeplassen ble også håndtert.

⁵PIMS360 er en serie moduler utviklet av InDyne for å støtte økonomiske og operative funksjoner ved store offentlige kontrakter (InDyne, 2019).

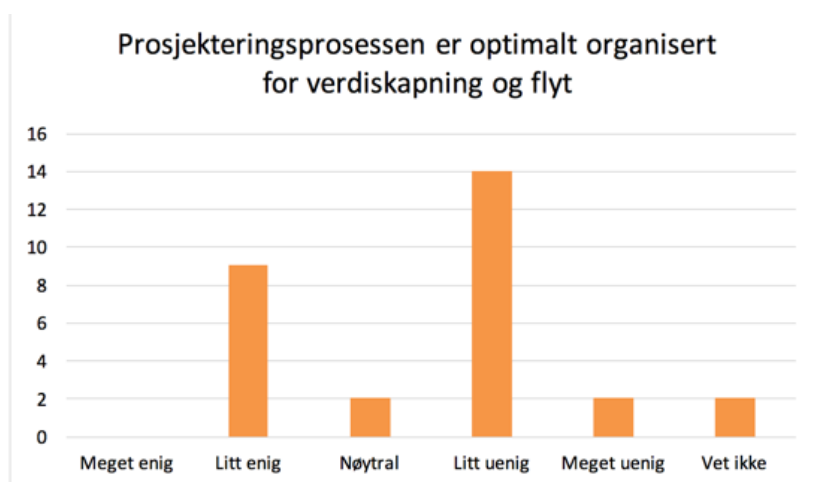
6 Diskusjon

Dette kapitlet diskuterer kvalitative og kvantitative funn fra datainnsamlingen i relasjon til relevant teori, og presenterer refleksjoner rundt forbedringstiltak knyttet til identifiserte lessons learned. Som nevnt i Kapittel 3.6 - Overgang fra teori til casestudien, er det valgt å benytte teori relatert til design som fenomen og TFV-teorien som rammeverk for diskusjon. Oppgaven forsøker dermed å besvare hvordan den anvendte metodikken for planlegging og styring håndterer:

- Transformasjon
- Flyt, herunder kompleksitet, resiproke avhengigheter og koordinering, gradvis modning, byggbarhet og læring
- Verdi, herunder kunde verdi/bruker verdi

6.1 Transformasjon

I prosjektet ble det hovedsakelig anvendt tradisjonell planleggings- og styringsmetodikk, som bygger på fossefallmodellen og som baseres på et transformasjonsperspektiv, samt sekvensiell koordinering. Kalsaas & Bonnier (2017) argumenterer for at tradisjonelle metoder er egnet for byggeprosjekter med en relativ stor grad av forutsigbarhet, men i mindre grad for prosjekter som er mer komplekse og uforutsigbare. Funn fra datainnsamlingen indikerer at bruk av tradisjonelle metoder er en for enkel tilnærming til styring av et så stort og komplekst byggeprosjekt som dette. Metodikken som hovedsakelig er lagt til grunn for prosjekteringsledelsen baserer seg på at man er i det enkle-domenet i Cynefin-rammeverket, og er kun rigget for å håndtere tame problems. Dette står i motsetning til prosjektets kompleksitet, og den anvendte metodikken syntes ikke å fange opp håndteringen av alle de resiproke avhengighetene som fremkom fra datagrunnlaget. Det å planlegge detaljert i fremdriftsplanen opp til lenger enn 6 måneder fram i tid har i tillegg vist seg som en utfordrende faktor for å følge planen, da denne ble beskrevet som dynamisk ut ifra prioriteringer hos prosjekteringsgruppen. Kvantitativ data i Figur 16 viser en uenighet blant prosjekteringsgruppen rundt påstanden om prosjekteringsprosessen var optimalt organisert for verdiskapning og flyt.



Figur 16: Svar på spørsmål vedrørende organisering av prosjekteringsprosessen

Flere utfordringer i prosjekteringsprosessen kunne mulig vært løst ved alternativ metodikk. Blant annet kunne bruk av Last Planner som planleggingsmetode bidratt til en bedre håndtering av resiproke avhengigheter og en mer realistisk fremdriftsplan ved å planlegge mer detaljert jo nærmere man kommer utførelse, jamfør Ballard (2000). En informant som var delaktig i prosjektstyringen av fellesbygget understrekte nytteverdien av Last Planner med utsagnet: *“Denne metoden gjorde det enklere for prosjektstyringen å ha innblikk i prosjektets behov og hvordan de skal planlegge møtene, ressursbehovet, bruk av BIM-koordinatorer etc. I tillegg ble det lettere fanget opp uklare saker, og saker som har lett for å falle utenfor.”* Samme informant fortsatte med å påpeke at det kunne vært suksessfullt å benytte et Last Planner system som planleggingsmetode for hele Campus-Ås prosjektet, og ikke kun for fellesbygget.

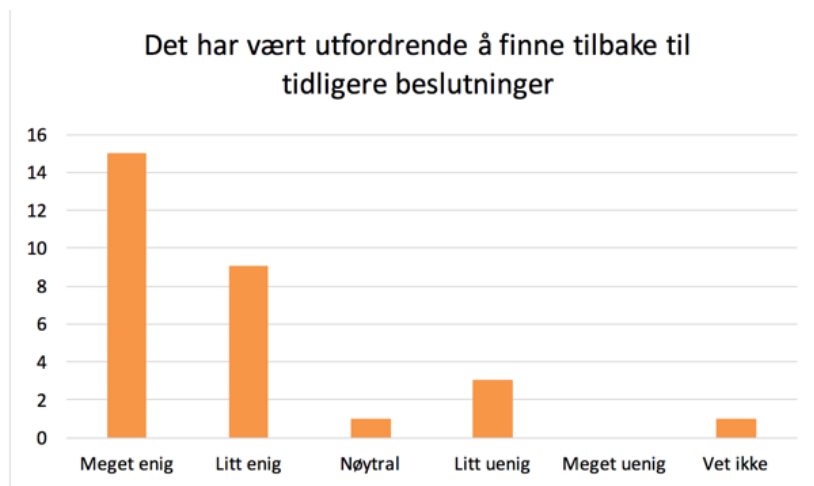
Forskning viser derimot at Last Planner ikke egner seg som et alenestående system for prosjekteringsledelse (Bonnier et al., 2015; Hamzeh et al., 2009). Kalsaas (2019) understreker at det trengs noe mer på struktursiden, og argumenterer for å kombinere Last Planner med en struktur for styring basert på Scrum. Et Scrum-basert styringssystem kunne bidratt til å bryte ned komplekse utfordringer og arbeidsoppgaver i mindre arbeidspakker med leveransedato på to uker til én måned for å sikre fremdrift og heve identifisering av problemer, jamfør Demir & Theis (2016) og Kalsaas (2019). Scrum ser til lærings- og modningsprosessen som oppstår jo mer man lærer om problemet, og anser det som waste å definere prosjektets scope langt fram

i tid. Denne prosessen kan sees i sammenheng med Kolbs (1984) læringssirkel, hvor Kalsaas (2017b) visualiserer dette i form av en løk, der løkens lag representerer kunnskap; desto fler av lagene til løken som blir skrelt, desto mer trenges det inn i et dypere kunnskapsområde, og dermed kan det planlegges mer detaljert.

Videre var prosjekteringsperioden kjennetegnet av et tidspress for leveranser. En informant understrekte dette ved utsagnet: *“Det rare etter 8.5 år er at vi hver eneste dag har hatt dårlig tid. Vi må bare forte oss å bli ferdig, for det er så korte frister hele tiden.”* Dersom leveranser ikke var ferdig i tide kunne det medføre store forsinkelser på byggeplass og derav mulige erstatningskrav rettet mot prosjekteringsgruppen. Fremdriften på byggeplass ble derfor hovedfokus, og en informant påpekte at leveransene som regel ble levert tidsnok med unntak av avtalte avveininger. Videre var arbeidet med ferdigstilling av det siste bygget, bygg 155, tidsbegrenset ettersom det var brukt mer tid enn planlagt på de foregående byggene. En informant hevdet at: *“En stund var vi i tre faser samtidig – både funksjon, forprosjekt og detaljprosjekt (...) Det var det som måtte til for å sikre fremdriften med den rådigheten av tid vi hadde.”* Prosjekteringsgruppen jobbet mye overtid i fire måneder for å ferdigstille detaljprosjekteringen av dette bygget til den overordnede fristen, men informanten påpekte derimot at det ikke var god nok tid til å få fram de modne løsningene som ønsket.

I forhold til beslutninger og aksjonslister har det hovedsakelig vært benyttet tradisjonelle måter å gjøre ting på. Beslutninger tatt både internt i prosjekteringsgruppen, og mellom prosjekteringsgruppen og byggherre, ble hovedsakelig loggført i møtereferater. Funn indikerer at dette gjorde det vanskelig å finne tilbake til tidligere beslutninger, noe som understøttes av kvantitativ data i Figur 17. Det var en generell enighet blant informantene om at beslutninger burde vært håndtert annerledes, hvorav prosjekteringslederen påpekte at det burde vært lagret i en database. En informant fra arkitektdisiplinen understrekte i tillegg at: *“Vi kan ikke fortsette å jobbe ut ifra møtereferater, for vi kan ikke gå igjennom tusen referater. Alle valg som gjøres må implementeres i en database.”* I forbindelse med aksjonslister for oppfølging av saker har dette hovedsakelig blitt loggført i regneark. Elektrodisiplinen har derimot, etter eget initiativ, laget aksjonslister i en database. En informant fra elektrodisiplinen understrekte at: *“Det å jobbe med mange forskjellige regneark, med forskjellige formater og med et ukjent*

antall kolonner og rader, er ikke en måte å håndtere data på i et stort prosjekt. Tilbakemeldingene er ganske klare på at det er fornuftig å jobbe på den måten vi har gjort, med databaser.”

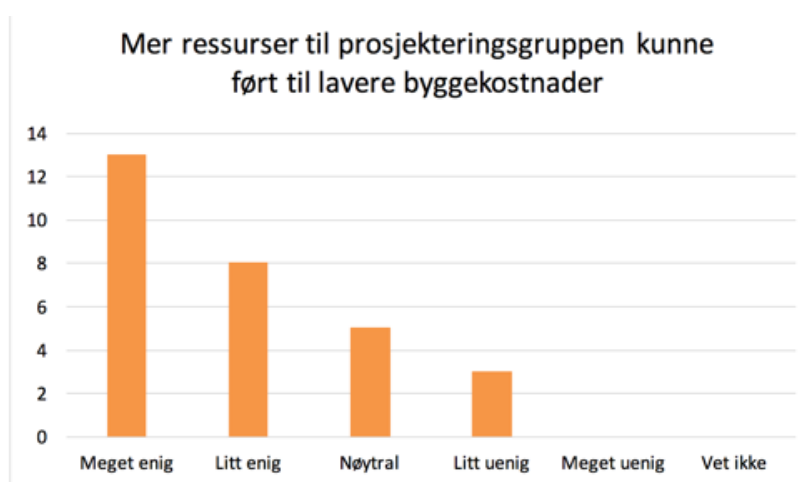


Figur 17: Svar på spørsmål vedrørende beslutninger i prosjektet

Innhentet data indikerer at kostnader på kort sikt ofte ble prioritert, noe som har vist seg å gi høyere total kostnader enn nødvendig i retrospekt. Et eksempel kommer fra en informant fra arkitektene: *“Når det prosjekteres løsninger, er det mange som tenker at det må være det billigste der og da, at det skal gå minst stål i en ståldrager for eksempel. Ettersom at det ikke trengs like mye stål i alle rommene, tegner de i flere forskjellige dimensjoner og utarbeider flere ulike løsninger. Dersom det isteden hadde blitt valgt én løsning, hadde det gått flere hundretusen ekstra i stål, men vi hadde spart mange hundre timer i prosjektering.”* Likedan, ble det i forbindelse med prosjektering av laboratoriene, påpekt av en informant at det på forhånd burde vært gjennomført en generell beregning på hvilken radiator som skulle vært i alle rommene, istedenfor å beregne hvert eneste rom og ende opp med 50-60 ulike radiatorer. Informanten hevdet at den utvalgte radiatoren mest sannsynlig hadde blitt dyrere, men at de kostnadene ikke hadde spilt en rolle i forhold til kostnadene av beregning og prosjektering.

Et annet eksempel knyttes til den innledende fasen av prosjektet med innboringer i fundamentet. Det viste seg at dersom det hadde blitt brukt mer ressurser på å kartlegge grunnen godt nok, er det sannsynlig at ressurser kunne vært spart ved å slippe å gjøre ting om igjen. En

informant fra byggdisiplinen påpekte at: *“Hadde det blitt boret 10 ganger så mange punkter i grunnen ville det kanskje kostet 10 ganger mer, men da hadde vi sluppet å revidere fundamenttegningene 20 ganger. Dermed kunne fremdriften på byggeplass blitt opprettholdt, og de utgiftene som gikk til revidering og prosjektering som konsekvens kunne vært bespart.”* I sammenheng, viser kvantitative funn i Figur 18 at prosjekteringsgruppen uttrykker en enighet om at mer ressurser til prosjekteringsledelsen kunne ført til lavere byggekostnader.



Figur 18: Svar på spørsmål om mer ressurser til prosjekteringsgruppen kunne ført til lavere byggekostnader

6.2 Flyt

Kompleksitet

Det ble påpekt av prosjekteringslederen at: *“Dette prosjektet er et av de mest komplekse byggeprosjektene i Norge noensinne (...) Svært få av de 2466 rommene er like, og veldig mange rom finnes det kun 1-5 av.”* Kvantitativ data i Figur 19 viser at dette er det mest kompliserte byggeprosjektet store deler av prosjekteringsgruppen har arbeidet på. Flere påpekte at prosjektet har vært mer komplekst enn først antatt, og både informanter fra prosjekteringsledelsen og byggherreorganisasjonen uttrykte at mengden arbeid som krevdes for dette prosjektet var undervurdert ved prosjektoppstart. Dette understøttes av utsagnet: *“En del av det vi forutsatte i begynnelsen, både i forhold til fremdrift og budsjett etc., viste det seg at vi var litt for optimistiske med.”* Prosjektet har i liten grad kunne hentet løsninger fra tidligere

prosjekter, da det, spesielt nasjonalt, kun er sykehus som kan sammenlignes.



Figur 19: Svar på spørsmål vedrørende kompleksiteten av prosjektet

Det ble stilt ekstreme krav til smittevern i prosjektet, og smittevern var derfor vedlagt som kanskje den mest styrende premissen og designdriveren. Det er helt nødvendig med et tilstrekkelig og robust nivå av kontroll og kvalitet for å isolere spredningen av det som skjer i lokale rom, mellom de ulike rommene i byggene, mellom de ulike institusjonene på NMBU og mellom omgivelser rundt. En informant fra prosjekteringsledelsen understrekte dette med utsagnet: *“Det å håndtere smittevernskravene og vite at vi har kontroll på en smittesituasjon har vært styrende for hele prosjektet.”* Smittevernet stiller strenge krav til blant annet tetthet, under- og overtrykk og fysiske gjennomføringer gjennom vegger, gulv og tak. For å ivareta spesialkravene til smittevern har prosjekteringsgruppen hatt et eget valideringsteam. I tillegg ble det gjennomført en uavhengig tredjepartsverifikasjon av prosjektets smittekonsept. Flere informanter hevdet at det har vært utfordrende å opprettholde det strenge kravet til smittevern, men en informant fra prosjekteringsledelsen påpekte at: *“Prosjektets smittevernskonsept har til slutt blitt bra og robust.”* Dette har derav også styrket kunde verdien.

Prosjektet har totalt 80 ulike ventilasjonsanlegg, og flere informanter påpekte at kravene til VVS installasjonene har komplisert prosjekteringsprosessen. Funn indikerer at det var utfordrende å skaffe tilstrekkelig personell som hadde erfaring fra tilsvarende installasjoner og som kunne modellere godt nok i forhold til de teknisk kompliserte oppgavene som ble presen-

tert. En respondent på spørreundersøkelsen fortalte gjennom en valgfri kommentar-boks at: ”*Faglige ressurser har vært fraværende.*” I tilfeller hvor fremdriften av prosjekteringsprosessen hang etter ble det oppbemannet i de aktuelle disiplinene. VVS ble kraftig oppbemannet i 2015, og på et tidspunkt var seks ulike VVS-bedrifter inne og arbeidet med design samtidig. Dette medførte at fremdriften ble opprettholdt, men det gikk derimot utover kontinuiteten mellom løsninger. Flere informanter fra prosjekteringsgruppen understreket at størrelsen og kompleksiteten på prosjektet, med det pressede tidsaspektet, gjorde det utfordrende å samspille løsninger. En informant fra VVS påpekte at: ”*Vi har hatt så mange milepæler vi skal levere, for eksempel både i januar 2016, mars 2016, juni 2016 (...) Vi fikk aldri tid til å reflektere, gå tilbake og se om det vi har modellert eller prosjektert i de ulike byggene henger sammen.*” Eksempelvis hadde VVS tre lab-enheter med hvert sitt ventilasjonsanlegg på taket, hvor det var ulike ansvarlige for hver lab-enhet, noe som medførte tre ulike VVS-løsninger. En representant fra arkitektene poengterte at: ”*Alle har løst det litt forskjellig på de forskjellige stedene. Noen burde gå foran og si sånn er det, som en rammebetingelse (...) Å tegne prinsipielt har vi ikke vært flinke nok på. Alle tenker på sitt.*” Dette viser at koordinering gjennom grad av standardisering mulig har feilet.

Likedan, indikerer funn at det i større grad burde vært tydeligere beskrevet og standardisert kjøreregler og designkrav fra starten av, og at disse burde vært lagret i en designhåndbok. Utsagn som: ”*Struktur og generalitet burde vært planlagt lenge før på et slikt stort prosjekt*”, ”*På forhånd burde det vært laget flere eksempler på hvordan ting skal gjøres og utarbeidet prototyper for hvordan de prosjekterende skal jobbe. I tillegg burde standarddetaljer og standardavgjørelser blitt nedfelt*” og ”*Det burde vært spesifisert og predefinert hvilke produkter som skal bli brukt og hvordan de ulike føringene skal ligge i forhold til hverandre for de ulike type rommene, for å sikre at alle vet nøyaktig hvordan det skal gjøres på prosjektet og at ting blir gjort likt. Når en gruppe løser en problemstilling som en annen gruppe kunne hatt nytte av, burde løsningen blitt tegnet ut, arkivert og gjort tilgjengelig for andre*”, understøtter dette. En informant fra arkitektdisiplinen understrekte videre at: ”*Jeg tror det kunne vært unngått veldig mye frustrasjon av de som prosjekterer, om man hadde hatt en fasit. Det er så rart å se i ettertid, at det hadde hjulpet oss veldig mye nå, om vi bare hadde brukt én dag i måneden på å oppdatere en designhåndbok.*” I forbindelse med å vurdere ulike

designløsninger ved prosjektoppstart, kunne Choosing by Advantages blitt benyttet, jamfør Arroyo et al. (2016).

Analyse av datainnsamling indikerer videre at valg av entreprisestrategi har komplisert prosjekteringen. Informanter hevdet at: *“Det er en utfordrende entreprisemodell på et så stort prosjekt. Et så stort antall sideentrepriser har også gitt utfordrende grensesnitt i prosjektering av løsning mellom entreprisene (...) I tillegg gir det entreprenørene mulighet til å skyldre på hverandre”* og *“Det ble en mer komplisert entreprisestruktur enn PG hadde foreslått. Det var sånn byggherre ønsket å gjøre det, og det er deres rett. De har gått mer sin egen vei på det punktet og gjort det mer komplisert enn det som var nødvendig, og det har blitt flere aktører, flere grensesnitt, og mer krevende å holde styr på.”* Kvantitativ data i Figur 20 viser at informantene mener det store antallet entrepriser bidro til å høyne kompleksitet og ressursbruk i prosjektet. I tillegg ble det påpekt som en utfordring at de prosjekterende ikke var vant til å jobbe på den måten som kreves under utførelsesentrepriser: *“Mye av bygg- og anleggsindustrien foregår med totalentreprise. Det var umulig her, for entreprenørene hadde null sjans til å skjønne alle funksjonskrav. Jeg tror det er valgt riktig entreprisemodell, men veldig mange av de som jobber her har aldri jobbet på denne måten. De har jobbet så mye i totalentreprise at de ikke har skjønt at hvis du skal ha en skrue på veggen, må du beskrive den skruen. Entreprenøren gjør ikke noe hvis det ikke er på tegning. Det tok veldig lang tid før man klarte å få den forståelsen inn til alle som jobber. Mange fikk den aldri.”* Dette forsterker også behovet for en designhåndbok med kjøreregler og designkrav for prosjekteringen.

