

Forbedring av produksjonssystem i byggeprosjekt

Bruk av operasjonsanalyse og Lean
Construction-prinsipper

Mats Helland

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: juni 2015

Hovedveileder: Frode Olav Drevland, BAT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg, anlegg og transport



Oppgavens tittel: Forbedring av produksjonssystem i byggeprosjekt	Dato: 10.06.2015		
	Antall sider (inkl. bilag): 116		
	Masteroppgave	X	Prosjektoppgave
Navn: Mats Helland			
Veileder: Frode Drevland, NTNU			

Ekstrakt:

Dagens situasjon i byggenæring er preget av dårlig arbeidsflyt, høy andel av sløsing, lav produktivitet og store effektivitetsforskjeller mellom prosjekter. Disse problemene skyldes i høy grad mangler ved dagens prosjektgjennomføringsmodell, som utelukkende baserer seg på prosjektstyring gjennom budsjetter og fremdriftsplaner, og mangler dermed overordnet produksjonskontroll.

Lean Construction er en produksjonsfilosofi inspirert av konsepter fra fabrikkproduksjonen i Toyota-systemet (Lean Manufacturing), og søker å maksimere verdi og minimere sløsing, mens man jobber mot umiddelbar leveranse av akkurat det kunden ønsker. Da lean produksjonssystemer baserer seg på en langt mer direkte form for produksjonskontroll, har disse systemene klare fordeler over dagens tradisjonelle produksjonssystemer hva gjelder de nevnte utfordringene.

Det faktum at lean baserer seg på et omfattende teoretisk grunnlag skaper imidlertid utfordringer for implementasjon, og mange oppfatter denne teoretiske barrieren som uoverkommelig. Gjennom å starte implementasjonen på en mindre del av et produksjonssystem kan denne barrieren brytes ned gjennom å gi prosjektdeltakere egne erfaringer med lean-teori anvendt i praksis. Dette kan motivere til videre utforskning og utprøving, og dermed lede til større mottakelighet for fullstendig implementasjon på organisasjonsnivå.

Denne masteroppgaven undersøker hvilke muligheter for forbedring som kan avdekkes ved bruk av operasjonsanalyse på en mindre del av et produksjonssystem gjennom en casestudie, med fokus på forbedring av både produksjon og produksjonskontroll ved bruk av lean-teori. Disse forbedringene ble implementert og testet, og resultatene rapportert etter seks uker.

De rapporterte resultatene vitnet om kvalitative forbedringer i form av økt transparens og samhandling, og prosjektgruppen beskrev opplevelsen av endringene som positiv. De kvantitative resultatene viste derimot en nedgang i PPU (fra 63,4 til 31,6 %), som vitnet om redusert planpålitelighet. Dette antas å skyldes det store fokuset på å basere ukeplaner på hovedfremdriftsplanen, hvilket medførte at PPU kun gjenspeilet påliteligheten til denne planen. Dermed ga ikke PPU noen indikasjon på arbeidsflyten eller produktiviteten for arbeidsoppgavene som faktisk ble utført.

Konklusjonen for oppgaven er derfor at forbedringer i forbindelse med produksjon og flytaktiviteter er oppnåelige, mens tiltak for økt produksjonskontroll krever større omfang og mer omfattende implementering på et tidligere tidspunkt for å oppnå kvantifiserbar effekt.

Stikkord:

1. Lean Construction
2. Operasjonsanalyse
3. Produksjonssystem
4. Produksjonskontroll

Mats Helland

FORORD

Denne masteroppgaven er det avsluttende arbeidet under hovedprofilen Prosjektledelse i studieprogrammet Bygg- og miljøteknikk ved NTNU, og ble utarbeidet våren 2015. Oppgaven er motivert av Lean Constructions inntog i Norge, og det økende fokuset på produktivitet og effektivisering i byggenæringen. LAB Entreprenør i Bergen har vært samarbeidspartner under utarbeidelsen av oppgaven, og stilte med prosjekt for gjennomføring av en casestudie. Målet med oppgaven var å avdekke hvilke forbedringer som kan tilføres produksjons- og produksjonskontrollaktivitetene relatert til en utvalgt arbeidsoperasjon ved bruk av operasjonsanalyse og Lean Construction-teori. I forbindelse med casestudien var det også nødvendig å undersøke mulige utfordringer forbundet med innføring av endringer i etablerte rutiner.

Gjennom analyse av dagens situasjon ble forbedringer til dagens rutiner foreslått, og målet var at det studerte prosjektet og LAB Entreprenør skulle innlemme disse i sine standardrutiner. En annen målsetning var å øke de involverte prosjetrepresentantenes bevissthet og kunnskap om Lean Construction, og inspirere til videre utforskning.

I forbindelse med utarbeidelsen av oppgaven vil jeg takke veileder Frode Drevland for konstruktive innspill og tilbakemeldinger, samt for henvisninger til relevant litteratur. Jeg vil også takke min far for tilbakemeldinger og studiekamerat Einar for bidrag til korrekturlesing.

Under gjennomføringen av casestudien var flere personer involvert, og en spesiell takk rettes til prosjektleder Gard Kvalheim fra LAB Entreprenør som har stilt nødvendige ressurser til disposisjon og bidratt under innføringen av de foreslåtte forbedringene i prosjektadministrasjonens rutiner. Uten hans engasjement og tro på oppgaven ville gjennomføringen blitt svært vanskelig. En spesiell takk rettes også til anleggsleder Jan Erik Skjelanger, som har stilt seg til disposisjon gjennom hele varigheten av feltarbeidet, og bidratt med nødvendig informasjon og konstruktive innspill. En generell takk rettes til øvrige involverte i prosjektgruppen for deres deltakelse i felles prosjektmøter, konstruktive innspill og deres åpenhet for å prøve ut de foreslåtte forbedringene.

Mats Helland

Trondheim,

7. juni 2015

SAMMENDRAG

Dagens situasjon i byggenæring er preget av dårlig arbeidsflyt, høy andel av sløsing, lav produktivitet og store effektivitetsforskjeller mellom prosjekter. Disse problemene skyldes i høy grad mangler ved dagens prosjektgjennomføringsmodell, som utelukkende baserer seg på prosjektstyring gjennom budsjetter og fremdriftsplaner. Dette ensrettede fokuset leder til fravær av overordnet og direkte produksjonsstyring, hvilket overlates til arbeidslagene selv.