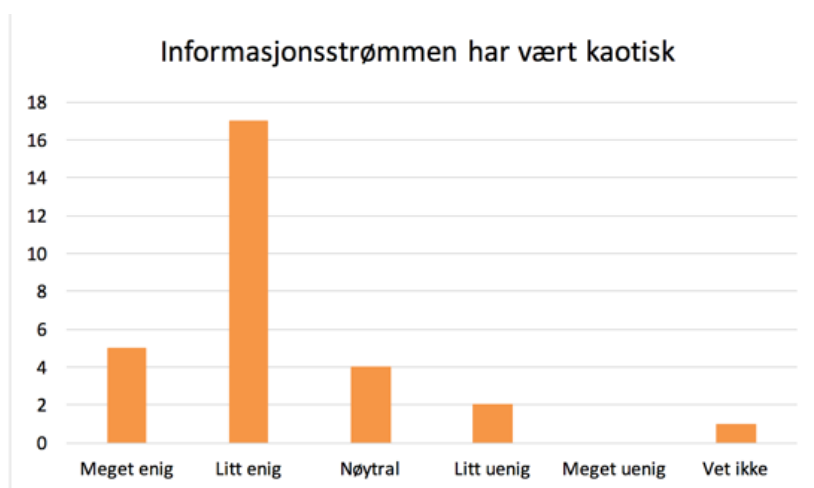


Figur 20: Svar på spørsmål vedrørende det store antallet entrepriser i prosjektet

Resiproke avhengigheter og koordinering

Funn indikerer at det har vært utfordrende å håndtere informasjonsstrømmen i prosjektet på bakgrunn av størrelsen til prosjektet og størrelsen på prosjektorganisasjonen. Dette understøttes ved utsagn som: *“Et så stort prosjekt har alltid problemer med at nødvendig informasjon skal komme til rett person til rett tid”*, og *“Vi har vært 120 fulltidsarbeidende i prosjekteringsorganisasjonen på topp, så det er jo klart at den virkelige utfordringen er informasjonsstrømmen ifra oss som beslutningstakere, øverst i prosjekteringsledelsen og hos byggherre og ned til den enkelte medarbeider i prosjekteringsgruppen som skal utføre jobben og omsette valg og beslutninger i gode tekniske løsninger.”* Informasjonsflyten på kryss av disipliner og grensesnitt har, av flere informanter, blitt beskrevet som *“utfordrende og kaotisk”*. Kvantitative funn i Figur 21 understøtter også dette. På spørsmål til en informant fra elektro, om det har vært god nok informasjonsflyt opp mot en milepæl, svarte informanten: *“Nei. Det er en tilbakevendende utfordring at man sitter å jobber på hver sin tue og tror at andre vet hva de gjør. Det burde ikke være en hard nøtt å knekke men i vårt prosjekt har det vært en utfordring. Folk har mye å gjøre i hverdagen, og særlig når vi kommer mot utsendelser, og det nærmer seg en milepæl, da setter folk på skylapper og jobber på.”* Bruk av Last Planner kunne forbedret informasjonsflyten i prosjektet og gjort det enklere for gruppen å videreformidle behov og avklaringer underveis. Det ble også påpekt at informasjon kunne flyte i mange kanaler, hvor utsagn som: *“På grunn av at vi har så mange midler å kommunisere*

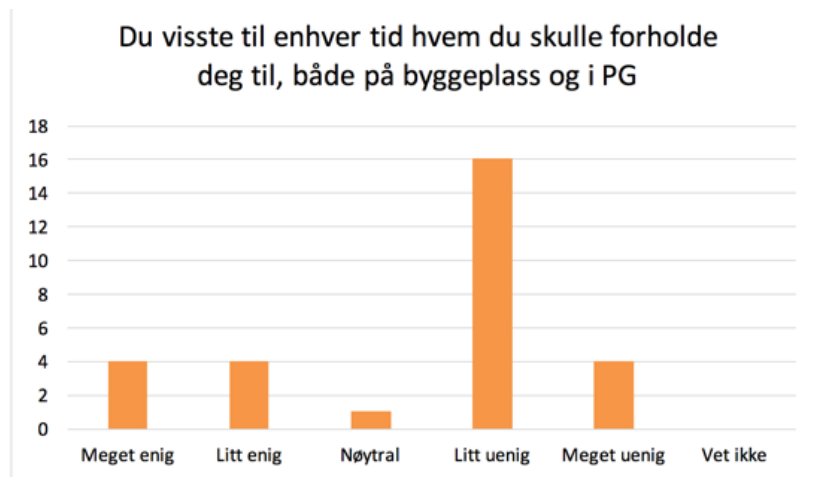
på, så kan kommunikasjon være et problem” og “Informasjon kan lett flyte i veldig mange kanaler”, understrekte dette.



Figur 21: Svar på spørsmål vedrørende informasjonsstrømmen i prosjektet

Datainnsamlingen indikerer i tillegg at det kunne være utfordrende å vite hvem de skulle forholde seg til, både i prosjekteringsgruppen og på byggeplass. Kvantitativ data i Figur 22 understøtter dette. Herunder påpekte informanter at problemet var størst under oppfølgende prosjektering. Dette kan til dels ligge i grunn av utfordringen ved å organisere etter fremdriftsfronter, hvor det potensielt medførte at det ble bygget opp siloer rundt frontene. Det var flere tilfeller hvor samme problemstilling kom opp i flere fronter, og ble behandlet av ulike personer. Et eksempel kan knyttes til montasje av tilluftsventil i himling, hvor prosjekteringsgruppen mottok ny informasjon om type ventil som ville bli benyttet og som ville endre rekkefølgen på montasjen mellom entreprenørene. En informant fra prosjekteringsledelsen fortalte at: *“Når tilluftsventilen kom med annen utførelse enn hva som var antatt, begynte både ansvarlige for entrepris for himlinger, ansvarlige for ventilasjon, byggelederne i det området og prosjektlederne for entreprisene å løse dette problemet samtidig. Alle gikk til forskjellige mennesker i prosjekteringsorganisasjonen, og i løpet av halvannen dag jobbet ca. 40 personer i organisasjonen med denne problemstillingen.”* Dette tyder mulig på at det ikke har vært god nok koordinering i forhold til problemløsning, noe som skapte waste i form av feillokalisering av ressursfokus. I tillegg kan dette knyttes opp mot Cynefin-rammeverket ved

at situasjoner som regnes som enkle eller kompliserte fort kan havne i komplekst eller kaosdomenet.



Figur 22: Svar på spørsmål om involverte aktører var klar over hvem de skulle forholde seg til, både i PG og på byggeplass

En faktor som derimot ser ut til å ha styrket koordinering er samlokalisering av prosjekteringsgruppen. Dette er trukket fram som et av prosjektets største suksessfaktorer, og mange av informantene hevdet at et så stort og komplekst prosjekt ikke ville vært mulig å gjennomføre uten samlokalisering. En informant fra prosjekteringsledelsen påpekte at: *“Det er en stor fordel og helt essensielt at PG sitter samlokalisert, og dette prosjektet hadde vært utrolig mye mer krevende og nesten umulig å fått til hvis vi ikke hadde sittet samlet. At vi sitter så tett gjør det hele mulig.”* Disiplinleder fra arkitektene understrekte det samme med utsagnet: *“Hadde vi ikke samlokalisert så hadde ikke dette gått. Det hadde vært helt umulig hvis vi ikke hadde sittet sammen med ingeniørene.”* Selv om flere stilte seg svært positiv til samlokalisering, ble det ytret at de kunne utnyttet det enda mer: *“Vi kunne vært enda flinkere til å utnytte det å sitte samlokalisert fullt ut. Det å få folk til å kommunisere og prate, det er veldig individuelt og noen gjør det lettere enn andre. Jeg tror vi kunne hatt enda mer å hente der. Det er ikke alle her som har jobbet på så store prosjekter før, og sittet samlokalisert som dette, så det er en liten øvelse i seg selv.”* Videre var det enighet i prosjekteringsgruppen om at samlokalisering ut til byggeplassen burde vært gjort tidligst mulig, og gjerne samtidig med

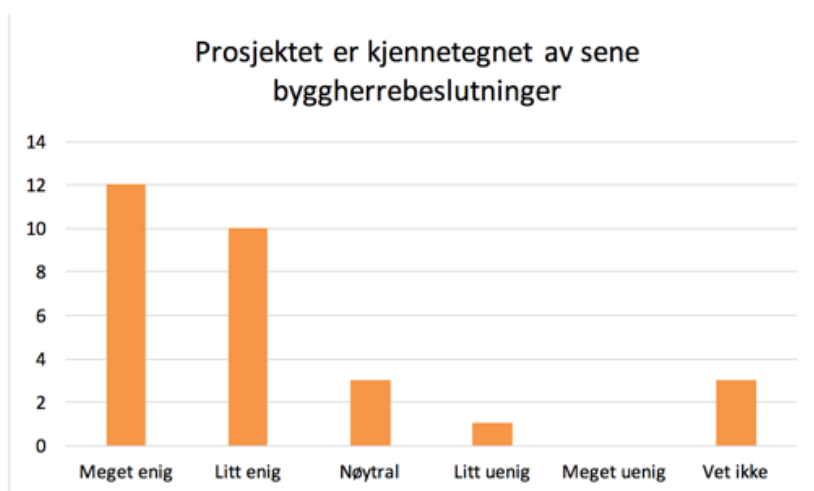
byggherre i 2016. Følgende utsagn understøtter dette: *“Vi flyttet PG for sent ut til byggeplass. Det skulle ha vært gjort ett til to år tidligere. Vi burde sattet sammen med byggherre hele tiden slik at vi kunne håndtert ting rett over bordet. Det har det ikke vært i tilstrekkelig grad.”* En informant fra prosjekteringsledelsen påpekte at utflytting av prosjekteringsgruppen til byggeplassen ikke ble gjort tidligere på bakgrunn av kostnadsaspektet. På oppfølgende spørsmål om informanten tror det har medført større kostnader totalt ved å vente, svarte personen: *“Ja. Jeg tror ikke de har spart penger.”*

Videre har samlokalisering av de prosjekterende tidvis muliggjort Integrated Concurrent Engineering, som ifølge Kunz & Fischer (2009) er en effektiv måte å håndtere resiproke avhengigheter på. ICE-møter ble startet opp et halvt år før anbud. Funn fra intervjurundene indikerer at initiativet med ICE-møter var suksessfullt, og at møtene bidro til å effektivisere prosjekteringsarbeidet og løse kollisjoner i modellen på en raskere måte. I tillegg ble det påpekt som en god arena for kommunikasjons- og informasjonsutveksling. Kvantitativ data i Figur 23 viser at ICE-møtene bidro til økt produktivitet i prosjektet. Det kan derfor argumenteres for at det kunne vært mer effektivt for prosjekteringsprosessen å gjennomføre ICE-møter fra oppstart detaljprosjekt. Årsaken til en relativt høy andel besvarelse på alternativet ”vet ikke” kan skyldes at de respektive ikke har vært involvert i ICE-møtene da kun relevante aktører for agendaen var tilstede.



Figur 23: Svar på spørsmål vedrørende ICE-møtene i prosjektet

I forbindelse med beslutningstaking i prosjektet indikerer funn at det kunne være utfordrende å få involverte aktører til å ta tverrfaglige beslutninger, og at beslutningsprosesser ofte pågikk lenger enn nødvendig. En informant fra arkitektene påpekte at: *“Vi burde presset mer på tidlige og riktige beslutninger.”* Dette gjaldt også byggherrebeslutninger, noe som støttes av utsagnet: *“En del av byggherrebeslutningene har nok vært ganske sene.”* Kvantitativ data i Figur 24 understøtter dette.



Figur 24: Svar på spørsmål vedrørende byggherrebeslutninger i prosjektet

I oppfølgende prosjektering var det to elementer som gikk igjen som årsak for negative interaksjoner: hullboringer og det over himling. I forbindelse med hullboringer var det enten feilplasserte hull, manglende hull, manglende utsparinger eller utsparinger som ikke skulle være der. Utfordringene kan blant annet knyttes til at råbygget ble bygget før de tekniske disiplinene hadde sendt ut innredningen på anbud. En informant påpekte at: *“Denne råbyggsentreprisen gikk ut tidlig, hvor det ble tatt ganske mye hull basert på det vi hadde av løsninger. Men på grunn av dårlig plass eller bedre løsninger har det oppstått endringer. Vi har da fått en del kollisjoner, og må legge om installasjoner som igjen har gitt behov for ny hulltagning. Hvis vi hadde ventet med å sende ut råbyggsentreprisen til det tekniske var ferdig, hadde vi unngått mye av problemene med hullboringer. Byggherre hadde en ambisjon om å vinne en del på byggetid, men det er jeg usikker på om de har gjort. Ferdigstillelse ble jo utsatt et år, så jeg tror kanskje de har tapt den gevinsten.”* I forbindelse med dette fortalte en av BIM-

koordinatorene: *“Et typisk problem har vært at hull og utsparinger i prosjektet ble tatt på et tidlig tidspunkt uten at videre detaljprosjektering av tekniske fag har vært involvert, eller hatt en modenhet. Dette gjør at det tas utsparinger med mye høyere usikkerhet. Dette har medført avvik som har gått ut over senere konstruksjonsarbeid, noe som påvirker fremdrift i tillegg til at det kommer flere hulboringer og gjenstøpninger. For å få det til på en annen måte, tror jeg det kunne være lurt å involvere tekniske fag på et tidligere tidspunkt.”*

Likedan, var himlingen en typisk utfordring. Det ble tidlig besluttet at arkitektene skulle tegne ut hvor alt teknisk utstyr skulle plasseres i himlingsplatene, slik at himlingsplatene kunne pre-fabrikeres på forhånd. Det oppstod derimot endringer underveis, og himlingplatene måtte derfor korrigeres på byggeplassen, noe som medførte iterativt ekstraarbeid. En informant fra prosjekteringsledelsen påpekte at: *“Platene må uansett pre-fabrikeres, men det kunne vært gunstigere å ta hullene på plassen.”* En informant fra prosjekteringsledelsen understrekte følgende om pre-fabrikasjon for en stadig digitaliserende byggebransje: *“Når du jobber med BIM og 100% geometri kan du jobbe med pre-fabrikering på en helt annen måte, og det krever et mye høyere presisjonsnivå enn hva bransjen er vant med i dag. Hvis man skal lykkes med pre-fab må man ha en kultur for å være veldig regelbasert, og det har ikke norske ingeniører. Norske ingeniører er vant til at ”dette fikser entreprenøren”. Her er det en betydelig bransjeutvikling som må skje med overgangen til BIM.”*

I forbindelse med leverandørprosjektering, påpekte en av prosjektets BIM-koordinatorer at leverandørene kunne sende prosjekteringsgruppen forskjellige filformater, krevende filstørrelser, feilroteringer og altfor detaljrike filer. I noen tilfeller har prosjekteringsgruppen måttet modellert opp hele systemet på nytt i sin egen modell, og fått leverandør til å godkjenne i etterkant. Dette er unødvendige iterasjoner, og informanter hevdet at slike krav burde vært standardisert og formulert til leverandørene i forkant. Videre hadde prosjektet nærmere 50 BIM-modeller. En utfordring var at noen av modellene ble ekstremt store og tunge, noe som sinket effektiviteten i arbeidsprosessen og førte til mye sløsing i form av ventetid. Det ble anslått at ca. 10-20% av arbeidstiden til de prosjekterende gikk til venting i modelleringsprogrammet Revit, da det kunne ta opp til 10 minutter å åpne en tegning, og opp til 45 minutter å synkronisere modellen på slutten av arbeidsdagen. Et tiltak som potensielt kunne forminsket ventetiden kommer fra

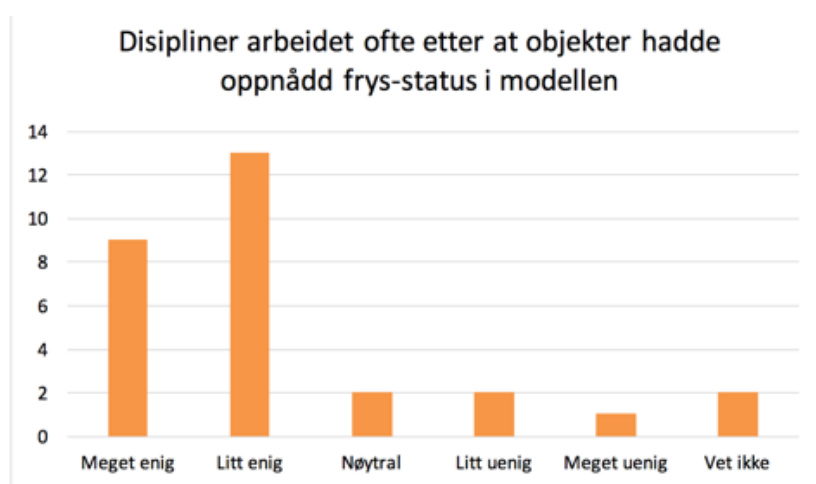
en av prosjektets BIM-koordinatorer: *“I ettertid ser vi at vi helt klart skulle ha splittet BIM-modellen opp i flere filer. Eksempelvis har RIV en modell per bygg, men hver modell skulle vi også hatt delt inn i rør, ventilasjon og sprinkler.”*

Gradvis modning

Det har vært indikatorer fra informantene om at det har vært utfordrende å handtere gradvis modning i prosjekteringen. Innledningsvis, i prosjektgjennomføringsmodellen, var det beskrevet en prosedyre for hvordan objekter skulle modnes i ulike faser. Overordnet var det først arkitektfrys, deretter frys for øvrige fag, og deretter tverrfaglig kontroll. En informant fra prosjekteringsledelsen fortalte at: *“Når vi la opp dette, var min intensjon at arkitekten skulle ligge 2 mnd. foran de andre disiplinene i modenhet, så skulle VVS ligge i midten og elektro til slutt. Ideelt sett vil det vært den beste metoden å gjøre det på. Det som har vært utfordringen her er at vi har hatt så knappe tidsrammer at vi har vært nødt å gå en del i parallell, og vi har hatt samme milepæl for alle disiplinene selv om det ikke har vært hensiktsmessig.”* Når et av fagene da hang etter, påvirket det alle fagene. Eksempelvis klarte ikke VVS å ferdigstille enkeltaktiviteter tidsnok i periodene de var underbemannet. Dette medførte at tekniske beslutninger ikke ble tatt til nødvendig tidspunkt hvorav elektro fikk avklaringene sine for sent. En informant hevdet at: *“Elektro har da kjørt videre basert på forutsetninger som i noen tilfeller har vist seg å ikke holde stikk, og da må de gå tilbake. Det er klart at dette er veldig kostbart, både for byggherren og for oss, og det skaper en del støy i organisasjonen.”* Som et resultat av et press for å følge fremdriftsplanen, arbeidet elektro videre uten at alle forutsetninger for oppgaven var på plass. Dette kan beskrives som making-do, som ifølge Koskela (2000) er en av de største wastedriverne i byggeprosjekter. I tillegg til sløsing av tid, medførte dette utakt i prosjekteringen og påvirket flyten i prosjekteringsarbeidet.

Det viste seg også å være en stor utfordring å få alle i prosjekteringsgruppen til å forholde seg til frys-status av objekter i modellen. Utsagnet fra en informant fra prosjekteringsledelsen understøtter dette: *“Vi hadde en nøye gjennomgang av hvordan prosedyren skulle være. Alle var for så vidt enige i det, men det var allikevel alltid en utfordring å få til den frysingen fullt og helt ut. Det var spesielt vanskelig i en så stor organisasjon.”* Informanten påpekte videre at

enkelte fag ofte arbeidet på ting med tverrfaglig konsekvens etter at objekter hadde oppnådd frys-status i modellen, hvor dette medførte mye omprosjektering. Kvantitativ data i Figur 25 understøtter dette. I et spørsmål til en informant fra arkitektene om de ofte arbeidet etter frys, svares det: *“Ja, stort sett alltid. Man er aldri helt fornøyd.”* Videre påpekte en informant fra prosjekteringsledelsen at: *“Ingeniører har en innboende frykt for at ting aldri er godt nok. De skal alltid jobbe litt til. Det er en utfordring å lede ingeniører.”* Dette kan sees i sammenheng med at prosjekteringsprosessen karakteriseres som et wicked problem, der det alltid finnes en bedre løsning.

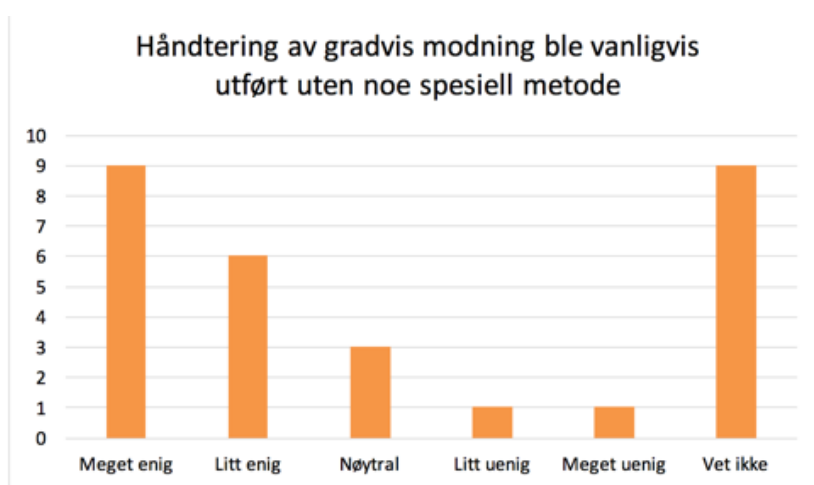


Figur 25: Svar på spørsmål om disipliner arbeidet etter at objekter hadde oppnådd frys-status i modellen

Et verktøy som var tatt inn i prosjektet for å håndtere gradvis modning var statussetting i BIM-modellen. Dette er en metode for å måle modenhet av BIM-modellen, hvor de ulike objektene i modellen kan statussettes til ulike modenhetsnivåer. Verktøyet ble derimot kun benyttet delvis av noen få disipliner. Dersom verktøyet hadde blitt benyttet tilstrekkelig kunne prosjekteringsledelsen til enhver tid målt modellens modenhet og fått dokumentasjon på antall objekter som ikke hadde nådd forventet modenhetsnivå. VVS er en av disiplinene som ikke benyttet seg av verktøyet, og det ble påpekt av en informant fra VVS-disiplinen at: *“Det høres ut som en god idé, men i modellene våre har VVS alene 700 000 objekter. Å drive å statussette enkelte objekter kan være tungvint med mindre man tar det i store bolker.”* Vide-

re påpekte en informant fra prosjekteringsledelsen at: *“Det man ikke har verktøy for, er om beslutningen som ligger til grunn for den modenheten som er satt, er riktig. Og det er jo det store problemet. For eksempel hvis du har misforstått brukerbehovet og lagt inn feil funksjonskrav, da hjelper det ikke noeenting at du har satt status ift. det du trodde var riktig, hvis det du trodde var riktig er feil.”*

Kvantitativ data i Figur 26 viser at håndtering av gradvis modning vanligvis ble utført uten noe spesiell metode. Grafen viser til et større antall respondenter som svarte ”vet ikke”, og grunnen kan mulig være at disse ikke vet hva spørsmålet betyr, eller at de var usikre på om det var systematiske metoder for å håndtere gradvis modning i prosjektet. På spørsmål til informanter fra prosjekteringsgruppen, om de hadde et system for håndtering av disiplinenes progresjon i forhold til hverandre, svarte flere av informantene at det var basert på ”magefølelse” og erfaring. Grep innen Level of Development kunne vært benyttet for å håndtere gradvis modning i prosjekteringen, jamfør Hooper (2015) og Grytting et al. (2017).



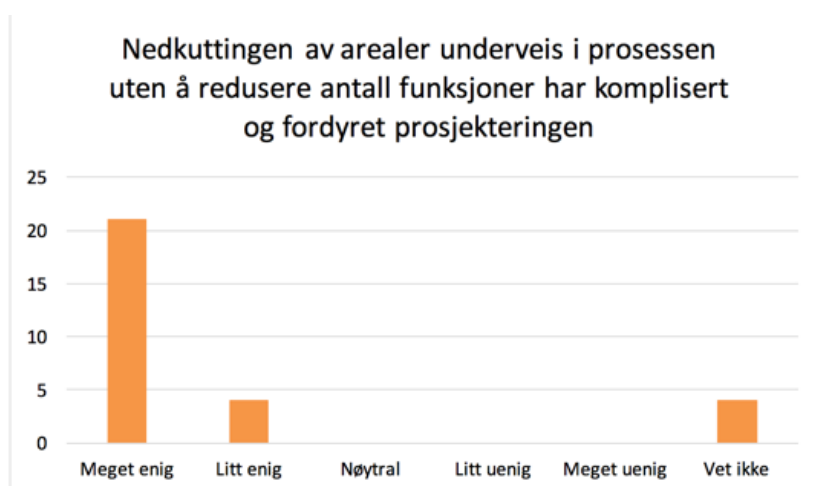
Figur 26: Svar på spørsmål vedrørende håndtering av gradvis modning i prosjektet

Byggbarhet

Det er viktig å ivareta et fokus på byggbarhet i prosjekteringen for å sikre at det er plass til objekter, at løsningene er mulige å bygge og for å sikre tilkomst i etterkant i forbindelse med vedlikehold, justeringer og utskiftninger. En informant poengterte viktigheten av byggbarhet

og fremhevede at: *“Disse bygningene står gjerne i 100 år, mens det tekniske bare fungerer i 30 år.”* Selv om prosjekteringsgruppen har hatt et stort fokus på byggbarhet, viser funn fra data-innsamlingen at det har vært utfordrende å oppnå designløsninger med god byggbarhet.

En sentral faktor som kompliserte prosjekteringen var nedkuttingen av arealer uten å redusere antall funksjoner. Dette ga konsekvenser for arealer som brukerne ikke benytter daglig. Sjakter er gjort mindre, og de tekniske rommene har blitt svært trange med mange tekniske føringer og objekter. Det skaper ekstra iterasjoner når tekniske rom og sjakter krympes i dimensjon slik at disipliner må omprosjekttere. En informant fra VVS-disiplinen fortalte at: *”Spesielt på enkelte områder blir det veldig trangt, og der har vi ikke fått til en god nok løsning fordi infrastrukturen ikke har vært god nok. Man har sikkert laget en god plan opprinnelig, men det blir krympet ned i arealer og tekniske arealer blir presset hele tiden. For eksempel sjakten som tok 4 m² må nå ta 3.5 m² pga. sikkerhetsstasjonen som skal bli plassert. Så måtte vi flytte veggen fordi den skal fores ut, og da blir det 3 m². Plutselig kommer det nye krav fra brukeren, og da må vi ha noen kjølerør eller varmerør (...) Vi har ikke noe margin til detaljprosjekteringen, og da vil prosjekteringen plutselig ta veldig lang tid når det er såpass trangt. Det har vi slitt med.”* Kvantitativ data i Figur 27 understøtter at nedkuttingen av arealer underveis i prosessen uten å redusere på antall funksjoner har komplisert og fordyret prosjekteringen. Implementering av Target Value Design i en tidlig fase kunne bidratt til at alle involverte aktører, inkludert kunden og brukerne, samarbeidet om å finne innovative løsninger for å spare byggekostnader uten å renonsere omfang, fremdrift eller kvalitet, jamfør Zimina et al. (2012).



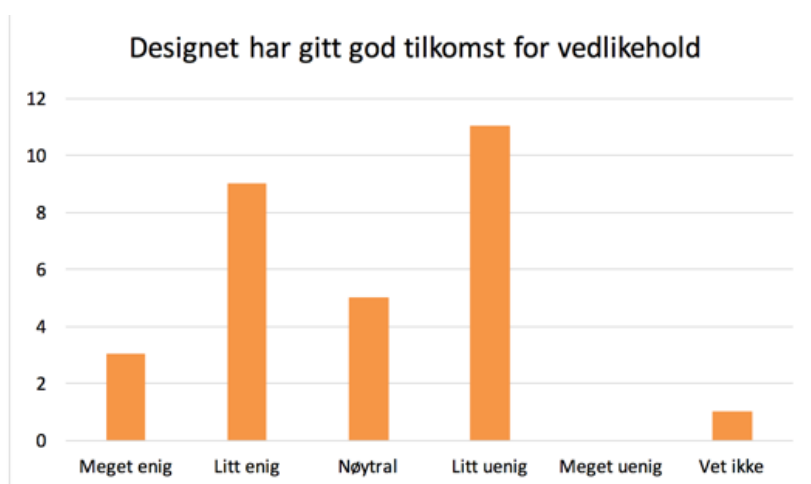
Figur 27: Svar på spørsmål vedrørende nedkutting av arealer underveis i prosessen uten å redusere antall funksjoner i prosjektet

Videre påpekte en informant fra byggeledelsen at det stadig hendte de mottok arbeidstegninger som ikke var tilstrekkelig underlag for bygging, og at prosjekteringsgruppen måtte omprosjekttere på grunn av dette. En informant fra prosjekteringsgruppen understrekte det samme, med utsagnet: *“Vi har opplevd at vi har fått tilbakemeldinger fra entreprenørene om at ting ikke har vært byggbart av det vi har tegnet ut (...) Sånn er det i de fleste prosjekter, noen ganger er det vanskelig å få ting til å være byggbart med en gang.”* I situasjoner hvor entreprenørene hevdet at designløsninger ikke var byggbare, ble det satt opp ekstra møter hvor det ble pekt ut og gjennomgått problemområder og utfordringer i modellen. Prosjekteringsgruppen gjennomførte deretter opp til flere gjennomganger av modellen for å få til en designløsning som var byggbar. Denne iterative prosessen samsvarer med Kolbs (1984) læringssirkel, og resulterte i en spiral med erfarings- og kunnskapsoverføring mot en god nok løsning. Videre ble det nevnt at fokuset på byggbarhet økte når entreprenørene ble involvert: *“Det ble et større fokus på tilrettelegging for byggbarhet når entreprenørene kom på banen. Sammen med entreprenørene har vi godt igjennom modellen og sett på problemområder og pekt ut utfordringer. Vi satt f.eks opp rekkefølge på hvert eneste rør.”* Prosessen med gjennomganger av modellen i samarbeid med entreprenører ble påpekt som nyttig og lærerikt både for entreprenørene og prosjekteringsgruppen.

En informant fra arkitektene hevdet at flere av utfordringene knyttet til byggbarhet ikke ville

oppstått dersom representanter fra byggeledelsen hadde blitt involvert på et tidligere tidspunkt i designprosessen: *“Før anbudene gikk ut burde byggelederne vært involvert 3-4 mnd. i forkant slik at de kunne ha kommet med innspill. Jeg har veldig gode erfaringer rundt det fra tidligere, og anbefalte også byggherre om det her. Det ble ikke gjort for å spare penger, men jeg tror ikke de har spart penger totalt sett.”* Bruk av Last Planner innebærer også å planlegge sammen med dem som skal utføre arbeidet, jamfør Ballard (2000), og kunne lagt til rette for tidlig entreprenørinvolvering.

Flere informanter fortalte at det var mange utfordringer knyttet til kollisjoner i BIM-modellen, og at designet gjennomgående har hatt et svært høyt antall kollisjoner, en del høyere enn hva informantene mener er vanlig. En BIM-koordinator påpekte at: *“I og med at bygget er så komplekst, har det vært såpass mange kollisjoner.”* Det over himling har vist seg å være spesielt problematisk, med mange krysninger og parallellføringer. Eksempelvis hevdet en informant fra bygg at: *“Det verste eksempelet er at det lå et lag med rør, enten vannrør eller gassrør, og sperret for all plassen over himling. Dette var en årsak av både mangel på erfaring og skylapper på ansatte med tanke på tidspress for levering.”* Gode rutiner for kollisjonskontroll resulterte i at prosjekteringsgruppen klarte å løse det meste av kollisjoner i prosjektet. Men selv om objekter ikke kolliderer ved en kollisjonskontroll, betyr det ikke nødvendigvis at det er tilstrekkelig avstand rundt objektene slik at tilkomst i ettertid vil være mulig. En informant påpekte at: *“Det har vært en utfordring i prosjektet at det er så tett, og det er ikke alt som vil ha tilstrekkelig tilkomst til i ettertid.”* Kvantitativ data i Figur 28 viser delte meninger rundt utsagnet om designet har gitt god tilkomst for vedlikehold. Dette påvirker kundeverdien av designet, og vil mest sannsynlig gi økte kostnader knyttet til drift og vedlikehold. En BIM-koordinator påpekte at flere kontroller på avstander i BIM-modellen burde vært gjennomført: *“Vi har kjørt noen kontroller på avstander, men kunne kanskje opprettet flere kontroller slik at vi er sikre på at det er mulig å bygge det slik vi har modellert det.”*



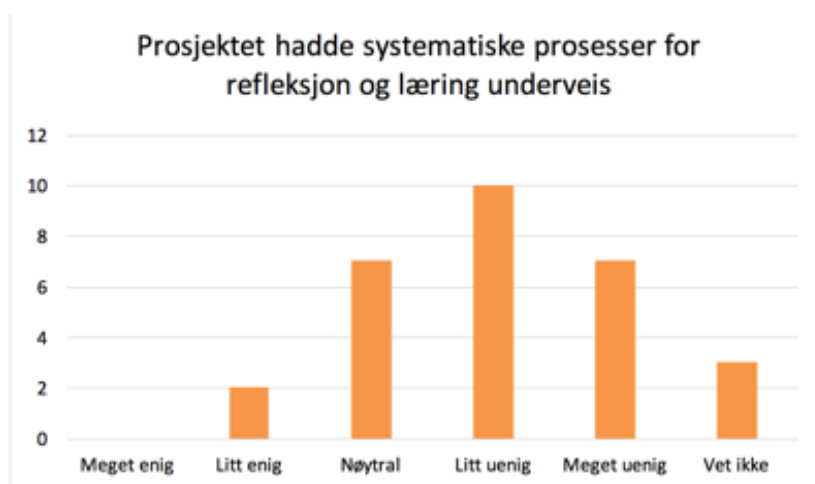
Figur 28: Svar på spørsmål om designet har gitt god tilkomst for vedlikehold

Læring

Funn indikerer at prosjektet har hatt lite systematiske prosesser for læring underveis i prosessen. På spørsmål til informanter fra prosjekteringsgruppen om de har deltatt i refleksjonsmøter, svares det: *“Det var ikke noe betydelig av det i prosjektet. Det kunne sikkert vært en idé”*, og *“Vi har ikke hatt så mye av det. Det kunne vi vært flinkere på.”* På spørsmål til disiplinleder for elektro, om det har vært et forum hvor tidligere erfaringer eller læring underveis i prosjektet har blitt delt internt, svares det: *“Vi har ikke egne forumer for det. Vi tar det opp i disiplinmøtene på elektro hvis det er noe spesielt som dukker opp. Jeg har prøvd å bruke den erfaringen jeg har fra tilsvarende prosjekter uten å få noe annet tilbake enn ”sånn kan vi ikke gjøre det”, og det er ganske frustrerende. Så går det to år før de innrømmer at de skulle ha hørt på meg allikevel.”*

Videre, på spørsmål til informanter, om prosjekteringsgruppen hadde et fokus på å evaluere underveis i prosessen svarer en informant at: *“Vi kunne sikkert vært litt flinkere til å skrive avvik når vi gjør ting feil, så vi får en bedre læring fra avvikene underveis i prosjekteringen. Her har det vært en utfordring å ikke gjøre samme feilen flere ganger.”* En annen informant hevdet at: *“Det er jo vanlig i vår verden, at vi skal finne opp hjulet hver gang. Vi er ikke så gode på evaluering.”* Kvantitativ data i Figur 29 understøtter dette. Bruk av Last Planner og et Scrum basert styringssystem kunne lagt mer til rette for god læring og kunnskapsoverføring

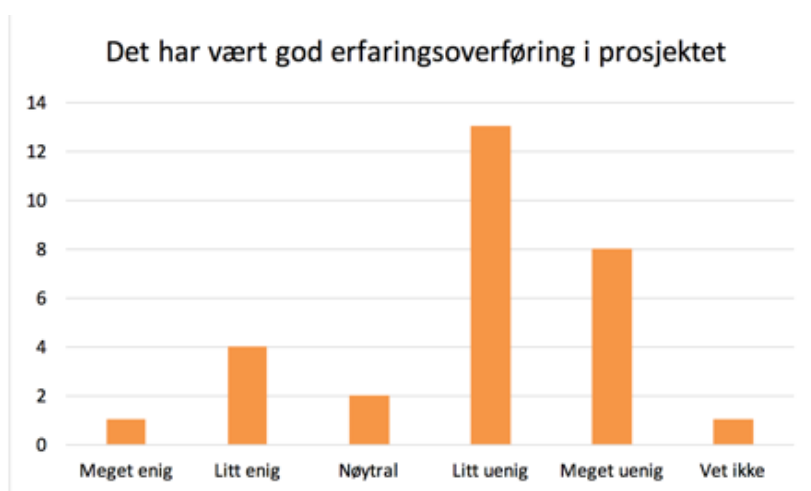
underveis i prosjekteringsprosessen, jamfør Ballard (2000), Demir & Theis (2016) og Kalsaas (2019).



Figur 29: Svar på spørsmål vedrørende systematiske prosesser for refleksjon og læring underveis i prosjektet

I tillegg, har mange prosjektmedarbeidere gått inn og ut av prosjektet i løpet av den 10-års lange prosjektperioden. Eksempelvis kom det fram at automasjonsfaget har hatt syv utskiftninger i ledelsen over en 8-års periode. Når personer forlot prosjektet, tok de også med seg verdifull taus kunnskap og erfaring. Funn indikerer at det ikke var et stort nok fokus på erfaringsoverføring i prosjekteringen. En informant fra arkitektdisiplinen understøtter dette med utsagnet: *“Mangel på kontinuitet har vært en av de største utfordringene på alle plan. Det å ta med seg erfaring glipper når noen slutter. Kunnskap forsvinner. Å få den erfaringsoverføringen på en riktig måte har ikke vært godt nok.”* Dette understøttes også av kvantitativ data i Figur 30. På en annen side, tok personer som kom inn i prosjektet med seg kunnskap og erfaring fra tidligere prosjekter. Eksempelvis kom en representant inn med spesialkompetanse innen stråleterapi, hvor personen benyttet erfaringer fra et tidligere sykehusprosjekt til å utarbeide utstys- og funksjonsnotater for diverse rom. Informanten påpekte at: *“Min kunnskap og ”magefølelse” på hvordan ting kan gjøres feil eller riktig ble overført til prosjektet.”* Personen hadde også tidligere erfaring fra brukersiden av et prosjekt, og informanten hevdet at: *“Brukerne har ofte andre behov enn hva de prosjekterende ser, og den forståelsen har jeg videreført*

til prosjekteringsgruppen.” Denne iterative prosessen kan kobles til SECI-modellen (Nonaka & Takeuchi, 1995), hvor taus-taus og taus-eksplisitt kunnskaps- og erfaringsoverføring virket til å bidra positivt for prosjekteringsprosessen og resulterte i løsninger med bedre kvalitet.