Lean Construction er en produksjonsfilosofi inspirert av konsepter fra fabrikkproduksjonen i Toyota-systemet (Lean Manufacturing), og søker å maksimere verdi og minimere sløsing, mens man jobber mot umiddelbar leveranse av akkurat det kunden ønsker. Da lean produksjonssystemer baserer seg på en langt mer direkte form for produksjonskontroll, har disse systemene klare fordeler over dagens tradisjonelle produksjonssystemer hva gjelder de nevnte utfordringene.

Det faktum at lean baserer seg på et omfattende teoretisk grunnlag skaper imidlertid utfordringer for implementasjon, og mange oppfatter denne teoretiske barrieren som uoverkommelig. Gjennom å starte implementasjonen på en mindre del av et produksjonssystem kan denne barrieren brytes ned gjennom å gi prosjektdeltakere egne erfaringer med lean-teori anvendt i praksis. Dette kan motivere til videre utforskning og utprøving, og dermed lede til større mottakelighet for fullstendig implementasjon på organisasjonsnivå.

Basert på disse faktorene undersøker denne masteroppgaven resultatene av å tilføre lean-inspirerte forbedringer på en mindre del av et produksjonssystem. Det ble tatt utgangspunkt i montasje av hulldekker, og prosesser knyttet til denne arbeidsoperasjonen. Oppgavens problemstilling er «Hvilke forbedringer kan tilføres produksjonskontroll og montasje av hulldekker ved bruk av operasjonsanalyse og Lean Construction-prinsipper?», og denne ledet videre til følgende forskningsspørsmål: (1) Hvilke praktiske forhold og utfordringer må tas hensyn til under gjennomføring av operasjonsanalyser, (2) Hvilke kvalitative forbedringer kan tilføres montasje av hulldekker, (3) Hvilke kvalitative forbedringer kan tilføres produksjonskontroll av hulldekker, (4) Hvilke kvantitative resultater kan disse forbedringene lede til og (5) Hvilke muligheter har bedriften for videre forbedringsarbeid etter endt casestudie?

For å svare på forskningsspørsmålene ble en casestudie gjennomført på prosjektet T3 Flesland, der LAB Entreprenør var hovedentreprenør for råbygg. Gjennom operasjonsanalyse av hulldekkemontasjen ble områdene med størst forbedringspotensial avdekket, og forbedringer for økt produksjonskontroll og mer effektiv produksjon foreslått basert på lean-teori. De foreslåtte forbedringene ble så implementert og testet, og resultater fra implementeringen ble rapportert etter seks uker av en sammensatt prosjektgruppe med tilknytning til casestudien.

Casestudiens operasjonsanalyse avdekket dårlig arbeidsflyt, med stadige avbrudd i produksjonen, som igjen førte til fremdriftsproblemer for hulldekkemontasjen (og betongelementmontasjen generelt). I tillegg var påliteligheten til ukeplanene lav, og gjennomsnittlig PPU ble kalkulert til 63,4 %. Problemene ble gjennom nærmere analyse sporet tilbake til stort fokus på prosjektstyring gjennom hovedfremdriftsplan, manglende fokus på produksjonskontroll og svak logistikkplanlegging og -håndtering. Dette er i tråd med Ballard (2000) sin påstand om fravær av overordnet produksjonskontroll i tradisjonelt styrte produksjonssystemer og Koskela (1992) sin påstand om ensrettet fokus på transformasjoner, og dermed ignorering av flytaktiviteter.

På bakgrunn av funnene i observasjonsfasen, og med forankring i prinsipper og praksis beskrevet i det teoretiske rammeverket, ble en ny ukeplantavle utarbeidet (whiteboard på 120x250 cm) og nye rutiner for ukeplanlegging og logistikkplanlegging og -håndtering ble

foreslått. Disse endringene ble helt eller delvis implementert, og omfattet i grove trekk økt samarbeid ved planlegging, økt fokus på klargjøring av arbeid og innføring av en logistikkplan.

De kvalitative resultatene rapportert fra prosjektgruppen tydet på en positiv utvikling i prosjektet, både med hensyn på transparens, arbeidsflyt og logistikkavvikling. De kvantitative resultatene vitnet derimot om en negativ utvikling i forbindelse med planpålitelighet, og PPU sank fra 63,4 % til 31,6 % på åtte uker. Til tross for at arbeidsflyt og planpålitelighet har en viss relasjon, er ikke de kvalitative og kvantitative resultatene direkte motstridende. Da ukeplanene var basert nesten utelukkende på hovedfremdriftsplanen, reflekterte PPU påliteligheten til nettopp denne, og *ikke* arbeidet som faktisk ble utført på byggeplassen. På bakgrunn av denne observasjonen er det tydelig at det ved sporing av PPU er viktig å være klar over hva som faktisk måles, og at PPU ikke nødvendigvis gir et korrekt bilde av arbeidsflyt og produktivitet.

Det er også tydelig at endringer relatert til planleggingsrutiner og innføring av produksjonskontroll bør komme på et så tidlig tidspunkt som mulig, da det er svært vanskelig å påvirke disse underveis i prosjektet. Resultatene tyder også på at mindre endringer relatert til logistikkplanlegging og –håndtering kan lede til gode resultater, og at forbedringer for å oppnå produksjonskontroll er langt mer omfattende. Da tiltak for økt produksjonskontroll baserer seg på en samling av prinsipper og teknikker/verktøy som er gjensidig avhengige av hverandre, er det sannsynligvis bedre muligheter for suksess gjennom fullstendig implementering av eksempelvis Last Planner-systemet. Det later også til å være betydelig større motstand assosiert med implementering av lokale/isolerte forbedringer i forbindelse med produksjonskontroll enn med logistikk og produksjon, hvilket også stemmer overens med litteraturen.

En annen slutning som kan dras fra utarbeidelsen av forslag til forbedringer var at tiltak relatert til logistikk og produksjon kunne komme fra prosjektdeltakerne selv, og at det krevdes lav grad av forberedelse av slike forslag. I prosjektmøtet for logistikk og produksjonsforbedring ble kun analysematerialer fra operasjonsanalysen (mannskapsdiagram, flytdiagram/prosessdiagram, avbruddskartlegging og prosesskart) lagt frem, og dette dannet grunnlaget for de fleste forbedringene på dette området. I forbindelse med produksjonskontroll krevdes derimot langt mer forarbeid av studenten, og før prosjektmøtet var et nesten komplett ukeplansystem utarbeidet som grunnlag for diskusjon. Årsaken var behovet for kjennskap til lean-teori for å kunne foreslå endringer på dette området. Større involvering fra studenten i forbindelse med utforming av sistnevnte forbedringer kan også ha bidratt til den økte motstanden mot endring i forhold til forslagene som kom fra prosjektdeltakerne selv.

I forbindelse med oppgavens problemstilling er konklusjonen for forbedringer av produksjon at flytaktiviteter for hulldekkemontasje kan forbedres gjennom bruk av operasjonsanalyse og Lean Construction-prinsipper. Slike forbedringer kan også sannsynligvis oppnås for arbeidsoperasjoner generelt, da flytaktiviteter er generiske og varierer lite fra operasjon til operasjon og fra prosjekt til prosjekt.

Som konklusjon i forbindelse med produksjonskontroll kan visse kvalitative forbedringer oppnås, som økt transparens og økt samhandling. Det er imidlertid knyttet langt større utfordringer til endring av produksjonskontrollprosesser enn til endring av produksjonsprosesser. For å oppnå en betydelig økning i produksjonskontroll vil det være mer hensiktsmessig med utforming og innføring av endringer i kontrollerte omgivelser før prosjektet starter. Denne casestudien har vist at operasjonsanalyser er velegnet for å tilføre forbedringer til etablerte rutiner og gjøre mindre endringer, men er i forbindelse med utforming av nye rutiner og mer omfattende endringer ikke egnet. Dersom produksjonssystemet hadde blitt utformet for økt produksjonskontroll før byggestart, kunne eksempelvis operasjonsanalyse blitt brukt for å forbedre de allerede etablerte rutinene. Hvorvidt resultatene av implementasjon av slike endringer lar seg kvantifisere er avhengig av korrekt grunnlag for kalkulering av PPU.

ENGLISH SUMMARY

The current situation in the construction industry is characterized by poor workflow, a large share of waste, low productivity and significant differences in efficiency between projects. These problems are mainly caused by weaknesses in the traditional project delivery system currently used, which is solely based on project management through budgets and schedules. This narrow focus leads to the absence of a direct form of production control, which is usually left to the work teams themselves.

Lean Construction is a production philosophy inspired by concepts derived from the successful Toyota Production System, with a goal of delivering a product as quickly as possible, while minimizing waste and maximizing value. A key component of Lean Construction is production system design in construction projects for increased production control, and hence lean production systems have clear advantages over the traditional production system.

However, the fact that Lean Construction relies on a comprehensive theoretical foundation leads to challenges associated with implementation, and many view the theoretical barrier as overwhelming. By starting implementation on a smaller piece of the production system, this barrier can be broken down by giving the project participants hands-on experience with lean theory applied in practice. This can result in increased motivation for further exploration and experimentation, and lead to better receptiveness for implementation at the organizational level.

Based on these factors, this thesis explores the results of introducing lean-inspired improvements to a limited part of a production system by focusing on the installment of hollow core concrete elements, and control processes related to this work operation. The following problem was formulated: “What kind of improvements can be introduced to the production control and installation of hollow core slabs by the application of operations analysis and Lean Construction principles?” This problem led to the following research questions: (1) What kind of practical issues and challenges are associated with the execution of operations analyses, (2) What kind of qualitative improvements can be introduced to the installation of hollow core slabs, (3) What kind of qualitative improvements can be introduced to the production control of hollow core slab installation, (4) Which quantitative results can these lead to, and (5) What possibilities do the project have for further improvement after the case study?

To answer these questions, a case study was conducted on the project T3 Flesland (new airport terminal building), on which LAB Entreprenør was the general contractor for the structural work. By conducting an operations analysis, the areas with the largest potential for improvement were identified, and measures for increased production control and increased efficiency in production were suggested based on lean theory. The suggested measures were implemented and tested, and six weeks after the fieldwork was completed, results from the implementation were reported by a project group with connection to the case study.

The case study’s operations analysis uncovered poor workflow with repeated interruptions in production, which lead to poor progress in relation to the schedule for the hollow core slab installation. In addition to this, the reliability of the plans was low, and a study of the weekly work plans resulted in an average PPC of 63,4 %. Through a thorough analysis, the problems were traced back to a large focus on project management based on the master schedule, a lack of focus on production control and poor logistics planning and handling. This is in accordance with established theory, which states that there is a lack of production control in traditionally managed production systems (Ballard, 2000) and that the uniform focus on conversions leads to the omission of flow activities (Koskela, 1992). Based on the findings from the observation phase and inspired by lean principles and practice, a whiteboard for weekly work planning was introduced, along with a set of revised planning practices. These included increased

cooperation, increased focus on making work ready and a new logistics plan with new routines for on-site logistics handling.

The qualitative results indicated a positive development in the project in regards to transparency, workflow and logistics. The quantitative results, however, indicated a negative trend in the reliability of the weekly work plans, and the PPC decreased from 63,4 to 31,6 % in eight weeks. In spite of the interrelation between workflow and plan reliability, the qualitative and quantitative results are not contradictory to each other. As the weekly work plans were based solely on the master schedule, the PPC was an indication of the reliability of the master schedule, and not of the work tasks actually being performed by the crews. Based on this observation, it is obvious that when tracking PPC, careful consideration of what is actually being measured must be done, and that PPC does not necessarily indicate the level of workflow or productivity.

It also became obvious that changes in routines related to planning to increase production control should be introduced as early as possible, as these processes are difficult to affect during the project execution. The results indicate that smaller changes, such as those related to production and logistics, can lead to good results, and that measures to improve production control are far more comprehensive. As such improvement relies on a collection of principles and techniques that are mutually dependent upon one another, the chances of success would probably be greater if a complete framework was implemented, such as the Last Planner System. Another observation is that there seems to be a larger degree of resistance related to implementation of measures for production control than for improvements to production and logistics, which is in accordance with the literature as well.

Another finding from the case study was that measures for improving production and logistics related processes can come from the project participants themselves, and require little preparation from the researcher. Measures for increased production control, however, demanded a large degree of preparation, and before the analysis was presented to the project team, a complete suggestion to a new weekly work plan was formulated. The reason was the need for extensive knowledge of lean theory in order to identify appropriate measures. Larger involvement from the researcher in the development of production control measures might also explain some of the increased resistance to implementation compared to the measures suggested by the project group itself.

In conjunction with the thesis' problem, the conclusion in regards to measures for improvements in production is that flow activities related to hollow core slab installation can be improved by the application of operations analysis and Lean Construction principles. The chances of experiencing such results for other work operations are also present, as flow activities are generic, and vary little from project to project.