Figur 30: Svar på spørsmål vedrørende erfaringsoverføring i prosjektet

Gjennom intervjuene ble det identifisert at nye personer som kom inn i prosjektet flere år etter oppstart, ofte kunne møte utfordringer ved å få tak i nødvendig informasjon fra beslutninger tatt før ens involvering i prosjektet. En informant hevdet at: *“Mange generelle overordnede avgjørelser vi har tatt, har ikke blitt lagret i en mappestruktur på en slik måte at nye ansatte får tilgang. Det burde vært gjort, og alle nyansatte burde fått beskjed om å lese igjennom mappestrukturen for å sette seg inn i arbeidet og for å forstå kravene i prosjektet.”* På spørsmål til en informant fra prosjekteringsledelsen, som startet i prosjektet i 2015, om informasjon om valg av designløsninger fra prosjekteringen av tidligere bygg var lagret, svarte informanten: *“PG har en database som heter LiveLink. Alle kunne si at dokumentasjon ligger på LiveLink, men når du har mange tusen sider med dokumenter er det utfordrende å finne det enkelte dokumentet. Her må man basere seg på direkte kontakt, face to face interaksjoner. Du kan ikke begynne å lete, du må gå til de personer som har vært innom en lik problemstilling tidligere og spørre hvor dokumentasjon finnes. Det ble etterhvert en frase at “Det ligger på LiveLink”, og for meg som kom såpass sent inn var dette håpløst.”* Informanten måtte derav opprette egen individuell læringsarena for å finne nødvendig informasjon. Funn

viser at lignende hendelser oppstod innenfor flere av disiplinene, og at unødvendig mye av prosjekteringsgruppens tid har gått til å oppsøke informasjon. Dette er en kilde til sløsing av tid, og det har påvirket flyten i prosjekteringsarbeidet.

Det er mulig at utfordringene hadde foregått i mindre grad dersom prosjektet hadde hatt systematiske prosesser for erfaringsutveksling og erfaringsoverføring, eksempelvis gjennom implementering av Last Planner og et Scrum basert styringssystem, jamfør Ballard (2000), Demir & Theis (2016) og Kalsaas (2019). Videre kunne designhåndboken foreslått av informantene bidratt til å gjøre taus kunnskap eksplisitt i større grad. Allikevel støttes utsagnet: *“Vi lærer litt hver dag”* av flere informanter og viser til at individuell læring i organisasjonen skjer gjennom iterasjoner, noe som kan knyttes til Kolbs (1984) læringssirkel. En informant fra prosjekteringsledelsen påpekte at: *“Jeg tror alle som jobber her har lært utrolig mye, og vi har veldig mye å ta med oss til neste prosjekt.”* For å kunne bygge videre på lærdommen, og utnytte lærdommen ved senere prosjekter, er det trolig viktig at dette blir samlet, delt og gjort tilgjengelig for alle i organisasjonen. Å gjennomføre et lessons learned-seminar ved prosjektavslutning ble derimot nevnt i et intervju, noe som kan fungere som et fint tiltak i retrospekt av et så komplekst prosjekt som dette.

6.3 Verdi

Prosjektet inneholder en rekke utstyrsinstallasjoner som er direkte rettet mot brukernes utøvende arbeid og prosesser, og prosjekteringsgruppen har derfor vært avhengig av innspill fra brukerne for å forstå romfunksjoner. En informant fra prosjekteringsgruppen understrekte at: *“Dette prosjektet er et funksjonsprosjekt, hvor det er funksjonen som styrer om prosjektet er vellykket (...) Det vi bygger er verdiløst hvis brukerne og kunden ikke kan nyttiggjøres av det.”* Kundeverdi har vært søkt dekket gjennom omfattende brukerprosesser. Planene for prosjektet har blitt utarbeidet i nært samarbeid med brukerne gjennom brukerrepresentanter fra Veterinærhøgskolen, Veterinærinstituttet og NMBU. Helt siden oppstart skisseprosjekt var det jevnlig møter med brukerne for å avklare brukerbehov og brukerønsker. Selv om byggherren har hatt beslutningsrett i prosjektet, påpekte en informant at: *“Brukerne har nesten hatt enerett på å definere funksjonskravene.”*

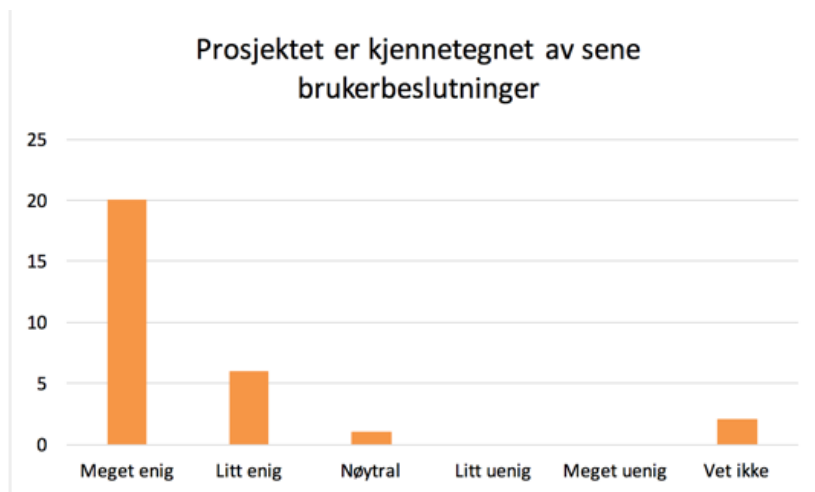
Funn indikerer at det ble brukt for lang tid på å etablere et romfunksjonsprogram, hvor dette forelå endelig fra byggherren én måned før prosjekteringsgruppen skulle sende ut anbudsgrunnlaget. En informant påpekte at: *“Den store feilen i prosjektet, er at byggherre har valgt å gå videre med detaljprosjektering uten å ha omforent et detaljert program med brukeren. Da har man ikke hatt fasiten før man startet å tegne til detaljprosjekt.”* Informanten hevdet videre at: *“Optimalt skulle dette vært ferdig før oppstart av detaljprosjektering, hvor det da skulle vært enighet om hva som faktisk skal bygges i forhold til brukerbehov slik at de prosjekterende kunne omsette det til tekniske løsninger.”* Eksempelvis fortalte en informant fra prosjekteringsgruppen under et intervju den 15. februar 2019 at prosjekteringsledelsen “nylig” hadde hatt diskusjoner med brukerne om krav til temperaturstyring. Dette ble poengtert som noe som må være programmert før detaljprosjektering, da tekniske løsninger ikke er planlagt for å kunne håndtere den type variasjoner: *“Du kan ikke begynne å diskutere om å kunne justere temperaturen opp og ned i et enkeltrom, etter at du har prosjektert og tegnet ut varme- og ventilasjonsanlegget.”* Når det ble diskutert tekniske løsninger og funksjonsbehov samtidig, oppstod det mange unødvendige iterasjoner, og prosjekteringsgruppen gjorde mange omtegninger på bakgrunn av dette. Eksempelvis ble en avdeling på 3000 m² tegnet helt ut 19 ganger, noe som genererte waste i forhold til avsatt tid til prosjektering når hver omtegning tok 2-3 uker. En informant understrekte at: *“Dette er noe av problemet med å ikke ha et godt nok skrevet romfunksjonsprogram.”*

Prosjekteringsperioden var i stor grad preget av sene beslutninger og ønsker om endringer fra brukerne, noe som både har komplisert prosjekteringen og forstyrret flyten i prosjekteringsarbeidet. I situasjoner hvor brukerne ønsket endringer, skulle dette formidles gjennom en endringsmelding til prosjekteringsgruppen. Prosjekteringsgruppen vurderte deretter økonomiske og fremdriftsmessige konsekvenser av endringen og videreformidlet dette til byggherre, som enten godkjente eller ikke godkjente endringen. Funn indikerer at brukerne tidvis ikke fulgte satt prosedyre: *“Det har vært en problemstilling det, at brukerutstysgruppen sammen med brukerne, blir enig om å endre litt på konsept. Vanligvis skal det da bli sendt en endringsmelding som prosjekteringsleder skal godkjenne eller sende til oss i PG hvor vi utreder konsekvenser for valgt løsning. Derimot, har de ofte ikke sagt noe eller bare ringt en arkitekt, og plutselig sitter det noen å jobber med noe som egentlig ikke er vedtatt at skal*

settes i gang.”

Brakerendringer ble registrert jevnlig gjennom hele prosjekteringsperioden, selv så sent som i oppfølgende prosjektering. Sene endringer er i strid med lean construction-prinsippet om å legge til rette for å fjerne usikkerhet for de prosjekterende (Koskela et al., 1997). En informant fra arkitektene uttrykte at: *“Alle har vært litt fortvilte over at brukerne har vært med for lenge i prosessen.”* Videre understreket informanten at årsaken til dette var at det ikke var noen som låste beslutningsprosessen. Brukerne ønsket eksempelvis ofte utskifting til nyere produkter i takt med at teknologi og brukerutstyr utviklet seg. En informant fortalte at: *“Dette er det mest moderne dyresykehuset i Europa, og da er det naturlig at brukerne vil ha det siste av det siste. I løpet av perioden har teknologi, forskningsmetoder og forskningsutstyr utviklet seg. Med den farten utviklingen har i dag på alle områder, dersom du skal ha det siste av det siste må du vente til evigheten, og det er det brukerne har gjort. De har ventet og ventet og ventet, og prøvd å bestemme seg for det siste av det siste.”*

Kvantitativ data i Figur 31 understøtter at prosjektet var kjennetegnet av sene brukerbeslutninger. Når produkter som var lagt inn i modellen ble endret, ga det konsekvenser for prosjektert løsning, noe som medførte enda mer omprosjektering. Dette viser i tillegg at konsekvensen av endringer gjort sent i prosessen er betraktelig høyere enn dersom endringene hadde foregått på et tidligere stadium. Videre fortalte en informant at: *“Det er så mange forskjellige brukere, og når det går over så mange år, kommer det nye brukerrepresentanter, og de mener noe helt annet enn de forrige. Det generer mye mer støy enn man tror.”* Det ble derimot påpekt at: *“PG klarte å håndtere de sene brukerendringene, men det resulterte i mer tid og mer timer, og at prosessen dermed ikke ble like optimal.”*



Figur 31: Svar på spørsmål vedrørende brukerbeslutninger i prosjektet

Både informanter fra byggherre og prosjekteringsgruppen hevdet at brukerprosessen burde vært planlagt og strukturert bedre fra starten av. Det ville sannsynligvis spart prosjekteringsgruppen for mange ekstra iterasjoner dersom romfunksjonsprogrammet var ferdig ved oppstart detaljprosjekt, og dersom brukerønsker ikke ble godkjent av byggherren helt fram til slutfasen av detaljprosjekteringen. Kunden får sannsynligvis ønsket funksjonalitet, men antagelig til en unødvendig høy kostnad. Kunden har derimot delvis dette ansvaret selv gjennom sene beslutninger og endringer. Grep innen Target Value Design og Choosing by Advantages kunne bidratt til å øke kundeverdien, jamfør Zimina et al. (2012) og Arroyo et al. (2016).

7 Konklusjon

Masteroppgavens problemstilling er: *Hvilke lessons learned kan identifiseres ut fra anvendt metodikk for planlegging og styring av detaljprosjekteringen sett fra et lean construction-perspektiv?* Det er valgt å besvare problemstillingen ved bruk av TFV-teorien, og gjennom funn forankret i teorien har oppgaven oppsummert hovedlærdommene fra caset nedenfor.

Lesson 1 – Tradisjonell planleggings- og styringsmetodikk er ikke optimalt for et så stort og komplekst prosjekt

Funn indikerer at tradisjonell planleggings- og styringsmetodikk er en for enkel tilnærming til styring av et så stort og komplekst byggeprosjekt. Metodikken som hovedsakelig er lagt til grunn for prosjekteringsledelsen baserer seg på at man er i det enkle-omenet i Cynefin-rammeverket, og er kun rigget for å håndtere tame problems. Dette står i motsetning til prosjektets kompleksitet, og den anvendte metodikken syntes ikke å fange opp håndteringen av alle de resiproke avhengighetene som fremkom fra datagrunnlaget. I tillegg kan det argumenteres for at det ikke er hensiktsmessig å jobbe med en detaljert fremdriftsplan for flere måneder fram i tid på et såpass komplekst og uforutsigbart prosjekt.

En god flyt i prosjekteringsprosessen krever en mer agile prosjekteringsledelse som kan fange opp det komplekse, og flere utfordringer i prosjekteringsprosessen kunne mulig vært løst ved bruk av alternativ metodikk. Eksempelvis kunne en kombinasjon av Last Planner og et Scrum-basert styringssystem vært benyttet. Last Planner systemet kunne bidratt til en bedre håndtering av resiproke avhengigheter og en mer realistisk fremdriftsplan ved å planlegge mer detaljert jo nærmere man kommer utførelse, jamfør Ballard (2000), og et Scrum-basert styringssystem kunne bidratt til å bryte ned komplekse utfordringer og arbeidsoppgaver i mindre arbeidspakker for å sikre fremdrift og heve identifisering av problemer, jamfør Demir & Theis (2016) og Kalsaas (2019). Videre, indikerte innhentet data at kostnader på kort sikt ofte ble prioritert, noe som har vist seg å gi høyere total kostnader enn nødvendig i retrospekt. Implementering av Target Value Design i en tidlig fase kunne bidratt til at alle involverte aktører, inkludert kunden og brukerne, samarbeidet om å finne innovative løsninger for å spa-

re byggekostnader uten å renonsere på omfang, fremdrift eller kvalitet, jamfør Zimina et al. (2012).

Lesson 2 – Samlokalisering var en stor fordel for gjennomføring av prosjektet

Datagrunnlaget indikerer at dette byggeprosjektet nesten ville vært umulig å gjennomføre uten samlokalisering. Samlokalisering av de prosjekterende har vært en fordel for informasjons- og kommunikasjonsflyten i prosjektet, og det ga gode betingelser for felles problemløsning og ”puslespill”. I tillegg muliggjorde det tidvis Integrated Concurrent Engineering som er en effektiv måte å håndtere resiproke avhengigheter på. Det kan argumenteres for at det kunne vært mer effektivt for prosjekteringsprosessen å gjennomføre ICE-møter fra oppstart detaljprosjekt. I tillegg har det å sittet samlokalisert med byggherre bidratt til økt kunde verdi. Samlokalisering ut til byggeplassen burde derimot vært gjort samtidig med byggherre i 2016.

Lesson 3 – Benytt standardisering i større grad

Datagrunnlaget indikerer at størrelsen og kompleksiteten på prosjektet, med det pressede tidsaspektet, gjorde det utfordrende å samspille designløsninger. Det hendte at flere i prosjekteringsgruppen arbeidet i parallell med forskjellige løsninger på like utfordringer, noe som viser at prosjektet ikke har håndtert koordinering av samlede avhengigheter gjennom standardisering. Funn viser at det kunne vært tydeligere beskrevet designkrav og kjøreregler fra starten av prosjektet, hvor dette kunne vært lagret i en designhåndbok. Designhåndboken kunne deretter blitt oppdatert med valg av løsninger underveis i prosessen.

I tillegg kunne det vært standardiserte måter å håndtere resiproke avhengigheter på fra prosjektoppstart, for eksempel gjennom bruk av metodikk som legger til rette for tidlig involvering av tekniske disipliner og entreprenører. At råbygget var ferdig bygget før de tekniske disiplinene hadde sendt ut innredning på anbud medførte mange ekstra iterasjoner, blant annet knyttet til hullboringer i oppfølgende prosjektering. Dette kunne mulig vært unngått dersom tekniske disipliner var involvert på et tidligere stadium. I tillegg burde entreprenørene vært involvert tidligere for å sikre byggbarhet, gjerne ved oppstart detaljprosjekt.

Lesson 4 – Inkluder tid til refleksjoner underveis i designprosessen

Funn indikerer at det regelmessig er brukt reflekterende læring på et individuelt nivå, men at det kunne vært bedre prosesser knyttet til læring på et organisatorisk nivå. Det har vært et lite fokus på refleksjon og læring underveis i designprosessen, som erfaringsutveksling og erfaringsoverføring, noe som bidro til å forstyrre flyten i prosjekteringen. Bruk av Last Planner og et Scrum-basert styringssystem kunne lagt mer til rette for læring og kunnskapsoverføring underveis i prosessen, jamfør Ballard (2000), Demir & Theis (2016) og Kalsaas (2019). Videre kunne en designhåndbok bidratt til å gjøre taus kunnskap eksplisitt i større grad. For å kunne bygge videre på lærdommen, og utnytte lærdommen ved senere prosjekter, er det trolig viktig at dette blir samlet, delt og gjort tilgjengelig for alle i organisasjonen. Å gjennomføre et lessons learned-seminar ved prosjektavslutning kan fungere som et fint tiltak i retrospekt av et så komplekst prosjekt som dette.

Lesson 5 – Håndter gradvis modning på en systematisk måte

Prosjektet har manglet en god nok måte å håndtere gradvis modning, og det kom fram gjennom funn at dette hovedsakelig ble håndtert gjennom ”magefølelse” og tidligere erfaringer. At disipliner jobbet videre etter at objekter hadde oppnådd frys-status i modellen, påvirket flyten i prosjekteringsarbeidet og medførte utakt i prosjekteringen og sløsing av tid. Grep innen Level of Development kunne vært benyttet for å håndtere gradvis modning, jamfør Hooper (2015) og Grytting et al. (2017).

Lesson 6 – Håndter brukerprosessen med bedre organisering og strukturering

Datagrunnlaget indikerer at brukerprosessen var kjennetegnet av sene brukerbeslutninger og brukerendringer, noe som har forstyrret flyten i prosjekteringsarbeidet og generert mange ekstra iterasjoner. I forbindelse med dette, kan det argumenteres for at det burde vært benyttet en planleggings- og styringsmetodikk som klarer å håndtere slike variasjoner, jamfør Lesson 1. Brukerprosessen pågikk lenger enn hensiktsmessig, og det ville sannsynligvis spart prosjekteringsgruppen for mye omprosjektering dersom romfunksjonsprogrammet var ferdig

ved oppstart detaljprosjekt, og dersom brukerendringer ikke ble godkjent av byggherre helt fram til slutfasen av detaljprosjekteringen. Kunden får sannsynligvis ønsket funksjonalitet, men antagelig til en unødvendig høy kostnad. Kunden har derimot delvis dette ansvaret selv gjennom sene beslutninger og endringer. Grep innen Target Value Design og Choosing by Advantages kunne bidratt til å øke kundeverdien, jamfør Zimina et al. (2012) og Arroyo et al. (2016, 2018).

8 Referanser

- Andersen, B. & Langlo, J. (2016). Productivity and performance measurement in the construction sector. I *Paper presented at the proceedings of the CIB world building Congress 2016*.
- Arroyo, P., Mourgues, C., Flager, F. & Correa, M.G. (2018). A new method for applying choosing by advantages (CBA) multicriteria decision to a large number of design alternatives. *Energy and Buildings*, 167, 30–37.
- Arroyo, P., Tommelein, I.D., Ballard, G. & Rumsey, P. (2016). Choosing by advantages: A case study for selecting an HVAC system for a net zero energy museum. *Energy and Buildings*, 111, 26–36.
- Ballard, G. (2000). Positive vs negative iteration in design. I *Proceedings of the 8th annual conference of the international group for lean construction* (s. 17–19).
- Ballard, G., Hammond, J. & Nickerson, R. (2009). Production control principles. I *Proceedings of the 17th annual conference of the international group for lean construction* (s. 489–500).
- Ballard, G. & Howell, G. (1994). Implementing lean construction: stabilizing work flow. *Lean construction*, 101–110.
- Ballard, G. & Howell, G. (2003). An update on last planner. I *Proceedings of the 11th annual conference of the international group for lean construction*.
- Ballard, G. & Koskela, L. (1998). On the agenda of design management research. I *Proceedings of the 6th annual conference of the international group for lean construction*.
- Baxter, P. & Jack, S. (2008). Qualitative case study methodology: Study design and implementation for novice researchers. *The qualitative report*, 13(4), 544–559.
- Bell, B. & Kozlowski, S. (2002). A typology of virtual teams: Implications for effective leadership. *Group & Organization Management*, 27(1), 14–49.
- BIMForum. (2019). *Level of development specification*. Hentet 2019-05-04 fra <https://bimforum.org/lod/>
- Blaikie, N. (2010). *Designing social research: The logic of anticipation*. Cambridge: Polity Press.