Regarding production control, certain qualitative results can be expected, such as increased transparency and cooperation. On the other hand, measures for increased production control have proven to be far more challenging to implement than those for increased efficiency in production. In order to increase production control substantially, measures should be developed and implemented before production starts, in a controlled environment. The case study showed that operations analyses are suitable for introducing incremental improvements to established routines. When it comes to more comprehensive measures, however, the approach is somewhat insufficient. If the production system had been designed for production control before production started, an operations analysis could have been suitable for improving the established routines. Whether the results of operations analyses can be quantified, this depends on the basis of which the PPC is calculated from.

INNHOLD

FORORD	i
SAMMENDRAG	iii
ENGLISH SUMMARY	v
1. INNLEDNING	1
1.1 OPPGAVENS FORMÅL	2
1.2 BAKGRUNN FOR VALG AV OPPGAVE	3
1.3 AVGRENSNINGER	3
1.4 OPPBYGNING AV OPPGAVEN	4
2. METODE	5
2.1 VALG AV FORSKNINGSMETODE	5
2.2 KVANTITATIV OG KVALITATIV METODE	6
2.3 TEORETISK FORSKNING	7
2.3.1 LITTERATURSTUDIE	7
2.3.2 FREMGANGSMÅTE	7
2.4 EMPIRISK FORSKNING	8
2.4.1 KONSTRUKTIV FORSKNINGSMETODE	8
2.4.2 CASESTUDIE	10
2.5 VURDERING AV RESULTATER	11
2.5.1 VALIDITET	11
2.5.2 RELIABILITET	12
2.6 VURDERING AV VALGT METODE	13
3. TEORETISK RAMMEVERK	15
3.1 INNFØRING I LEAN CONSTRUCTION	15
3.1.1 BEGREPET LEAN	15
3.1.2 LEAN I HISTORISK PERSPEKTIV	17
3.1.3 LEAN I BYGGEBRANSJEN (LEAN CONSTRUCTION)	18
3.2 UTFORMING AV PRODUKSJONSSYSTEMER	18
3.2.1 TRANSFORMASJON	19
3.2.2 FLYT – MINIMERE SLØSING	20
3.2.3 VERDI – MAKSIMERE VERDI	24
3.3 KONTROLL AV PRODUKSJONSSYSTEMER	25
3.3.1 PROSJEKTSTYRING OG PRODUKSJONSSTYRING	25
3.3.2 PUSH OG PULL	27
3.3.3 SKJERMING AV PRODUKSJON	29
3.3.4 STANDARDISERING	31
3.4 FORBEDRING AV PRODUKSJONSSYSTEMER	32
3.4.1 KONTINUERLIG FORBEDRING	32
3.4.2 STANDARDISERING	32
3.4.3 LÆRING	33
3.4.4 TRANSPARENTE PROSESSER	35
3.5 VERKTØY OG METODER FOR KONTROLL OG FORBEDRING AV PRODUKSJONSSYSTEMER	37
3.5.1 LAST PLANNER-SYSTEMET	37
3.5.2 SDCA OG PDCA	41

3.6	IMPLEMENTERING AV LEAN	43
3.6.1	UTFORDRINGER	43
3.6.2	SUKSESSFAKTORER OG IMPLEMENTASJONSSTRATEGI	46
4.	OPERASJONSANALYSE	51
4.1	GENERELT	51
4.2	VIDEOOPPTAK OG DIREKTE OBSERVASJON	51
4.3	UFORMELLE SAMTALER OG DELTAKELSE I MØTER	52
4.4	GJENNOMGANG AV DOKUMENTER	52
4.5	MANNSKAPSDIAGRAM	53
4.6	FLYTDIAGRAM KOMBINERT MED PROSESSDIAGRAM	54
4.7	AVBRUDDSKARTLEGGING	55
4.8	PROSESSKART	56
5.	CASESTUDIE: T3 FLESLAND	59
5.1	BESKRIVELSE AV PROSJEKTET	59
5.2	BESKRIVELSE AV ARBEIDSOPERASJONEN	60
5.2.1	GENERELT	60
5.2.2	ARBEIDSOMRÅDET	60
5.2.3	INVOLVERTE PERSONER	62
5.2.4	PRODUKSJONEN	63
5.2.5	PRODUKSJONSKONTROLLEN	63
5.3	RESULTATER FRA OPERASJONSANALYSEN	65
5.3.1	GJENNOMFØRING AV ANALYSEN	65
5.3.2	DATAINNSAMLING	66
5.3.3	MANNSKAPSDIAGRAM	68
5.3.4	FLYTDIAGRAM OG PROSESSDIAGRAM	68
5.3.5	AVBRUDDSKARTLEGGING	69
5.3.6	PROSESSKART	70
5.3.7	SAMMENFATNING AV FUNN	72
5.4	FØRSLAG TIL FORBEDRINGER	73
5.4.1	PRODUKSJONSKONTROLL	73
5.4.2	LOGISTIKKPLANLEGGING OG -HÅNDBTERING	78
5.5	RESULTATER FRA IMPLEMENTERTE FORBEDRINGER	81
5.5.1	PRODUKSJONSKONTROLL	81
5.5.2	LOGISTIKKPLANLEGGING OG -HÅNDBTERING	82
5.5.3	KVANTITATIVE RESULTATER	83
6.	DISKUSJON	85
7.	KONKLUSJON	91
8.	VIDERE ARBEID	93
9.	REFERANSELISTE	95
	VEDLEGG A: LEAN ORDLISTE	I
	VEDLEGG B: VEILEDNING TIL FELLES UKEPLANLEGGING	V

FIGURLISTE

FIGUR 1: SPIRALMETODEN FOR FORSKNING	5
FIGUR 2: PLASSERINGEN AV KONSTRUKTIV FORSKNINGSMETODE I FORSKNINGSRAMMEVERKET	8
FIGUR 3: RELIABILITET OG VALIDITET	13
FIGUR 4: FEIL VED STIKKPRØVETAKING	14
FIGUR 5: VERKTØY, PRINSIPPER OG KONSEPTER	16
FIGUR 6: THE HOUSE OF TOYOTA.....	17
FIGUR 7: TRANSFORMASJON	19
FIGUR 8: PRODUKSJON SOM TRANSFORMASJONER (HVITE) OG FLYTAKTIVITETER (GRÅ).....	20
FIGUR 9: ET HAV AV INVENTAR.....	23
FIGUR 10: PROSJEKTHIERARKIET	26
FIGUR 11: TRADISJONELT PUSH-PLANLEGGINGSSYSTEM	28
FIGUR 12: PULL-SYSTEMET	29
FIGUR 13: SKJERMING AV PRODUKSJON	30
FIGUR 14: OVER: VILKÅRLIG PROSESS, UNDER: STANDARDISERT PROSESS.....	33
FIGUR 15: ÅRSAKSKART FOR IKKE-FULLFØRTE AKTIVITETER.....	35
FIGUR 16: PLANHIERARKIET I LAST PLANNER-SYSTEMET.....	38
FIGUR 17: PLANLEGGING I LPS	39
FIGUR 18: PULL-PLANLEGGINGSØKT OG EKSEMPEL PÅ AKTIVITETSLAPP	40
FIGUR 19: STANDARD - DO - CHECK - ACTION	42
FIGUR 20: SDCA FOR STANDARDISERING OG PDCA FOR FORBEDRING.....	43
FIGUR 21: FASER VED ENDRING.....	45
FIGUR 22: BUNN-OPP-TILNÆRMING TIL ORGANISASJONSENDRING	48
FIGUR 23: EKSEMPEL PÅ MANNKAPSDIAGRAM	53
FIGUR 24: FORKLARING TIL PROSESSDIAGRAM.....	54
FIGUR 25: EKSEMPEL PÅ FLYTDIAGRAM (VENSTRE) OG PROSESSDIAGRAM (HØYRE)	55
FIGUR 26: EKSEMPEL PÅ PROSESSKART.....	56
FIGUR 27: EKSEMPEL PÅ TVERRFUNKSJONELT PROSESSKART. A ER "SVØMMEBANE", B ARBEIDSFLYT OG C OVERLEVERINGER	57
FIGUR 28: T3 FLESLAND, PIR	59
FIGUR 29: PIR-OMRÅDET MARKERT MED RØDT. NORD MOT HØYRE	61
FIGUR 30: BILDE AV ARBEIDSOMRÅDET MED AKSER	62
FIGUR 31: UTSNITT FRA UKEPLANMAL	64
FIGUR 32: MANNKAPSDIAGRAM	68
FIGUR 33: FLYT- OG PROSESSDIAGRAM FOR HULLDEKKEMONTASJEN	69
FIGUR 34: PROSESSKART FOR OPPRINNELIG SITUASJON	71
FIGUR 35: NY UKEPLANTAVLE	74
FIGUR 36: UTSNITT AV UKEPLANTAVLE (UKE 16).....	75
FIGUR 37: FORESLÅTT PROSESSKART	80

TABELLISTE

TABELL 1: SØKEORD OG KOMBINASJONER	7
TABELL 2: SUKSESSFAKTORER FOR ENDRING	47

1. INNLEDNING

Dagens situasjon i byggenæringen er preget av dårlig arbeidsflyt, høy andel av sløsing, lav produktivitet og store effektivitetsforskjeller mellom prosjekter. I tillegg karakteriseres næringen av lav pålitelighet i produksjon, og kun halvparten av planlagte arbeidsoppgaver fullføres i løpet av en uke (Ballard, 2000).

Flere studier er gjennomført for å kartlegge situasjonen, og ifølge Josephson & Saukkoriipi (2007) består 30-35 % av byggeprosjekters tidsbruk av ikke-verdiskapende arbeid, eller sløsing, hvorav 23 % er knyttet til venting. Dette er betydelig høyere enn i sammenlignbare industriområder. Thune-Holm & Johansen (2006) fant gjennom studier av flere prosjekter at produktivt arbeid sto for 65,1 % av den totale tidsbruken for betongarbeid, og så lite som 50,7 % for tømrerarbeid. Hva gjelder verdiskapende arbeid fant Diekmann (2004) gjennom tre studier at kun 11,4 % av tidsbruken i stålarbeid tilførte produktet direkte verdi.

I tillegg til lav generell produktivitet, finnes det også store variasjoner i bransjen. Gjennom en omfattende studie av 122 boligblokkprosjekter fant Ingvaldsen & Edvardsen (2007) at de dårligste prosjektene hadde halvparten så lav effektivitet som de beste. Studien fant også at det totale effektivitetsgjennomsnittet for de studerte prosjektene lå på 79 % av den beste praksisen funnet i studien. Dette kan være et tegn på lav grad av læring og erfaringsoverføring mellom prosjekter, og viser også at det er betydelige forretningsmessige muligheter knyttet til forbedring av effektiviteten.

I kombinasjon med de allerede eksisterende utfordringene, vil også nye oppstå som følge av strengere klimakrav og reguleringer av bygg. Gjennom klimarforliket ble det besluttet at Byggeteknisk Forskrift skal skjerpes til passivhusnivå i 2015 og nesten nullenerginivå i 2020 (Energi- og miljøkomiteen, 2012). Det økte fokuset på bygningers livsløp og klimapåvirkning vil føre til strengere energikrav og mer komplekse prosjekter, og ifølge høringsnotatet «Nye energikrav til bygg» vil dette stille høyere krav til planlegging og utførelse av byggeprosjektene (Direktoratet for byggkvalitet, 2015). For å kunne utbedre ineffektiviteten som eksisterer i dag, og i tillegg de kommende utfordringene, trengs en omstilling i hele byggesektoren.

Ifølge Ballard & Howell (1998) skyldes mange av dagens problemer svakheter i prosjektgjennomføringsmodellen, som tradisjonelt fokuserer utelukkende på prosjektstyring gjennom kontroll av avvik fra budsjetter og fremdriftsplaner. På denne måten overlates selve produksjonskontrollen til de utførende, og resultatet er en reaktiv styringsmodell som handler først etter at budsjett eller fremdrift er påvirket. Et steg i retning av en omstilling i bransjen, for å løse dagens problemer og møte utfordringene, kan derfor være gjennom en redefinerings av det tradisjonelle produksjonssystemet, med økt fokus på produksjonskontroll.

Lean Construction er en produksjonsfilosofi som baserer seg på et fundamentalt ulikt syn på produksjon enn dagens modell. Filosofien er inspirert av konsepter fra fabrikkproduksjon, og ble hentet fra det berømte og suksessfulle Toyota-produksjonssystemet. Gjennom å innføre begrepene *transformasjon*, *flyt* og *verdi* (TFV-modellen), tar lean produksjonssystemer sikte på å levere et produkt med maksimal kunde verdi, og underveis i prosessen minimere alle former for sløsing (Koskela, 1992).

Mens dagens tradisjonelle prosjektstyring behandler prosjekter som en lang rekke aktiviteter, oppfordrer lean tankegang til å behandle prosjekter som produksjonssystemer, og dermed som én stor operasjon (Howell & Ballard, 1998). Dette synet leder også til innføring av en mer direkte form for produksjonskontroll enn i den tradisjonelle modellen, da dette er nødvendig for å minimere sløsing og maksimere verdi under gjennomføringen av prosjekter.