- Bølviken, T., Gullbrekken, B. & Nyseth, K. (2010). Collaborative design management. I *Proceedings of the 18th annual conference of the international group for lean construction, haifa, israel*.
- Bonnier, K.E., Kalsaas, B.T. & Ose, A.O. (2015). Waste in design and engineering. I: *Seppänen, O., González, V.A. and Arroyo, P., 23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 463–472.
- Chase, J.P. (2001). Value creation in the product development process. Massachusetts Institute of Technology.
- Creswell, J. (2009). *Research design: Qualitative, quantitative and mixed methods approaches*. SAGE Publications.
- Cuff, D. (1991). *Architecture: The story of practice*. Mit Press.
- Dalland, O. (2000). *Metode og oppgaveskriving for studenter*. Gyldendal akademisk.
- Dalland, O. (2007). *Metode og oppgaveskriving for studenter (vol. 4)*. Oslo: Gyldendal Norsk Forlag.
- de Geus, A.P. (1988). *Planning as learning*. Harvard Business Review March/April.
- Demir, S. & Theis, P. (2016). Agile design management-the application of scrum in the design phase of construction projects. I *Proceedings of the 24th annual conference of the international group for lean construction*.
- Denzer, M., Muenzl, N., Sonnabend, F. & Haghsheno, S. (2015). Analysis of definitions and quantification of waste in construction. I: *Seppänen, O., González, V.A. and Arroyo, P., 23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 723–732.
- dRofus. (2019). *COMPANY*. Hentet 2019-05-16 fra <https://www.drofus.no/en/company/>
- Dubois, A. & Gadde, L.-E. (2002). Systematic combining: an abductive approach to case research. *Journal of business research*, 55(7), 553–560.
- Easterby-Smith, M., Thorpe, R. & Jackson, P.R. (2015). *Management & business research*. SAGE Publications.
- Easton, G. (2010). Critical realism in case study research. *Industrial marketing management*, 39(1), 118–128.

- Eikeland, P. (2001). *Samspillet i byggeprosessen-Teoretisk analyse av byggeprosesser*. (Doktoravhandling). Trondheim: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- Emmitt, S. (2016). The construction design manager—a rapidly evolving innovation. *Architectural Engineering and Design Management*, 12(2), 138–148.
- Feil, P., Yook, K.-H. & Kim, I.-W. (2004). Japanese target costing: a historical perspective. *International Journal*, 11.
- Fundli, I.S. & Drevland, F. (2014). Collaborative design management—a case study. I *Proceedings of the 22th annual conference of the international group for lean construction* (s. 627–638).
- Gale, N.K., Heath, G., Cameron, E., Rashid, S. & Redwood, S. (2013). Using the framework method for the analysis of qualitative data in multi-disciplinary health research. *BMC medical research methodology*, 13(1), 117.
- Garvin, D. (1993). Building a Learning Organization. *Harvard Business Review*, 71(4), 78–91.
- Ghauri, P.N. & Grønhaug, K. (2005). *Research methods in business studies: A practical guide*. Pearson Education.
- Gibbs, G. (2007). *Analyzing qualitative data*. SAGE Publications.
- Gilbertson, A.L. (2006). Briefing: measuring the value of design. I *Proceedings of the institution of civil engineers-municipal engineer* (vol. 159, s. 125–128).
- Given, L.M. (2008). *The sage encyclopedia of qualitative research methods*. SAGE Publications.
- Grønmo, S. (2004). *Samfunnsvitenskapelige metoder* (vol. 1). Fagbokforlaget Bergen.
- Grytting, I., Svalestuen, F., Lohne, J., Sommerseth, H., Augdal, S. & Lædre, O. (2017). Use of LoD decision plan in BIM-projects. *Procedia engineering*, 196, 407–414.
- Hamzeh, F., Ballard, G. & Tommelein, I. (2009). Is the Last Planner System applicable to design?—A case study. I *Proceedings of the 17th annual conference of the international group for lean construction* (vol. 17, s. 13–19).
- Hands, D., Ingram, J. & Jerrard, R. (2005). *Design management case studies*. Routledge.
- Hansen, G.K. & Olsson, N.O. (2011). Layered project—layered process: lean thinking and

- flexible solutions. *Architectural Engineering and Design Management*, 7(2), 70–84.
- Hjelseth, A. (2000). *Samfunnsvitenskapelig metode*. Oslo: NKS Fjernundervisning.
- Holme, I.M. & Solvang, B.K. (1996). *Metodevalg & metodebruk*. Tano Aschehoug.
- Hooper, M. (2015). Automated model progression scheduling using level of development. *Construction Innovation*, 15(4), 428–448.
- Howell, G.A. & Koskela, L. (2000). Reforming project management: the role of lean construction.
- Illeris, K. (2007). *How we learn: Learning and non-learning in school and beyond*. Routledge.
- Illeris, K. (2018). *Contemporary theories of learning: learning theorists... in their own words*. Routledge.
- InDyne. (2019). *PIMS360*. Hentet 2019-04-14 fra <http://www.indyneinc.com/corporate/capabilities/pims360/tabid/103/default.aspx>
- Kalay, Y.E. (2004). *Architecture's new media: Principles, theories, and methods of computer-aided design*. MIT Press.
- Kalsaas, B.T. (2013). Measuring waste and workflow in construction. I *Proceedings of the 21th annual conference of the international group for lean construction, fortaleza, brazil* (s. 31–2).
- Kalsaas, B.T. (2017a). Last planner - et system for planlegging og styring. I B.T. Kalsaas (red.), *Lean construction* (s. 35-59). Fagbokforlaget.
- Kalsaas, B.T. (2017b). Systematisk læring i byggeprosjekter. I B.T. Kalsaas (red.), *Lean construction* (s. 275-294). Fagbokforlaget.
- Kalsaas, B.T. (2019). *Lean construction: A management model for interdependencies in detailed design. final draft (accepted by the editors to be published) to a book project «lean construction: 25 years of development»*. Taylor Francis, Routledge. Forthcoming 2019.
- Kalsaas, B.T. & Bonnier, K. (2017). Tradisjonell prosjektplanlegging- og styring i et lean-perspektiv. I B.T. Kalsaas (red.), *Lean construction* (s. 61-91). Fagbokforlaget.
- Kalsaas, B.T. & Moum, A. (2016). Design and engineering understood as processes of

- learning. I *Proceedings of the cib world building congress 2016*.
- Kalsaas, B.T. & Ose, A.O. (2017). Avhengigheter og koordinering i byggeplassproduksjon. I B.T. Kalsaas (red.), *Lean construction* (s. 319-331). Fagbokforlaget.
- Kalsaas, B.T. & Sacks, R. (2011). Conceptualization of interdependency and coordination between construction tasks. I *Proceedings of the 19th annual conference of the international group for lean construction*.
- Khanzode, A., Fischer, M., Reed, D. & Ballard, G. (2006). A guide to applying the principles of virtual design & construction (VDC) to the lean project delivery process. *Center for Integrated Facility Engineering (CIFE), stanford university*.
- Knotten, V. (2017). Building design management in the early stages. (Doktoravhandling). Trondheim: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- Kolb, D.A. (1984). Experience as the source of learning and development. *Upper Saddle River: Prentice Hall*.
- Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction* (vol. 72). Stanford university Stanford.
- Koskela, L. (2000). *An exploration towards a production theory and its application to construction*. VTT Technical Research Centre of Finland.
- Koskela, L. (2004). Making-do: The eighth category of waste. I *Proceedings of the 12th annual conference of the international group for lean construction*.
- Koskela, L., Ballard, G. & Tanhuanpää, V.-P. (1997). Towards lean design management. I *Proceedings of the 5th annual conference of the international group for lean construction* (s. 1–13).
- Koskela, L., Bølviken, T. & Rooke, J. (2013). Which are the wastes of construction? I *Proceedings of the 21st annual conference of the international group for lean construction* (s. 3–12).
- Koskela, L., Rooke, J., Bertelsen, S. & Henrich, G. (2007). The TFV theory of production: new developments. I *Proceedings of 15th international group for lean construction conference*.
- Kovács, G. & Spens, K.M. (2005). Abductive reasoning in logistics research. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 35(2), 132–144.

- Kristensen, K.H. (2013). Building design management: Management of the cooperative design and its interdisciplinary functions. (Doktoravhandling). Trondheim: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- Kunz, J. & Fischer, M. (2009). Virtual design and construction: themes, case studies and implementation suggestions. *Center for Integrated Facility Engineering (CIFE), stanford university*.
- Kurtz, C.F. & Snowden, D.J. (2003). The new dynamics of strategy: Sense-making in a complex and complicated world. *IBM systems journal*, 42(3), 462–483.
- Lahdenperä, P. & Tanhuanpää, V.-P. (2000). Creation of a new design management system based on process optimization and proactive strategy. *Engineering Construction and Architectural Management*, 7(3), 267–277.
- Lawson, B. (1997). *How designers think: the design process demystified*. Oxford: Architectural Press.
- Malone, T.W. & Crowston, K. (1994). The interdisciplinary study of coordination. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 26(1), 87–119.
- MGI. (2017). Reinventing construction: A route to higher productivity. *McKinsey Global Institute*.
- Modig, N. & Åhlström, P. (2016). *Dette er lean: løsningen på effektivitetsparadokset*. Stockholm: Rheologica Publishing.
- Moum, A. (2009). The role of BIM in the architectural design process: Learning from practitioners' stories. I *Handbook of research on building information modeling and construction informatics: concepts and technologies* (s. 587–618). Information Science Publishing, UK.
- Multiconsult. (2019). *Campus Ås – samlokaliseringsprosjektet*. Hentet 2019-02-02 fra <https://www.multiconsult.no/prosjekter/campus-as/>
- Nonaka, I. & Takeuchi, H. (1995). *The knowledge-creating company: How japanese companies create the dynamics of innovation*. Oxford university press.
- Nonaka, I., Toyama, R. & Hirata, T. (2008). *Managing flow: A process theory of the knowledge-based firm*. Springer.
- Olsson, N. (2011). *Praktisk rapportskriving*. Tapir akademisk.

- O'Mahoney, J. & Vincent, S. (2014). Critical realism as an empirical project: A beginner's guide. *Studying organizations using critical realism: A practical guide*, 17, 1–20.
- Polanyi, M. (1967). *The Tacit Dimension*. The University of Chicago Press.
- Rice, J.L. & Rice, B.S. (2005). The applicability of the SECI model to multi-organisational endeavours: an integrative review. *International Journal of Organisational Behaviour*, 9(8), 671–682.
- Rittel, H.W. & Webber, M.M. (1973). Dilemmas in a general theory of planning. *Policy sciences*, 4(2), 155–169.
- Samset, K.F. (2014). *Prosjekt i tidligfasen: valg av konsept*. Fagbokforlaget.
- Saunders, M., Lewis, P. & Thornhill, A. (2009). *Research methods for business students (5th edition)*. Essex: Pearson Education.
- Sayer, A. (1992). *Method in social science: A realist approach*. Routledge.
- Schwaber, K. (2004). *Agile project management with scrum*. Microsoft press.
- Shani, A.B. & Docherty, P. (2003). *Learning by design: Building sustainable organizations*. Wiley-Blackwell.
- Sinclair, D. (2011). *Leading the team: An architect's guide to design management*. RIBA Publishing.
- Srivastava, A. & Thomson, S.B. (2009). Framework analysis: A qualitative methodology for applied policy research. *JOAAG*, 4(2), 72–79.
- Statsbygg. (2019). *Campus Ås, samlokalisering*. Hentet 2019-02-02 fra <https://www.statsbygg.no/prosjekter-og-eiendommer/byggeprosjekter/campus-as/>
- SurveyXact. (2019). *SurveyXact by Ramboll*. Hentet 2019-05-01 fra <https://www.survey-xact.dk/>
- Svalestuen, F., Frøystad, K., Drevland, F., Ahmad, S., Lohne, J. & Lædre, O. (2015). Key elements to an effective building design team. *Procedia Computer Science*, 64, 838–843.
- Symetri. (2019). *Interaxo*. Hentet 2019-05-16 fra <https://www.interaxo.no/>
- Teicholz, P., Goodrum, P.M. & Haas, C.T. (2001). Us construction labor productivity trends, 1970–1998. *Journal of Construction Engineering and Management*, 127(5), 427–429.

- Thompson, J.D. (1967). *Organizations in action: Social science bases of administrative theory*. New York: McGraw-Hill.
- Womack, J.P. & Jones, D.T. (1996). Beyond Toyota: how to root out waste and pursue perfection. *Harvard business review*, 74(5), 140–158.
- Yin, R. (2009). *Case study research design and methods (4th edition)*. SAGE Publications.
- Zimina, D., Ballard, G. & Pasquire, C. (2012). Target value design: using collaboration and a lean approach to reduce construction cost. *Construction Management and Economics*, 30(5), 383–398.

Vedlegg

I dette kapittelet presenteres vedlegg som er referert til i oppgaven.

Vedlegg 1 - Intervjuguide

Intervjuguide – Campus Ås-prosjektet

Prosjektet

1. Faglig bakgrunn
2. Hvor lenge jobbet du på prosjektet?
3. Hva var dine hovedoppgaver i prosjektet?
4. Hva var dine største faglige utfordringer?
5. Hvordan vurderer du kompleksiteten til prosjektet (ukjente metoder og/eller løsninger)? (1-10)
6. Klarhet i målsettinger? (1-10)

Planlegging- og styringsmetodikk

7. Var det utarbeidet klart definerte prosjektmål, og god forståelse av disse?
8. Var det en hensiktsmessig struktur i ledelse av plan -og styringsmetodikk?
9. Hvor lenge skulle det være ferdig prosjektert før bygging?
 - o Var det alltid slik?
10. Ble fremdriftsplanen fulgt?
11. Hvordan ble det sikret at fagdisiplinene/prosjektet holdt seg til fremdriftsplanen?
12. Hvilke hjelpemidler/indikatorer ble brukt for å kontrollere fremdrift?
13. Var delleveranser klart definert i planen?
14. Hvor ofte samsvarte planer med virkelig prosjektering?
15. Hva var vanlige årsaker til at prosjektet ikke fulgte plan?
16. Hvilke tiltak var vanlige å utføre dersom prosjektet falt bak plan?
17. Hvordan ble uforutsette situasjoner håndtert?
18. Var det vanlig å bryte ned arbeidspakker i detaljer jo mer disiplinene forsto omfanget av oppgaven?
19. Ble beslutninger loggført?
20. Hvordan ble milepæler styrt?
21. Hvor ofte ble milepæler overskredet?
22. Var det forskjell mellom disiplinene når det gjelder overskridelse av milepæler?
23. Var det ofte utakt i prosjekteringen?
 - o Eksempler på konsekvenser av det
24. Hvordan ble usikkerhet og risiko behandlet i prosjekteringen?
25. Ble det brukt teknologiske verktøy for kommunikasjon?
 - o Hvilke?
 - o Var nødvendig informasjon ofte i mange kanaler, som gjorde det vanskelig å finne tilbake til beslutninger?

- Hvordan ble det arbeidet med BIM?
- Hvordan bidro bruken av BIM til bedre kommunikasjon?
- 26. Hvilke faktorer har komplisert prosjekteringen?
 - Eksterne forhold
 - Interne forhold
- 27. Hvordan ble gradvis modning håndtert?
- 28. Måtte mye arbeid i detaljprosjekteringen gjøres på nytt?
 - Eksempler
 - Hva var vanlige årsaker til at arbeid måtte revideres?
- 29. Var det tilstrekkelig bemanning av prosjekterende?
 - Mye overarbeid?
- 30. Tilstrekkelig bemanning i prosjekteringsledelsen?
- 31. Var det rom for deling av erfaringsbasert (taus) kunnskap i prosjekteringen?
 - Hvordan?
- 32. Ble konkrete erfaringer fra detaljprosjekteringen tatt opp i møter eller diskutert på arbeidsplassen?
- 33. Har learning by doing vært en del av dette prosjektet?
- 34. Metodikk for systematisk ferdigstilling?
- 35. Hvilke tiltak ble gjort for å sikre en effektiv byggeprosess, både med tanke på kostnad, tid og kvalitet?
- 36. Hva har vært hovedutfordringer ved benyttet metode for planlegging og styring?
 - Sett fra prosjekteringsledelsens side
 - Sett fra de prosjekterenes side
- 37. Hva har vært hovedutfordringene i detaljprosjekteringen?
 - Sett fra prosjekteringsledelsens side
 - Sett fra de prosjekterenes side
- 38. Kjennskap til Lean Construction?
 - Tidligere erfaring?
 - Kjennskap til metoder og verktøy som Last Planner, LOD (Level of Development), Taktplanlegging, DSM (Design Structure Matrix), Set-Based Design, CBA (Choosing by Advantages), ICE (Integrated Concurrent Engineering), Scrum, MA (Mutual Assessment)

Prioriteringer i prosjekteringen

- 39. Fokus på kontinuerlig forbedring? (1-10)
- 40. Fokus på kontinuerlig læring i prosjektet? (1-10)
- 41. Fokus på kundeverdi? (1-10)
- 42. Fokus på involvering av brukere? (1-10)
- 43. Fokus på involvering av utførende? (1-10)
- 44. Fokus på HMS? (1-10)
- 45. Evaluering i sluttfasen?

Rammebetingelser/Organisering

46. Byggherrestyrt delte entrepriser
 - Fordeler
 - Ulemper
 - Kommersielle insentiver
47. Endring i gjennomføringsmodell?
 - Hvilke metoder ble vurdert?
 - Hva ble gjort, og funket det? Hvorfor, hvorfor ikke?
 - Motstand til endring?
48. I hvilken grad har byggherren vært involvert i prosjekteringen?
 - Har dette vært tilstrekkelig?
 - Var sene byggherrebeslutninger en utfordring?
 - Knappe tidsfrister for de prosjekterende?
 - Knappe økonomiske ressurser for prosjekteringsgruppen?

Samarbeid

49. Hvordan har samarbeidet i prosjekteringsgruppen fungert? (1-10)
50. Utfordring med utbytting av rådgivere?

Avslutningsvis

51. Oppsummering av utfordringer og suksessfaktorer
52. Forslag til tiltak som kan gjøres for å redusere sjansen for at nevnte utfordringer gjenoppstår ved senere prosjekter?
53. Forslag til tiltak som kan gjøres for å videreføre suksessfaktorene?

Vedlegg 2 - Samtykkeskjema

Forespørsel om deltagelse i forskningsprosjekt:

Masteroppgave om Prosjekteringsledelse av et stort og komplekst byggeprosjekt

Formål

Masteroppgaven har som formål å undersøke hvordan detaljprosjekteringen av Campus Ås – Samlokaliseringsprosjektet ble planlagt og styrt. Oppgaven vil identifisere utfordringer og suksessfaktorer ved benyttet metode for planlegging og styring, og presentere forbedringstiltak som kan redusere sjansen for at nevnte utfordringer gjenoppstår ved senere prosjekter. Hovedmålsettingen er å bidra med kunnskap som prosjekteringsgruppen kan ta med seg videre til nye prosjekter. Data vil bli samlet inn fra representanter fra aktører tilknyttet byggeprosjektet. Aktører er representanter fra byggherren og representanter fra prosjekteringsgruppen, eventuelt også andre interessenter.

Hva innebærer deltagelse i studien?

Alle personopplysninger fra individuelle intervjuer vil bli behandlet konfidensielt. Opplysninger fra intervju er å betrakte som rådata. Personopplysninger her er navn og stilling/rolle i prosjektet. Det er kun *veileder Bo Terje Kalsaas og masterstudentene Anders Rullestad og Hanne S. Thorud* som vil ha tilgang til rådata fra intervjuene. Normalt vil de som intervjuer notere det som blir sagt av ønsket informasjon på papir. I tillegg kan det bli spurt om å bruke lydopptak. Spørsmålene vil være tilknyttet temaene: om prosjektet, planlegging- og styringsmetodikk, prioriteringer i prosjekteringen, rammebetingelser/organisering og samarbeid.

Hva skjer med informasjonen du gir?

De som intervjues vil i etterkant få tilsendt et referat som det kan gis kommentarer til. All data vil bli anonymisert ved prosjektslutt og eventuelle data som lagres videre vil ikke inneholde personopplysninger. Ved publisering av masteroppgaven anonymiseres data som brukes slik at enkeltpersoner ikke kan gjenkjennes.

Frivillig deltagelse

Det er frivillig å delta i studien. Hvis du velger å delta, kan du når som helst trekke samtykke tilbake uten å oppgi noen grunn. Alle opplysninger om deg vil da bli anonymisert. Studien er meldt til Personvernombudet for forskning, NSD – Norsk senter for forskningsdata AS.