Ifølge Koskela et al. (2002) består produksjonsteori av følgende tre hoveddeler:

- Utforming av produksjonssystemet
- Kontroll av produksjonssystemet for å oppnå ønsket produksjon
- Forbedring av produksjonssystemet

Lean produksjonssystemer struktureres, kontrolleres og forbedres med hensyn til TFV-modellen og dens mål om å minimere sløsing og maksimere verdi (Koskela et al., 2002). Som utgangspunkt for dette baserer Lean Construction seg på et omfattende teoretisk grunnlag, bestående av konsepter og prinsipper. Det er også utviklet konkrete verktøy som hjelpemidler for å fremme disse prinsippene i produksjonssystemer.

Last Planner-systemet er et slikt verktøy, og ble utviklet av Glenn Ballard (2000). Systemet er et omfattende verktøy som søker å fremme de viktigste prinsippene fra lean-teori i byggeprosjekter, og har vist svært lovende resultater i en lang rekke av prosjekter. Studier har vist at Last Planner-systemet, gjennom økt fokus på blant annet produksjonskontroll, har ledet til 20 % flere fullførte oppgaver i forhold til planlagte ukesoppgaver (Salem et al., 2006).

I forhold til de nevnte kulepunktene foregår utformingen av produksjonssystemer som en del av kontraksstrategien og struktureringen av prosjekter, og dermed før byggestart. Kontroll og forbedring av produksjonssystemer er derimot mulig å arbeide for gjennom hele prosjektgjennomføringen, og disse to punktene er høyst relevante for denne masteroppgaven. Ved å ta utgangspunkt i lean-teori og tilgjengelige verktøy er det mulig å tilføre forbedringer for å oppnå bedre produksjonskontroll, hvilket er den største svakheten i dagens tradisjonelle prosjektmodell.

1.1 OPPGAVENS FORMÅL

Basert på byggenæringens nevnte utfordringer er det klare muligheter knyttet til forbedring av produksjonssystemer. Slike forbedringer kan innføres på flere nivåer, fra svært omfattende til mer isolerte. I forbindelse med denne oppgaven og dens begrensninger var det nødvendig å se på forbedringer i mindre skala. For å kunne tilføre slike forbedringer var det hensiktsmessig å ta utgangspunkt i en utvalgt arbeidsoperasjon og studere denne gjennom en strukturert operasjonsanalyse.

Med utgangspunkt i de nevnte problemene med dagens modell, Lean Constructions lovende resultater fra implementasjon og de gjeldende begrensningene for oppgaven, ble følgende problemstilling formulert: Hvilke forbedringer kan tilføres produksjonskontroll og montasje av hulldekker ved bruk av operasjonsanalyse og Lean Construction-prinsipper? Problemstillingen ble konkretisert og supplert av følgende forskningsspørsmål:

- Hvilke praktiske forhold og utfordringer må tas hensyn til under gjennomføring av operasjonsanalyser?
- Hvilke kvalitative forbedringer kan tilføres produksjonskontrollen for den valgte arbeidsoperasjonen?
- Hvilke kvalitative forbedringer kan tilføres montasjen?
- Hvilke kvantitative resultater leder disse forbedringene til?
- Hvilke muligheter har den aktuelle bedriften for videre forbedringsarbeid etter endt casestudie?

Problemstillingen besvares hovedsakelig av forskningsspørsmålene to, tre og fire. Det første forskningsspørsmålet søker å avdekke praktiske forhold knyttet til gjennomføring av

operasjonsanalysen, for å gi personer eller bedrifter som vurderer å gjennomføre denne typen analyse et nyttig verktøy i deres planlegging for gjennomføring. Under planleggingen av casestudien ble det tydelig at selv om deler av den tilgjengelige litteraturen for gjennomføring av operasjonsanalyser er forholdsvis detaljert, finnes det likevel et gap mellom teorien og hva som trengs for å gjennomføre operasjonsanalyser i praksis. Denne oppgaven søker å bidra til å fylle dette tomrommet gjennom første forskningsspørsmål.

Målet med å gjennomføre en operasjonsanalyse på den valgte arbeidsoperasjonen i casestudien var å tilføre forbedringer til prosesser relatert til hulldekkemontasje som viste seg å ha størst potensial, eller som hadde de største utfordringene. Dette var for å sikre LAB og de øvrige involverte i casestudien et godt utbytte av oppgaven. Videre var målet at forbedringene skulle innlemmes i prosjektorganisasjonens standardrutiner, og bruken av dem videreføres etter endt casestudie.

1.2 BAKGRUNN FOR VALG AV OPPGAVE

Problemstillingen i avsnittet over er i realiteten en revisjon av den opprinnelige, da de rådende forholdene under gjennomføringen av casestudien viste den opprinnelige problemstillingens formulering som mindre hensiktsmessig i forhold til oppgavens målsetning. Den opprinnelige problemstillingen var “Hvilke forbedringer kan tilføres en arbeidsoperasjon ved bruk av operasjonsanalyse?”, og forskningsspørsmålene var mer eller mindre isolert til selve arbeidsoperasjonen og produksjonen. Problemstillingen ble først foreslått av studenten, og deretter videreutviklet og presisert gjennom møter med veileder. Dialog med LAB Entreprenør ble innledet i en tidlig fase for å finne et egnet prosjekt for gjennomføring av casestudien, og LAB bidro også med input i form av forslag til arbeidsoperasjoner.

Under gjennomføringen av casestudien ble det imidlertid klart at det største forbedringspotensialet var knyttet til produksjonskontrollen, og det ble derfor besluttet, i samråd med prosjektleder, å utvide fokuset til å inkludere disse prosessene. Begrunnelsen var at det ville ha liten verdi å tilføre isolerte, og relativt små forbedringer til arbeidsoperasjonen når det var mangel på overordnet flyt og stabilitet som resultat av mangelfull produksjonskontroll. Dette samsvarer også med Koskela (1992) sitt prinsipp om å fokusere kontroll på hele prosessen. I praksis medførte dette å inkludere planleggingsprosessen i operasjonsanalysen, og problemstillingen og forskningsspørsmålene ble noe revidert som følge.