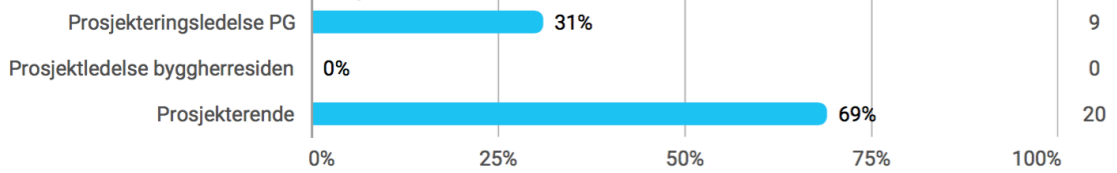
Samtykke til deltagelse i studien

Jeg har mottatt informasjon om studien, og er villig til å delta

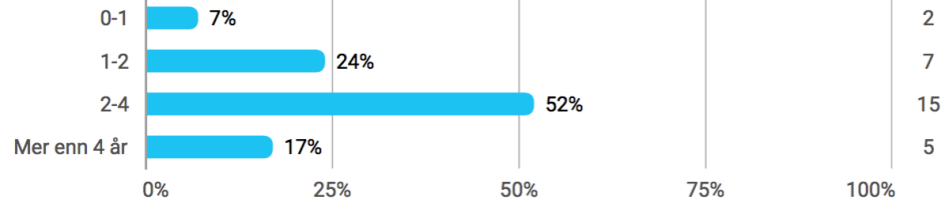
(Deltakerens signatur, dato)

Vedlegg 3 - Resultater fra spørreundersøkelse

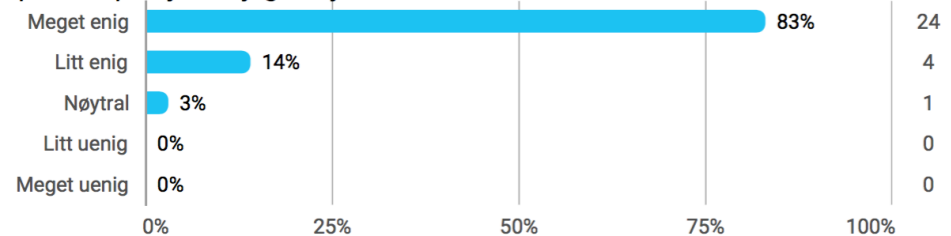
Hvilken rolle har du i hovedsak i prosjektet?



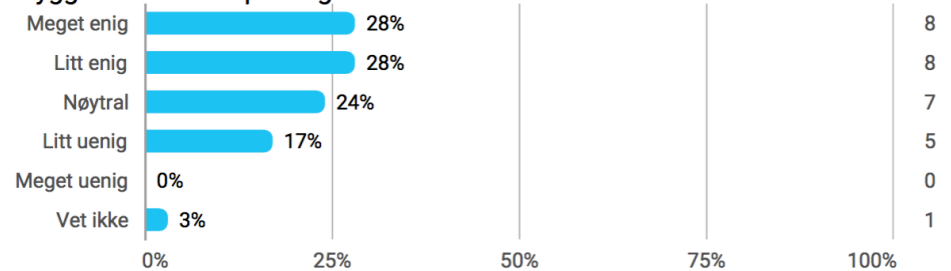
Hvor mange års erfaring har du med prosjektet?



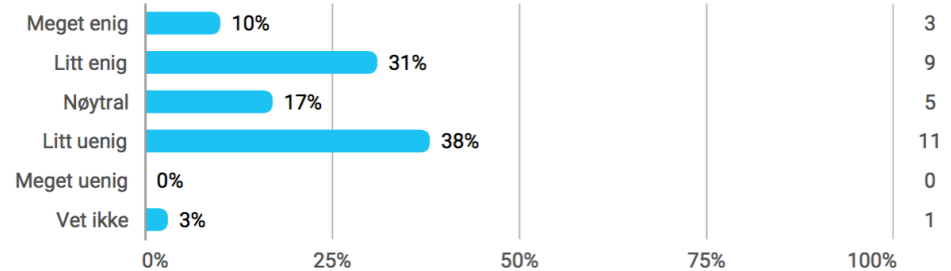
Dette er det mest kompliserte prosjektet jeg har jobbet i



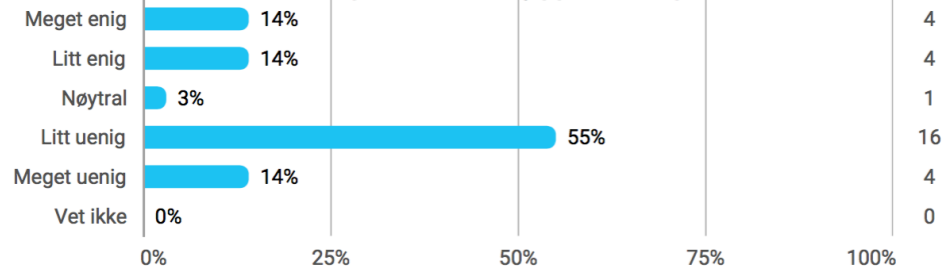
Designet tilfredsstillende byggherrekravene på en god måte



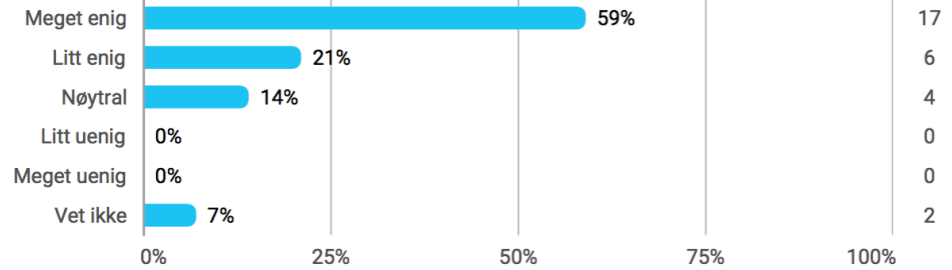
Designet har gitt god tilkomst for vedlikehold



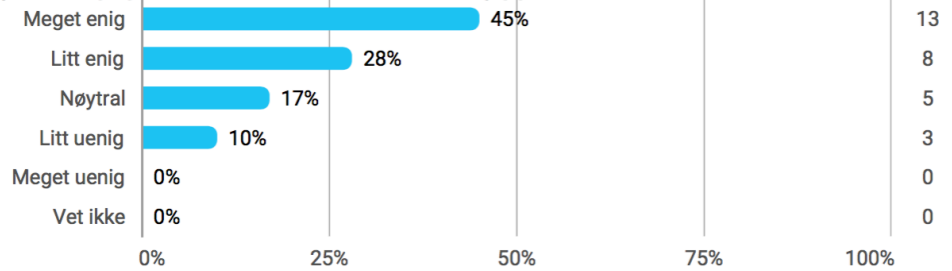
Du visste til enhver tid hvem du skulle forholde deg til, både på byggeplass og i PG



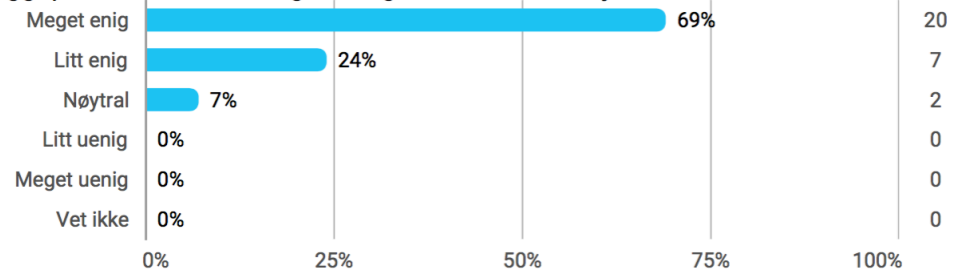
Det store antallet entrepriser bidro til å høyne kompleksitet og ressursbruk i prosjektet



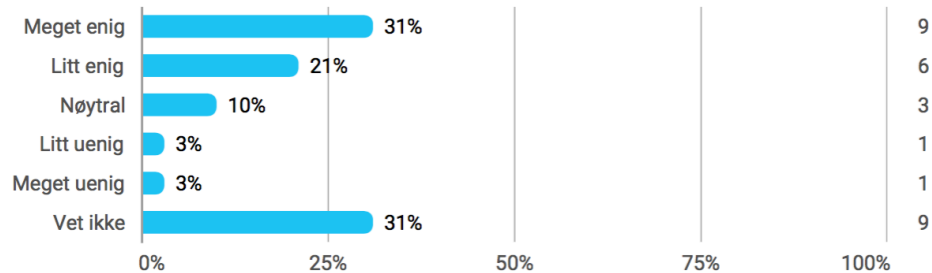
Mer ressurser til prosjekteringsgruppen kunne ført til lavere byggekostnader



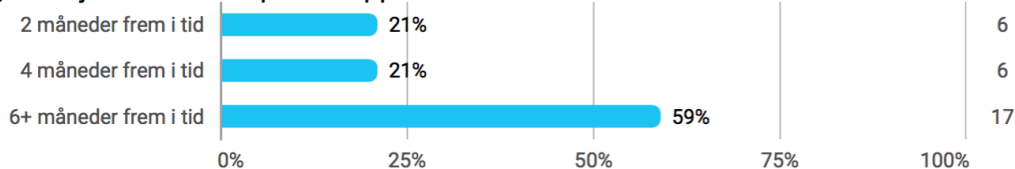
Samlokalisering til byggeplassen la et bedre grunnlag for kommunikasjon



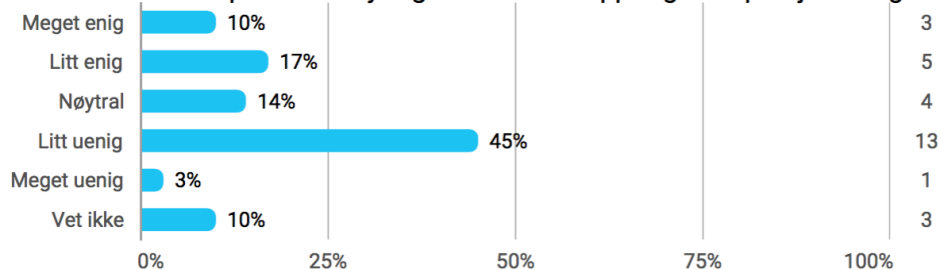
Håndtering av gradvis modning ble vanligvis ble utført uten noe spesiell metode



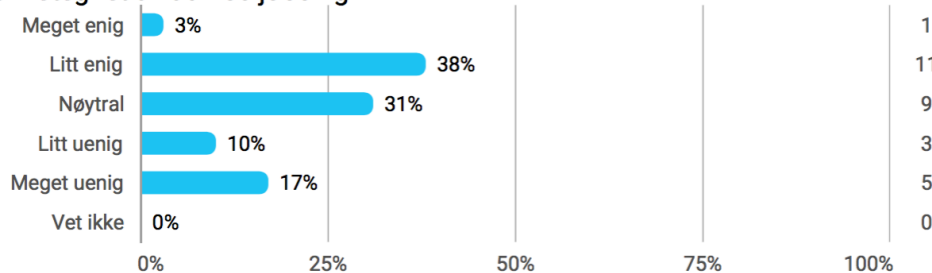
Det ble planlagt detaljert i fremdriftsplanen opp mot...



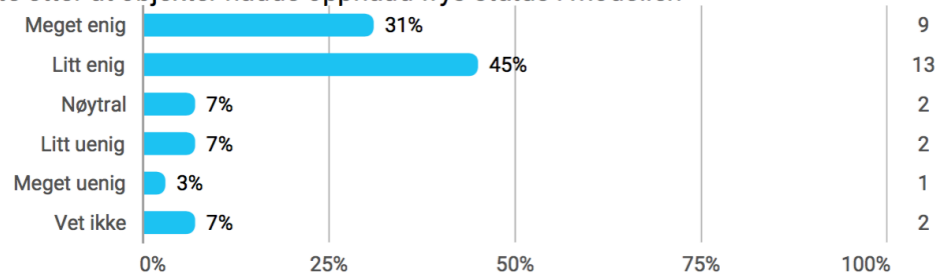
Organisering rundt fremdriftsfronter skapte bedre flyt og effektivitet i oppfølgende prosjektering



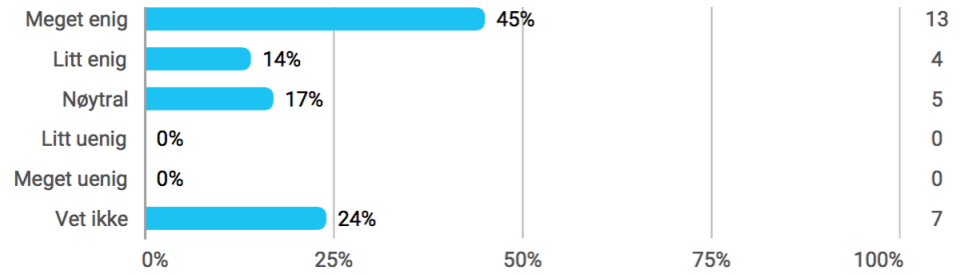
Prosjekteringen er kjennetegnet av ad hoc jobbing



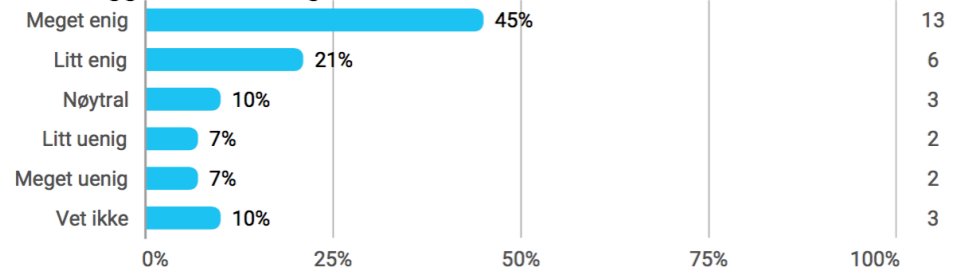
Disipliner arbeidet ofte etter at objekter hadde oppnådd frys-status i modellen



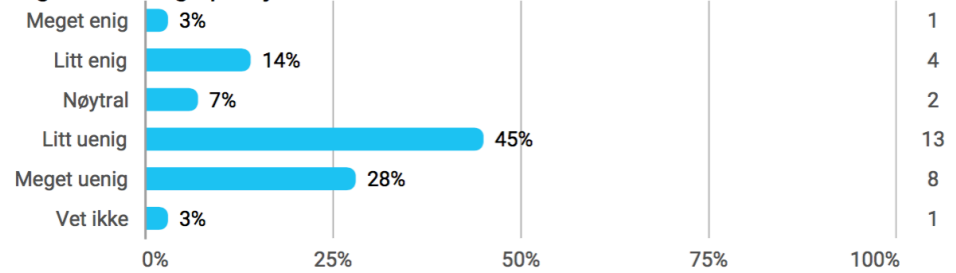
ICE-møtene bidro til økt produktivitet i prosjekteringsarbeidet



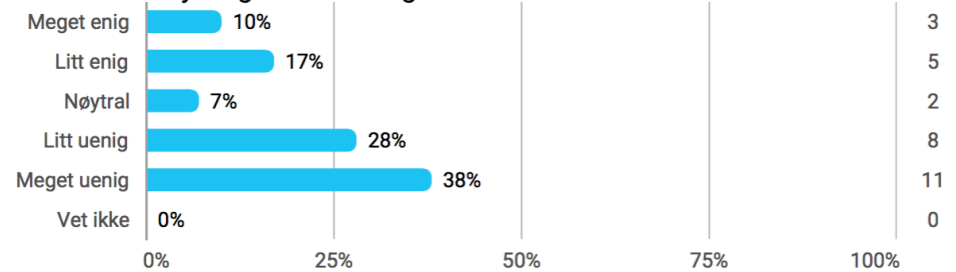
Møtereferater ble brukt til å loggføre beslutninger



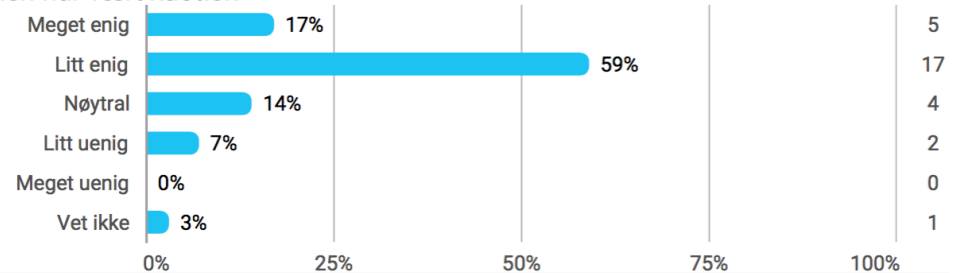
Det har vært god erfaringsoverføring i prosjektet



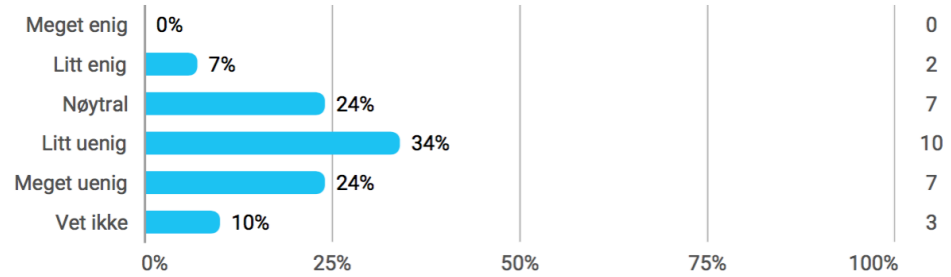
Kjøreregler og designkrav har vært tydelig beskrevet og standardisert fra starten av



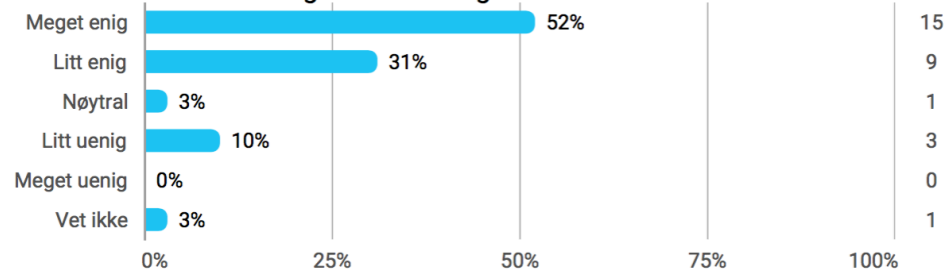
Informasjonsstrømmen har vært kaotisk



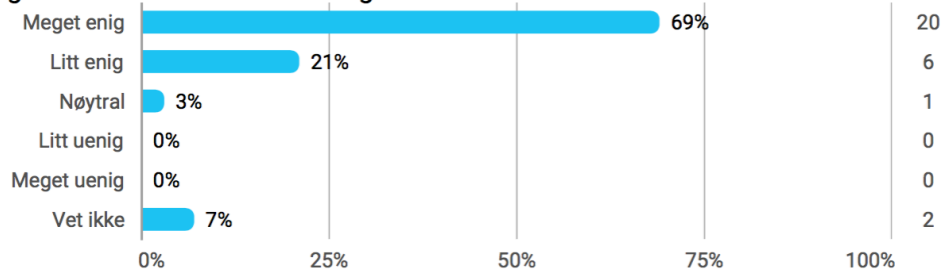
Prosjektet hadde systematiske prosesser for refleksjon og læring underveis



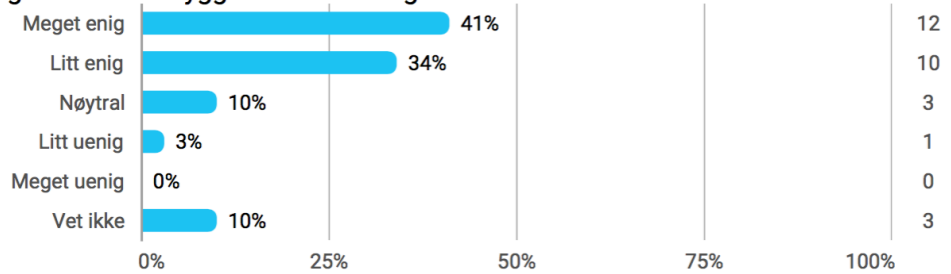
Det har vært utfordrende å finne tilbake til tidligere beslutninger