1.3 AVGRENSNINGER

Casestudien i denne masteroppgaven hadde en tidsramme på seks uker av totalt 20, og er derfor relativt omfattende i dette perspektivet. Det har allikevel vært viktig å avgrense omfanget av den praktiske oppgavedelen av flere årsaker. Første årsak er at oppgaven hovedsakelig gjennomføres i regi av studenten, hvilket stiller krav til planlegging og koordineringsarbeid i alle fasene av casestudien, som er tidkrevende. En annen årsak er motstanden som ofte følger forsøk på å innføre endringer i etablerte og velprøvde rutiner, da slike endringer innebærer risiko og kan oppfattes som truende av prosjektdeltakere (Oglesby et al., 1989). Dette vil medføre at implementering av endringer blir ytterligere tidkrevende.

Den siste årsaken til viktigheten av avgrensning er det store omfanget av teorien som assosieres med ledelsesfilosofien Lean Construction. Lean Construction omfatter et ideal, et sett med prinsipper som jakter idealet og et sett med metoder som implementerer prinsippene (Ballard, 2012). Det hevdes derfor at fullt utbytte kun kan oppnås gjennom fullstendig implementering

(gjennom for eksempel Last Planner-systemet) (Kalsaas et al., 2010), noe som ikke er gjennomførbart med de ressurser og den tidsrammen som gjelder for denne oppgaven.

På bakgrunn av disse faktorene ble oppgavens fokus konsentrert rundt én utvalgt arbeidsoperasjon, i tillegg til å inkludere produksjonskontrollaktiviteter i direkte relasjon til denne. Ved å effektivisere isolerte deler av en produksjonskjede er det viktig å være klar over risikoen for suboptimalisering og dannelse av flaskehals på andre steder i produksjonskjeden. På den annen side anbefaler Oglesby et al. (1989) å starte denne typen forbedringsarbeid med mindre omfattende inngrep, da dette gjør organisasjonen mer mottakelig for større endringer ved senere tidspunkt.

1.4 OPPBYGNING AV OPPGAVEN

Forskningen i denne oppgaven ble gjennomført med spiralmetoden (nærmere beskrevet i kapittel 2), som medførte at arbeidet med de ulike kapitlene ble gjennomført i flere iterasjoner etter behov, og ikke sekvensielt. Oppgavens kapitler i rekkefølge, samt korte innholdsbeskrivelser, følger under:

1. Innledning: beskrivelse av bakgrunnen for prosjektet, problemstilling med forskningsspørsmål, bakgrunn for valg av oppgave, oppgavens målsetning samt avgrensning av oppgaven
2. Metode: beskrivelse og vurdering av valgt forskningsmetode
3. Teoretisk rammeverk: kort innføring i begrepet lean og lean i historisk perspektiv. Forklarer så hvilke prinsipper lean bygger på, hvordan produksjonssystemer utarbeides, kontrolleres og forbedres. I tillegg beskrives noen relevante verktøy og metoder samt relevante forhold for implementering av lean
4. Operasjonsanalyse: den valgte metoden og verktøyene for analysen i casestudien beskrives nærmere
5. Casestudie T3 Flesland: beskriver det aktuelle prosjektet, funnene fra analysen, foreslåtte forbedringer til produksjonssystemet og resultatene av disse
6. Diskusjon: resultatene av de foreslåtte forbedringene fra casestudien diskuteres på bakgrunn av problemstillingen, forskningsspørsmålene, teorikapittelet og metodekapittelet
7. Konklusjon: konklusjoner trekkes i forhold til oppgavens målsetning og diskusjonen
8. Videre arbeid: på bakgrunn av funnene i oppgaven presenteres forslag til videre arbeid

I tillegg til disse kapitlene er en ordliste med ord og uttrykk fra lean-teori og beskrivelse av disse vedlagt som vedlegg A. En brukerguide for de foreslåtte forbedringene ble overlevert LAB Entreprenør under avslutningen av casestudien, og denne veiledningen er også vedlagt som vedlegg B.

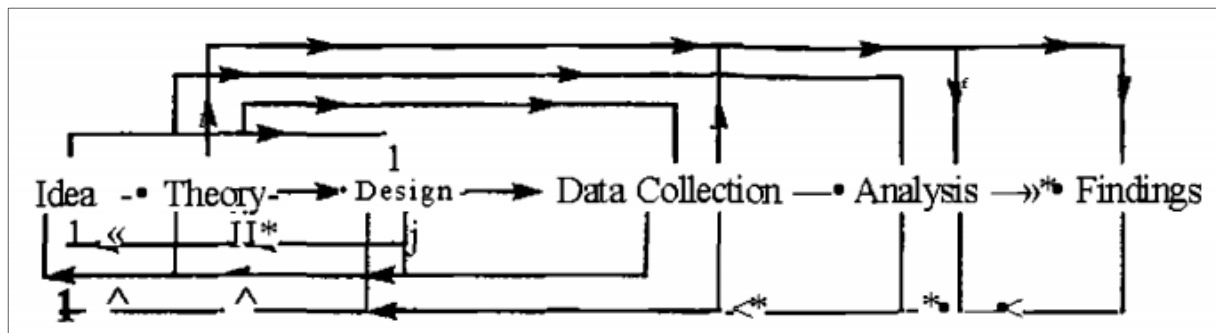
2. METODE

Masteroppgavens forskningsmetode kan deles i to deler: en teoretisk del og en empirisk del. Den teoretiske delen danner grunnlag for å beskrive en operasjonsanalyse som kan anvendes i praktisk sammenheng, samt et teoretisk rammeverk som utgangspunkt for forslag til forbedringer. Den empiriske delen gjennomfører den beskrevne operasjonsanalysen på en utvalgt arbeidsoperasjon i en casestudie.

2.1 VALG AV FORSKNINGSMETODE

Den overordnede fremgangsmåten for forskning omfatter som regel seks steg: ide, teori, forskningsdesign, datainnsamling, analyse og resultater (Berg et al., 2004). Etter at ideen for oppgaven var formulert, og for å kunne beskrive operasjonsanalyse som fremgangsmåte og verktøy, var det nødvendig å samle et tilstrekkelig teoretisk grunnlag før casestudien kunne gjennomføres. Den valgte forskningsmetoden for den teoretiske delen var derfor et litteraturstudium. I forkant av masteroppgaven ble det gjennomført et litteraturstudium i forbindelse med en prosjektoppgave som ble utarbeidet på høstsemesteret, og mye av litteraturen som ble gjennomgått i litteraturstudien var relevant for denne masteroppgaven. Den nevnte prosjektoppgavens problemstilling favnet imidlertid bredere, og litteraturen måtte derfor suppleres noe med mer spesifikk litteratur underveis i arbeidet.