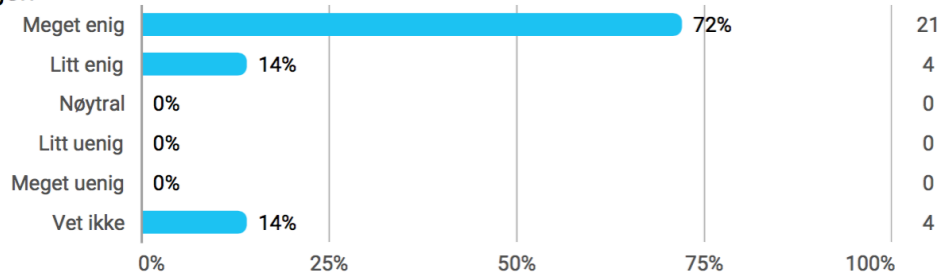
Prosjektet er kjennetegnet av sene brukerbeslutninger



Prosjektet er kjennetegnet av sene byggherrebeslutninger

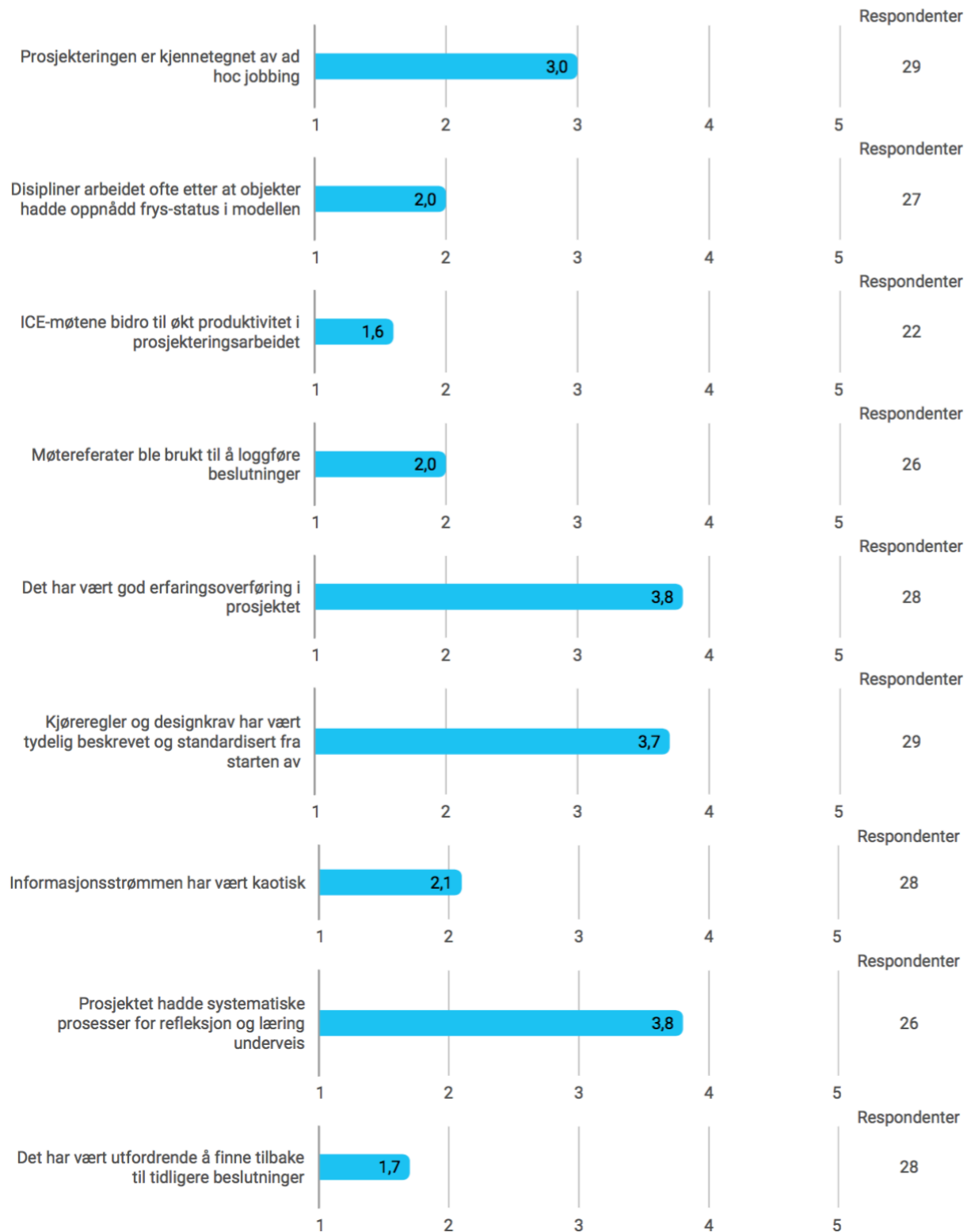


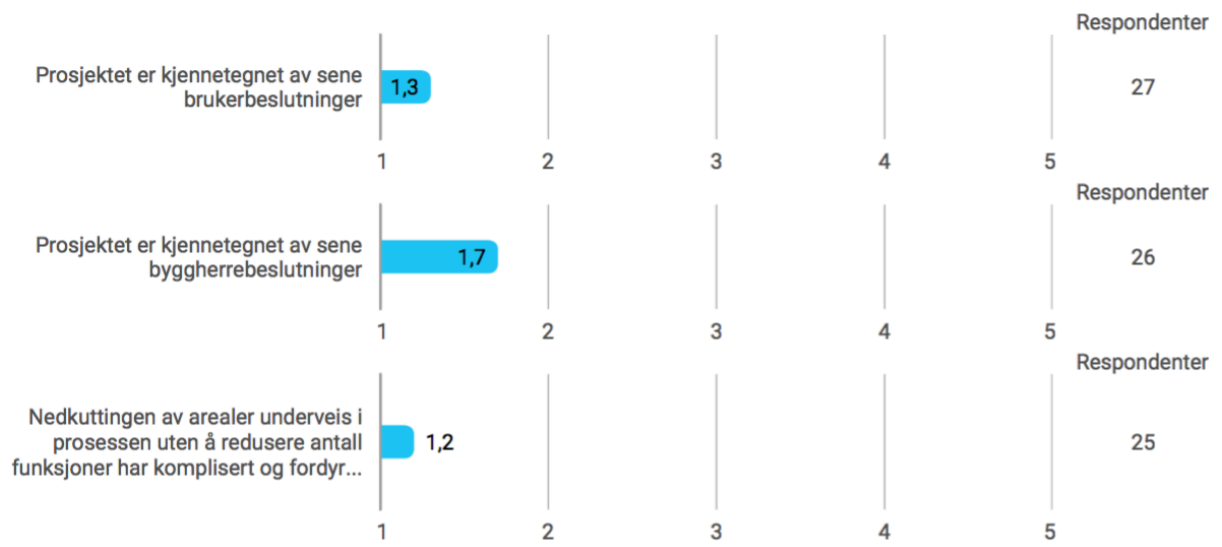
Nedkuttingen av arealer underveis i prosessen uten å redusere antall funksjoner har komplisert og fordyret prosjekteringen



Vedlegg 4 - Analyse av spørreundersøkelse







Vedlegg 5 - Forskningsartikkel

Lessons learned seen in a lean construction perspective from managing the design process of a large and complex construction project

Abstract

The construction project being studied covers a total of 63 000 square meters. The complexity of the project involves parallel design in 9 subareas, which entails considerable coordination of activities and interfaces both internally in the areas and between the individual areas. It is a government investment related to a relocation of a biomedical institute delivering research-based knowledge and contingency support in the fields of animal health, fish health and food safety. There are extreme requirements to Infection Prevention and Control in order to achieve world class classification in its field. For design alone it is spent 1 million hours with a value of more than 100 000 000 Euro. At most, 200 architects and engineers worked concurrently with design. The project is procured as a design-bid-build project divided into 40 different execution contracts. The design phase started in 2013 whereas detailed design was finished in 2019.

The theory underlying the study is inspired by lean design management and design theory linked to design as phenomena, including reciprocal interdependencies, iteration, decomposition, design as a wicked problem, learning, gradual maturation, etc.

First, the study describes how the design process was managed and structured. The emphasis is on detailed design, but preliminary design and follow-up design is also addressed. Furthermore, challenges that are revealed through interviews are presented. It is uncovered a widespread volume of negative iterations and waste, but several measures in the structuring are in line with lean thinking. Causes of problems are linked to the organization of the project both internally and in relation to strategy, and lack of strategy from the client's side.

Finally, the biggest challenges are listed and discussed in relation to how they could be solved by alternative organizing and structuring. The conclusion addresses lessons learned.

Keywords: Design, AEC-industry, lesson learned, complexity

Introduction

The concept of design in this paper includes both architectural and engineering design. While the design processes in construction make up a relatively small share of construction costs (about 10%), they are central from the perspective of the building's life cycle, including customer value, maintenance and operation costs (Evans, Harryott, Haste and Jones, 1998, in Gilbertson, 2006). Koskela, Bølviken and Rooke (2013) cf. "the design-production use process as a chain where the value is created as a potential in design, is embodied in production and is realised in the intended use by the client."

The management of the design process itself is, however, more complicated than the management of the production phase due to characteristics such as iterations, gradual maturation, learning, reciprocal interdependencies and the often-fragmented design process involving several different consulting companies, the client and construction companies as well as their subcontractors (Kalsaas & Moum, 2016). According to the Lean tradition, the management of design processes is often designated as Lean Design Management (LDM),

e.g. Koskela, Ballard and Tanhuanpää, (1997) and Uusitalo, Olivierin, Seppänen, Pikas and Peltokorpi (2017).

In order to achieve efficient design management, we need knowledge of design as phenomena, structured work methodology and feasibility. The paper studied one of Norway's largest AEC projects, which has a high degree of complexity. The aim is to study the structure of the applied methodology in relation to design as phenomena regarding uncovering improvements and lessons learned. Thus, the problem statement is as followed; Which lessons learned can be identified from the process of designing a biomedical institute in a lean design management perspective?

Methodology

This research deals with a single project and the most obvious research approach to choose is case study methodology. We are inspired by Sayer (1992) concerning critical realism (theoretically informed) case studies, then supplement this with Yin (2003) using the case study method. The study is primarily a contextual analysis in relation to explaining obstacles in the design work (lessons learned). In terms of structure, it is in the incentives associated with the applied contract strategy (design-bid-build). We consider incentives as a structure that together with mechanisms can lead to certain outcomes, given certain conditions (Sayer, 1992). Qualitative data collection was conducted using semi-structured interviews, of which two were with representatives from the client's project administration and eleven with the design team management.

This paper has been organized in the following manner. Firstly, the researchers acquired relevant literature which worked as a fundament for further work, which is backed up by Creswell (2009) and Yin (2003). Then, an interview guide was established with specific topics of what the researchers wanted to obtain information about. Thereafter, semi-structured interviews with key actors and leaders were organized whereas the interviews were recorded. From there, the empirical data was linked up towards acquired literature.

Theory

The TFV theory (Koskela, 2000) is a production theory related to lean production and lean construction. In this theory, production is seen as a flow of transformations that create value in the form of a product. Transformation is the traditional perspective of production, while flow and value are the new. Koskela (2000) links value to the quality movement, where value is implied as customer value. If we go deeper on, for example, the flow-section (Koskela 2000), it is emphasised on:

- remove waste
- reduce the lead time in the supply chain
- counteract variation
- simplify the supply chain (number of steps, parts, components and relations)
- increase flexibility
- increase transparency (visual management)
- continuous improvement

The TFV theory has furthermore been a fundamental inspiration for the Last Planner System (Ballard, 2000), a relevant methodology and thinking in Lean Construction, which is based on five principles. These are highlighted by Ballard, Hammond & Nickerson (2010) as:

1. Plan with greater detail the closer you get to the specific execution
2. Plan with those who will do the work
3. Identify and remove obstacles for scheduled tasks in teams
4. Make reliable commitments for work to be carried out as agreed
5. Learn from cases where problems with the implementation occurs

It is common in architecture and engineering to start with the client's specifications and then develop both concept and practical solutions in several stages. The method of design analysis does not guarantee that a solution will be found. On the contrary, in design one must often return to the problem by trying to solve it in a different way, i.e. a new iteration. Koskela & Kagioglou (2006) refer to the concept of iteration arising as a new idea in the 1980's based on the observation that when working, designers move between goals and means instead of following a linear path. Regarding the method aspect of project realization, a significant shift came with the arrival of agile methods in software development (Schwaber et al., 2002).

Ballard and Koskela (2013) link the works on rhetoric and design by Kaufer and Butler (1996) to the concept of wicked problems (Churchman, 1967). Moreover, because of complex interdependencies, the effort to solve one aspect of a wicked problem may either reveal or create other problems. The phrase was originally used in social planning and is contrasted with "tame problems", which are more linear in nature, where the concept of cause and effect is well known. We may relate wicked problems to the Cynefin framework for complexity (Snowden, 2000) to which the researchers relate wicked problems to the denoted "complex" and "chaotic" domains, where cause and effect is not known. Skaburskis (2008) refers to a conversation with Horst Rittel (e.g. Rittel, 1988) during which they discuss whether wicked problems can be solved. Rittel argued that they could be solved and that he did so every day. However, he also pointed out the fact that "We can't solve them by reference to the logic inherent in the problem." This citation corresponds well with the complex domain referred to in Cynefin, where cause and effect is not known beforehand but emerges after actions have taken place. Conklin (2006) generalized the concept of problem wickedness to areas other than social planning: 1) The problem will not be understood until after the formulation of a solution; 2) Wicked problems have no stopping rule; 3) Solutions to wicked problems are neither right nor wrong; 3) Every wicked problem is essentially novel and unique; 4) Every solution to a wicked problem is a "one shot operation"; 5) Wicked problems have no given alternative solutions. The relationship of wicked problems to design has been discussed in Stolterman (2008) and Rittel (1988), who argue that design is a wicked problem. In his book "Managing the design factory", Reinertsen (1997) also indirectly refers to wicked problems, arguing that designers are primarily driven by the desire to design best-in-class solutions, and that these tasks are therefore rarely delivered ahead of time because the solutions can always be improved upon. Moreover, several of the characteristics of rhetoric Kaufer and Butler (1996) (in Ballard and Koskela, 2013) relate to design are familiar with wicked problems, e.g. "only better or worse "answers", not right or wrong ones. Test: fitness for purpose."

Bridging theory and the case study

Reciprocal dependencies are fundamental to understanding what kind of phenomenon design is. These often play out in one or, often, multiple iterations. Iterations can be linked to the Kolb's experiential learning cycle (1984), where each loop represents a test, observation and reflections before identifying needs or desires to make a new iteration. The coordination mechanism for reciprocal dependencies is mutual adjustment, but if we have reciprocal dependencies then there are always sequential dependencies present of which plan is the coordination method. Design in complex projects can be considered a wicked problem, and as such there are logical end for when the design is finished as it always can be improved.

When we analyze the case in relation to lessons learned, we have chosen theory related to design as phenomenon and the TFM theory, which means trying to answer how the applied design management method handles:

- Transformation

- Flow, related to complexity with reference to the Cynefin framework, gradual maturity, learning and continuous improvement, interdependencies and coordination
- Value, linked to customer/user value

The case

The project is a collocation of a faculty of veterinary medicine and an independent biomedical research institute delivering research-based knowledge and contingency support in the fields of animal health, fish health and food safety. The project is the largest total construction in the university and college sector in Norway ever, and there are no similar facilities with the same composition of functions and institutions in the same building complex. The project costs are 7.1 billion plus 1 billion in user equipment. The project is a government investment where the Norwegian Ministry of Education and Research is the principal, with a government administrated company as the client. The project is organized as a design-bid-build with a total of 40 execution contracts. In relation to the design process, there were a group of four consultant companies that won the contract together. The contract applies to a complete design team for the execution of sketch and preliminary design, detailed project and follow-up during construction. Within the design team, there are coordinators, architects, landscape architects and discipline representatives from construction, electrical, HVAC, fire, acoustics and building physics, as well as 11 different special disciplines such as Infection Control, laboratory design and external environment.

The construction project comprises the veterinary building of 8 interconnected buildings of a total of 63,100 square meters. In the buildings there are a total of 2466 rooms, with both special areas such as laboratories, animal stalls, animal hospital and aquariums, as well as standard areas such as traditional teaching areas, offices, library and canteen. The project has great ambitions within HSE and the Environment, and all the buildings must pass the passive house standard. There are extreme requirements to Infection Prevention and Control in order to achieve world class classification in its field, and contagious conditions are therefore attached as the most important premise and design driver. The acquisition of the user equipment was carried out as a separate project under the auspices of the client, where the cost framework for the user equipment project is over NOK 1 billion divided into approx. 97,000 articles.

The planning period started in 2010, where the sketch project was prepared from August 2010 to December 2011. The preliminary design was initiated in December 2011 and delivered in June 2012. Startup detailed design was in March 2013, where the latest work drawings were sent out in the spring of 2019. About 200 architects and engineers have worked with design in total, whereas 120 worked simultaneously at the most. The planning group has been colocated since the start of the detailed design and moved to the construction site in August 2018. The construction period went in parallel with the design process, started in 2013 with completion in 2020. At most, approximately 750 construction workers were at the construction site.

Empirical findings

Detailed design before bid

The design process was rigged according to traditional principles of planning and management. Regarding progress, an overall design plan was established, where weekly planning meetings were organized. The design plan was coordinated with the client, the milestones were compiled in cooperation with the client and there have been weekly meetings with the client. In relation to progress control, it was reported progress towards each milestone whereas the earned value method was used to measure progress in relation to accrued hours. The main activities were planned up to 6 months ahead. The progress plan

was dynamic based on the needs on the construction site or priorities in the design team. The client's quality system indicates that final work drawings were to be delivered 12 weeks before startup on the construction site. For design alone it is spent 1 million hours with a value of more than 100 000 000 Euro. Figure 1 shows how the design team has prepared the overall design process. The first year of the detailed design was used to prepare a "basis for detailed design". The arrows on the figure represent different milestones in the project, of which the KN 4.2 means "startup design-bid in accordance with frozen geometry", KN 4.3 means "bidding ready for dispatch" and KN 4.4 means "work drawings for dispatch".

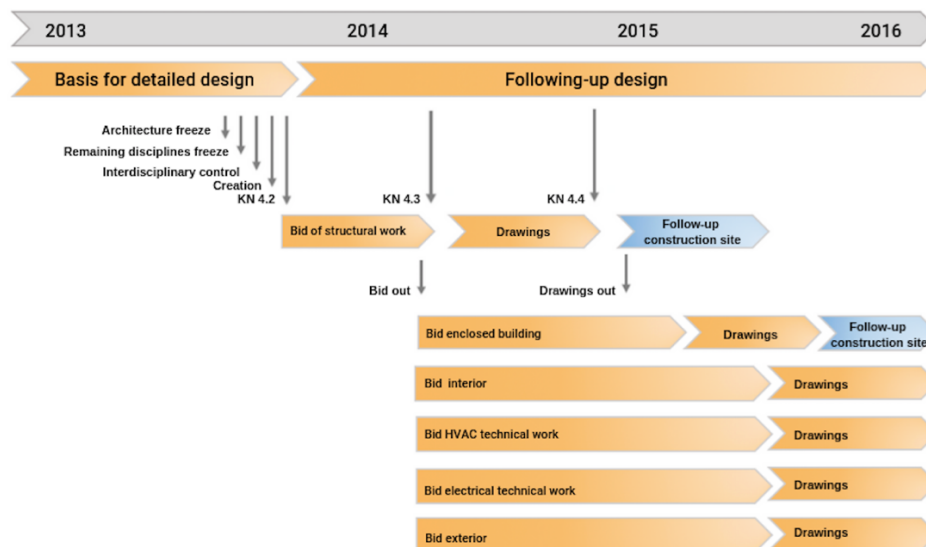


Figure 1. Illustration of the progress plan for the detail design phase

The project is divided by building numbers. This number applies to all levels within the specified area. From the startup of detailed design and until bidding, the project was organized under building-umbrellas. One challenge with this organization is that those responsible for the various buildings could each have their own idea of how the design should be carried out, which resulted in differences in the design across the buildings.

Because of a department decision, the project had to reduce the area in several rounds at relatively early stages, where it was reduced from approx. 120,000 sqm to approx. 63,000 sqm. Although the project cut in area, they did not renounce in features.

In conjunction with securing buildability, constructional analyses of critical areas such as in-and-outputs of shafts, locations and installations in shafts, traffic hubs on suspended ceilings, etc. were initially carried out. In the analysis it was decided a specific order for assembly, space requirements and access in each of the different areas. In addition, a Service and Maintenance note was prepared, which was to facilitate access to technical installations during operation.

BIM has been actively used in the project, both for drawings, calculations and quantity extraction, and to achieve better task understanding, coordination and interface planning, reporting, communication, quality assurance and control. There has been an overall BIM coordinator for the project, in addition to a BIM coordinator for each of the disciplines. The room-function-program was available one month before the bidding and is defined in the requirement database dRofus. All program changes and area changes have been continuously entered in the database so that the current room program is represented at any time. The Interaxo project hotel is used as a communication technology, mainly as a change request system and a management system for drawings.

The design team had little knowledge and experience with Lean beforehand. However, Lean processes were initiated in the detailed design after a Lean-actor with VDC

certification joined the design team. One of the measures introduced was ICE meetings. These started half a year before the bidding, were held 1-2 times a week and lasted a maximum of 45 minutes. The focus of the meetings was mainly collision testing. Items that were not resolved in the ICE meeting were moved to separate meetings.

Follow-up design

After contracting, the project went into a contracting organization. Most disciplines had 2-3 contracts each, while the HVAC had 16. The contract organization continued until the design team moved the office to the construction site. Challenging interfaces due to the fact that the contracts were divided by disciplines and not buildings resulted in a reorganization after the relocation. Design team, the client, construction management, and contractors were gathered in interdisciplinary teams spread across six progress fronts. Each front represented one or more buildings except for one, which were technical rooms across all the fronts. Each front works internally in interdisciplinary teams that have weekly meetings to solve design team challenges. In addition, there were separate production teams with meetings every other week to solve "burning issues" on the construction site. Regarding buildability in the model, there have been routines for carrying out collision checks in collaboration with the contractors. Here, there was an iteration process for the disciplines to rectify collisions, discuss solutions and run new control before delivery. In addition, controls have been run for tolerances.

There are two elements that occurred frequently as negative iterations in follow-up design. One is drilling holes. There could be faults from the concrete contractor, misplaced holes, missing holes, missing recesses or recesses that should not be there. As the design team molded while they were in the detailed design phase, they were prepared to take hole drills in retrospect. Yet they struggled with the process of air -and gas tight bushings. Here it has also been expressed that they did not receive information on what was molded. The measure regarding uncertainty with airtight bushings was to have measurements on each hole. Furthermore, the other typical challenge in the design was the ceiling. It was decided early on that the architect should draw out where all technical equipment should be placed in the ceiling plans. These were pre-fabricated in advance with all the holes. It has proved to be unsatisfactory.

For communication in conjunction with the contracts PIMS360¹ has been used as a tool for handling changes and recording deviations and clarification needs that have come from the construction site. In follow-up engineering, scanning was also used on the construction site. This was handled by an external supplier, which compared the BIM model with its scan, and redistributed deviations to the client. This gave the design team and the client a concrete overview of deviations and what was built in relation to the model, mainly concentrated around recesses in the buildings.

Empirical analysis

Transformation

The project mainly uses traditional methods for planning and management which are based on the waterfall model. Kalsaas (2019) claims that traditional methods are suitable for construction projects with a relatively high degree of predictability, but to a lesser extent for projects that are complex and unpredictable. The case study revealed that the project suffered from the issues commonly observed with the traditional methods of project planning. For example, it was planned in detail up to 6 months ahead, which proved to provide an

¹ PIMS360 is a suite of modules designed and developed by InDyne to support the financial and operational functions of large government contracts (InDyne, 2019).

unrealistic schedule. This resulted in increased time pressure among the design teams with a lot of ad hoc work. In several cases, the drawings were not good enough underlays for the building, and informants from the building management claims that the design team often had to re-design because of this.

Flow

Complexity with reference to the Cynefin framework:

It was pointed out by the design manager that "*this project is defined as one of the most complex construction projects in Norway ever (...), and there is very limited space for applying standardized solutions as few rooms are of same kind*". Several respondents pointed out that the project has been more complex than initially expected. One of the factors that made the project so complex is the disease control hierarchy. Other examples of why the complexity was miscalculated was a user process that lasted too long, as well as a late decision of the construction strategy by the owner. In combination with many parallel execution contracts this entailed late changes of already challenging interfaces in the design. Both the design team and the client underestimated, the amount of work required for the design process, which led to an unrealistic schedule and budget. About 1 million hours have been spent designing, which is three times more than planned, indicating with reference to the Cynefin framework, a move from the simple domain to the rather chaotic domain.

Several informants pointed out that HVAC installations complicated the design process. The project has 80 ventilation systems with different functions. Obtaining enough personnel who have experience from similar installations was part of the challenge. In cases where the progress of the design process was lagging, they increased staffing in the appropriate disciplines. The HVAC discipline was heavily recruited in 2015-2016, but the problem was providing resources that could model well enough in relation to the technical complicated tasks that were present. At one time, six different HVAC companies were in the project. This meant that the progress was maintained, but it went in the excess of the continuity of solutions. For example, HVAC had three lab units each with their own ventilation system on the roof, which resulted in three different solutions.

Based on the complexity of the project, several informants point out that driving rules and design requirements should have been more clearly described, and that these should have been stored in a design manual. Beforehand there should have been examples of how things should be done, and prototypes should have been prepared for how the designer should work. It should have been specified and predefined which products should be used and how the different guides should be relative to each other for the different types of rooms, to ensure that everyone knows exactly how to do it on the project and that things are done equally. When a group solves a problem that another group could have benefited of, the solution should have been drawn out, filed and made available to others. One informant points out that "*I think it could have been avoided frustration by those who project, if you had a blueprint.*" For example, every radiator was calculated, which gave 60 different radiator types. In this case, it could be discussed whether it would be more appropriate to select a few models in advance. The selected radiators might have become more expensive, but the money had not played a role in the cost of computing and engineering. An informant points out that this mindset has been a general challenge in the project with the statement "*the client does not look at the life cycle cost (LCC), but at the cost in this moment*".

Reciprocal dependencies and coordination:

Such a large and complex project is characterized by a large degree of reciprocal dependencies. One challenge in using traditional management methods is that these only consider aggregate and sequential dependencies. Controlling such projects with methods that

do not consider reciprocal dependencies as well as not accommodating the iterative and interdisciplinary cooperation is, according to Koskela and Howell (2000, p. 301), counterproductive, and the authors argue that "it creates self-inflicted problems that seriously undermine performance". This can also be referred to the Cynefin framework in that situations that are considered "simple" or "complex" can end up in the domain "chaotic".

The information flow goes through many links, from the decision maker at the top of the design team and the client, down to the individual employee in who will perform the job. Several pointed out the requirement for the information flow in this project has been even greater than otherwise due to the complexity of the project. "*Such a large project always has problems with the necessary information coming to the right person at the right time*". The communication and information flow across the disciplines and interfaces has at times been described as "*challenging and chaotic*". It is also emphasized that information can easily flow in many channels. Statements like "*Because we have so many resources to communicate on, communication can be a problem*", emphasizes this.

The fact that it is not clear which responsible the construction site should relate to and contact in the design team has resulted in cases being dealt with multiple times by different people. An example is installation of an inlet air vent in the ceiling where the design team had not planned the sequence of assembly between the contractors well enough. When the inlet air vent came with a different design than what was assumed, the teams responsible for ventilation, the building managers in that area and the contract managers began to solve this problem at the same time. Everyone went to different people in the design organization, and within a day and a half approx. 40 people in the organization worked with this problem.

On the contrary, a factor that has strengthened coordination is the collocation of the design team. It is beneficial that the designers and architects sit together and work, as this provide positive conditions for joint decision-making and effective communication. The collocation is highlighted as one of the project's greatest success factors, and many informants claim that such a large and complex project would never have been possible without collocation. Furthermore, it is agreed by both the design team and the client that the co-location to the construction site should have been done earliest as possible, and preferably at the same time as the client in 2016. However, this was not done because of the cost aspects.

To add, design meetings and ICE meetings have been used as frequent tools for clarifications and decisions. Regarding decisions made internally in the design team and between the design team and the client, this was written down in a decision log on which decisions were made. Within this area, new technology has not been exploited, and the working method was cemented in traditional ways of doing things. Actions lists and the like for following up cases there have been used Word or Excel format, which has sometimes made it difficult to track previous. There is agreed upon that decions should rather be stored in a database.

Gradual maturation:

A challenge in the design has been to handle gradual maturation. In the project implementation model, a procedure is described for how things should mature for the different phases. Overall, firstly it was the architect freeze, then freeze for other disciplines, and then interdisciplinary control. It turned out to be a great challenge to get all the project members to understand and relate to it. Very often, disciplines worked on things that had interdisciplinary consequences after the work had been frozen, creating inefficiency in the design and extra work. Questioning the architect if they often work after freezing, it was answered "*Yes, mostly always (...), one is never completely satisfied*".

It has been a challenge that some disciplines made changes with interdisciplinary consequences without informing other disciplines about it. As a result, several deliveries had

to be re-projected where the latest version did not reach the maturation it was intended. Furthermore, the work on the last building that was to be completed was time limited since it had been spent more time on the other buildings than planned. To cope with the progress and reach the overall project deadline, overtime was needed for four months, but informants pointed out that there was not enough time to get to the mature solutions, nonetheless.

An informant stated that "*After 8.5 years we have been in a hurry every single day. We just have to rush to get to finish, because there are short deadlines all the time*". Based on the project's compressed schedule, the disciplines had to work in parallel and have the same delivery dates. When one of the disciplines then lags, it affected all the disciplines. The fact that the HVAC was lagging resulted in technical decisions not being taken at the right time, of which the architects and electricians got their clarifications too late. They therefore continued their work based on their own assumptions, which in some cases created extra iterations and rework. This was a typical cause of waste of time, increased costs for the client and the design team, as well as negative iterations. It also affected the flow in the design process.

When asked whether the design team had a system for handling the disciplines' progression in relation to each other, one of the informants responded, "*instinct and experience*". A tool that was included in the project to handle gradual maturation was status assessment in the BIM model. This has only been exploited in part by some disciplines, without proper follow-up for the status. If the tool had been used sufficiently, they could have measured the model's maturation and obtained documentation on the number of objects that had not reached the expected maturation level. The project had no tools for whether the decision that formed the basis of the maturation level set was correct. An informant points out that "*if you misunderstood the user needs and put in the wrong functional requirements, it does not help that you have set status in relation to what you thought was right, if what you thought was right is wrong.*"

Learning and continuous improvement:

A challenge regarding time pressure was that it was not time to reflect, go back, and see if what was modeled or projected in the different buildings was connected. This is related to the fact that the project did not have systematic processes for reflection and learning along the way. However, statements such as "*(...) We learn a little every day*" are supported by informants and indicate that the individuals in the organization have a focus on continuous improvement that can be linked to Kolbs (1984, p. 21) learning cycle, where knowledge goes through a transformation process on how the acquired knowledge is transformed into new knowledge or action.

Furthermore, the project has seen people come and go during the 8-year long design process, for instance regarding automation. When people leave the project, tacit knowledge and valuable experience goes with them. In cases there has not been sufficient transfer of experience, which has presented challenges related to continuous flow in the process. Nevertheless, people who come in can bring the same unique aspects and transfer this to the processes. An example was one that came in with special expertise and experience from a similar project. The person had worked in radiation therapy where handling of deviations and quality checks was essential as the process irradiated people. The person wrote equipment and function notes for the rooms that had equipment with special requirements such as X-ray systems and MRI, which served as a basis for the disciplines involved. The experience and the instinct in which things can be done wrong or correctly were transferred to the project. When the rooms were being worked on, the person acted as a premise on requirements, purity and what is important there.

Value

Customer value has been sought through extensive user processes. This is a function project, where the results of the functions controls whether the project is successful. The project includes several equipment installations that are directly aimed at users' executive work and processes. The design team has been dependent on input from users to understand the room functions, and since the sketch project phase there have been regular meetings with the users to clarify user needs and requests. One informant pointed out that "What we build is worthless if the users and the customer cannot benefit from it." However, it was used too long to establish the room-function-program. Optimally, this should have been completed before the start of detailed design not one month prior to the bidding, where an agreement on what needs to be built in relation to user needs so that the design team could convert it to technical solutions. When technical solutions and functional needs were discussed simultaneously, it created resource demanding iteration processes.

Throughout the project, there has always been a desire for changes from the users' side, and it was noted that heavy user processes were still ongoing when things should have been frozen. This has greatly influenced the design process and progress, and it has been pointed out that the user process has not been managed strict enough from the client's part. Furthermore, a challenge has been that the design team has not succeeded in presenting solutions that correspond to the users' requirements and wishes. In order to ensure customer value, the design team has therefore made many redesigns. An example was an area of 3000 sqm that was drawn out completely 19 times. It generates waste in proportion to the time allocated to design when each conversion takes 2-3 weeks. Furthermore, as technology developed during the project period, users often wanted replacement to newer products. These inputs could come as late as in the final phase of detailed design. When products that were added to the model were changed, it had consequences for the projected solution. Consequently, the design team had to make multiple loops back in the design. The design team managed to handle the late user changes, but it resulted in accrued hours and a sub-optimal process. Both informants from the client and the design team pointed out that the user process, decision-making system, responsibility matrices and schedules should have been structured and planned better from the beginning.

Conclusion

When it comes to lesson learned, the underlying data indicates that a main problem is that the design team approached design in a way too simple manner which is expressed in a waterfall thinking method that belongs to the simple domain, and which is based on a transformation perspective and sequential coordination (plan). This was reflected in unrealistic progress plans. The structure that is the basis for the design management does not seem to capture the handling of all the reciprocal dependencies arising from the underlying data base in this very complex project. Co-location of the designers has occasionally enabled concurrent engineering which is an effective way of dealing with reciprocal dependencies.

A good flow requires a more agile design management and coordination embedded in an efficient structure. The flow in the design work is disturbed by late client and user decisions, also regarding strategic decisions on how to divide the project into execution contracts. This has generated a lot of negative iterations and rework. Another important factor seems to be that there has been a lack of design expertise around the extreme requirements related to the infection control of rooms and buildings. Here one could consider searching for foreign expertise. There has also been registered a lack of capacity within HVAC, where several companies have worked in parallel with different solutions to equal challenges, and where the coordination through the degree of standardization has obviously failed. The following-up design phase sometimes seems to be chaotic when several actors

work to solve the same problem without knowing about each other. This has resulted in waste and high design costs. We cannot see that learning and continuous improvement have been put into system in design, and there has been a lack of a good method to handle gradual maturation.

The data indicates that costs in the short term are prioritized rather than looking at solutions in a life cycle perspective, which can result in reduced customer value related to operation and maintenance. Cuts in financing without renouncing in functionality has been challenging in the design process and has contributed to an expensive solution. There are measures within target value design (Zimina, Ballard & Pasquire, 2012) and choosing by advantage (Arroyo, Tommelein, Ballard & Rumsey, 2016) that could have been used to increase customer value. The customer probably gets its functionality, but likely at an unnecessarily high cost. The customer has partly this responsibility, even through late strategic clarifications and user processes that require extra iterations for the designers.

References

- Arroyo, P., Tommelein, I. D., Ballard, G., & Rumsey, P. (2016). Choosing by advantages: A case study for selecting an HVAC system for a net zero energy museum. *Energy and Buildings, 111*, 26-36.
- Ballard, G. (2000). *The Last Planner System of Production Control*. School of Civil Engineering, The University of Birmingham, UK.
- Ballard, G. & Koskela, L. (2013). Rhetoric and design. *International conference on engineering design, ICED13*, Seoul, Korea: Sungkyunkwan university.
- Ballard, G., Hammond, J. & Nickerson, R. (2010). Production Control Principles. In *17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (489-499), Haifa, Israel: IGLC.
- Churchman, C. W. (1967). Wicked Problems. *Management Science*, Vol. 14, No. 4, December, Guest Editorial.
- Conklin, J. (2006). *Dialogue mapping: building shared understanding of wicked problems*. Chichester, England: Wiley Publishing.
- Creswell, J. W. (2009). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (3rd ed.). Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- Evans, R., Harryott, R., Haste, N & Jones, A. (1998). *The long-term costs of owning and using buildings*. London: Royal Academy of Engineering.
- Fosse, R., Ballard, G. & Fischer, M. (2017). Virtual Design and Construction: Aligning BIM and Lean in Practice. In *25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Heraklion, Greece, pp 499-506.
- Gilbertson, A. L. (2006). Briefing: Measuring the value of design, Proceedings of the Institution of Civil Engineers. *Municipal Engineer 159*, Issue ME3, 125-128.
- Hamzeh, F.R., Ballard, G. & Tommelein, I.D. (2009). Is the Last Planner System Applicable to Design? A Case Study. In *17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Taipei, Taiwan, pp 165-176.
- InDyne. (2019). PIMS360. Retrieved 14. april 2018 from <http://www.indyneinc.com/corporate/capabilities/pims360/tabid/103/default.aspx>

- Kalsaas, B.T. (2019). Lean Construction: A management model for interdependencies in detailed design. Final draft (accepted by the editors to be published) to a book project «Lean Construction: 25 years of development», Taylor Francis, Routledge. Forthcoming 2019.
- Kalsaas, B.T. & Moum, A. (2016). Design and engineering understood as processes of learning. In *Proceedings of the CIB World Building Congress 2016*. WBC16. Tampere University of Technology p. (210-221).
- Kaufers, D. S. & Butler, B. S. (1996). *Rhetoric and the Arts of Design*, Lawrence Erlbaum, Mahwah, NJ.
- Khanzode, A., Fisher, M., Reed, M. & Ballard, G. (2006). A guide to applying the principles of Virtual Design & Construction (VDC) to the lean Project Delivery Process, *CIFE Working paper #093*, Stanford, CA.
- Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development* (Vol. 1). Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Koskela, L. (2000). *An exploration towards a production theory and its application to construction*. VTT Technical Research Centre of Finland.
- Koskela, L. & M. Kagioglou, M. (2006). The proto-theory of design: The method of analysis of the ancient geometers, *International design conference – Design 2006*, Dubrovnik – Croatia (53-60).
- Koskela, L., Ballard, G. & Tanhuanpää, V. (1997). Towards Lean Design Management. In *5th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Gold Coast, Australia.
- Koskela, L., Bølviken, T. & Rooke, J. (2013). Which Are the Wastes of Construction? In *21th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Fortaleza, Brazil, p. (3-12).
- Koskela, L. & Howell G. (2002) The underlying theory of project management is obsolete. In D.P Slevin, D.I. Cleland & J.K. Pinto (Eds.) *Proceedings of PMI Research Conference 2002* (pp. 293-302). Newton Square, PA: Project Management Institute.
- Kunz, J. & Fisher, M. (2012). Virtual Design cases & studies, *Working Paper #097*, Center for Integrated Facility Engineering, Stanford, CA.
- Reinertsen, D. G. (1997). *Managing the design factory: a product developer's toolkit*. New York, USA: Free Press.
- Rittel, Horst W. J. (1988). The Reasoning of Designers. *Working Paper A-88-4*, Institute fur Grundlagen der Planung, Stuttgart.
- Sayer, A. (1992). *Method in Social Science: A Realist Approach*, 2nd edition. Routledge, London, UK.
- Schwaber, K. and Beedle, M. (2002). *Agile software development with Scrum*, Prentice Hall.
- Skaburskis, A. (2008), The origin of “Wicked problems”, *Planning Theory & Practice*, Vol. 9, No. 2, 277-208.
- Snowden, D. J. (2000). Cynefin: a sense of time and space, the social ecology of knowledge management. In Despres, Charles; Chauvel, Daniele (October 2000). Knowledge Horizons: The Present and the Promise of Knowledge Management. Butterworth-Heinemann.
- Stolterman, E. (2008). The nature of design practice and implications for interaction design research. *International Journal of Design* 2.1 (2008): 55-65.

Uusitalo, P., Olivieri, H., Seppänen, O., Pikas, E., & Peltokorpi, A. (2017). Review of lean design management: processes, methods and technologies. *In Proceedings of the 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, Heraklion, Greece (pp. 571-578).

Yin, R. K. (2014). *Case Study Research Design and Methods* (5th ed.). Thousand Oaks, CA: Sage.

Zimina, D., Ballard, G., & Pasquire, C. (2012). Target value design: using collaboration and a lean approach to reduce construction cost. *Construction Management and Economics*, 30(5), 383-398.