Da hovedmålet med gjennomføringen av operasjonsanalysen var å avdekke områder med forbedringspotensial og foreslå forbedringer, ble litteraturen studert i dybden etter hvert som disse områdene ble avdekket og et behov for detaljkunnskaper oppsto. Det teoretiske rammeverket ble altså utviklet gjennom hele casestudien, slik at de foreslåtte forbedringene kunne forankres i dette. Denne fremgangsmåten samsvarer med spiralmetoden, som i motsetning til lineær metode ikke avslutter noen av de seks nevnte stegene underveis i arbeidet, men som heller tar ett eller to steg tilbake for hvert steg den går frem (Berg et al., 2004). Dette er illustrert i figuren under.



Figur 1: Spiralmetoden for forskning (Berg et al., 2004)

For den empiriske delen av masteroppgaven ble casestudie med konstruktiv metode funnet å være den mest hensiktsmessige forskningsmetoden utfra de valgte forskningsspørsmålene. Ifølge Yin (2013) er casestudie velegnet når forskningsspørsmålene krever en omfattende og dyptgående beskrivelse av fenomenet som skal studeres. I forhold til masteroppgavens problemstilling var casestudie som forskningsmetode velegnet, da forbedringer til arbeidsoperasjonens montasje- og produksjonskontrollaktiviteter best kunne foreslås da

områdene med størst forbedringspotensial var avdekket. Disse kunne avdekkes lettest ved å studere operasjonen fysisk og grundig i en casestudie. Da problemstillingen er relativt spesifikk, og kun gjelder hulldekkeelementer, var det heller ikke nok tilgjengelig litteratur til å besvare den med en ren litteraturstudie på tidspunktet oppgaven ble utarbeidet.

Første forskningsspørsmål om gjennomføring av operasjonsanalyse kunne i utgangspunktet blitt besvart med en ren litteraturstudie, men etter nærmere gjennomgang av tilgjengelig litteratur fremkom det et visst informasjonsgap mellom teori og praksis. For å lukke dette gapet var det hensiktsmessig å gjennomføre operasjonsanalysen i praksis, og undersøke hvilken relevant informasjon som kunne bidra til å fylle dette gapet. Dette har overlapp med forskningsspørsmål én og fem, som ønsker å utforske utfordringer ved gjennomføring av en slik analyse og bedriftens muligheter for å gjennomføre slike operasjonsanalyser på egenhånd. Ved å supplere den eksisterende teorien for gjennomføring av slike analyser med konkrete erfaringer kunne dette danne et godt verktøy for bedriftens videre forbedringsarbeid, og kunne også gi en indikasjon på hva som kan forventes ved bruk av fremgangsmåten i andre prosjekter.

Forskningsspørsmål to og tre er i praksis utdypninger av problemstillingen, og faller dermed i samme kategori hva gjelder egnethet for casestudie. Gjennom å studere forbedringer som kunne tilføres disse aktivitetene i dette spesifikke prosjektet, kan man få en pekepinn på hva som kan forventes for lignende aktiviteter i andre prosjekter. Forskningsspørsmål fire, som handler om kvantifisering av effekten av forbedringene, var definitivt avhengig av en casestudie. Gjennom å dokumentere situasjonen før og etter endringene ble innført ble det mulig å tallfeste effekten, og dermed besvare spørsmålet.

2.2 KVANTITATIV OG KVALITATIV METODE

Forskning kan deles i to kategorier, der kvantitativ forskning omfatter innsamling og analyse av numeriske data med statistiske metoder, mens kvalitativ forskning samler inn kvalitativ data fra observasjoner, intervjuer og dokumenter og analyserer dem med kvalitative analysemetoder (Moody, 2002). Kvalitative metoder er ofte mest velegnet for tidlige stadier av forskning og bygging av teoretisk grunnlag, mens kvantitative metoder er egnet for testing av etablerte teorier. Casestudie er derfor regnet som en kvalitativ metode, og dette beskrives nærmere i delkapittel 2.4. I praksis er ingen forskningsmetode rent kvantitativ eller kvalitativ (Yin, 2013). Eksempelvis kan en casestudie inneholde analyse av statistisk materiale så vel som analyse av kvalitative data.

I denne masteroppgaven er kvalitativ metode benyttet for både den teoretiske og empiriske forskningen. Dette er basert på målsetningen om å etablere og teste en teori i praksis, som dermed gjør at oppgaven faller i kategorien tidligfase forskning og bygging av teoretisk grunnlag (som nevnt over). Litteraturen ble gjennomgått for å søke bekreftende eller avkreftende informasjon om temaet, og ikke i hvilken *grad* noe kunne bekreftes eller avkreftes. Dette gjaldt også for den empiriske delen, men her ble også en liten mengde kvantitative data samlet og analysert for å tallfeste effekten som supplement til de kvalitative resultatene.

2.3 TEORETISK FORSKNING

For å tilegne seg den nødvendige teoretiske kunnskapen til å gjennomføre casestudien, og for å kunne forankre resultatene fra casestudien i teorien, ble litteraturstudie valgt som teoretisk forskningsmetode. Hvordan denne ble gjennomført er beskrevet nærmere under.

2.3.1 Litteraturstudie

Som nevnt ble det gjennomført en omfattende litteraturstudie i forkant av masteroppgaven, og denne dannet basisen for lean-teorien i denne oppgaven. Litteraturstudien ble gjennomført i forbindelse med en prosjektoppgave som blant annet hadde som mål å identifisere de viktigste suksesskriteriene innenfor lean-teori og implementering. Som resultat ble store mengder litteratur gjennomgått, og mye av denne var relevant for masteroppgaven.

I tillegg til litteraturen som ble gjennomgått i forbindelse med prosjektoppgaven, var det nødvendig med litteratur som var mer spesifikk og egnet til å beskrive elementene i en operasjonsanalyse og hvordan en slik analyse gjennomføres. Det var også nødvendig med noe supplerende litteratur til det teoretiske rammeverket. Under gjennomføringen av litteratursøket ble det avdekket en mangel på litteratur som dekker gjennomføring av operasjonsanalyser, og Oglesby et al. (1989) sin «*Productivity improvement in construction*» ble derfor svært sentral under gjennomføringen av casestudien. Dette er på nåværende tidspunkt den eneste komplette beskrivelsen tilgjengelig for gjennomføring av operasjonsanalyser.

2.3.2 Fremgangsmåte

Under gjennomføringen av litteratursøket ble en systematisk framgangsmåte for utvelgelse og vurdering av litteraturen anvendt. Den besto av følgende steg:

- Søk med utvalgt søkeord
- Grov utvelgelse av litteratur basert på vurderingskriterier
- Detaljert gjennomgang

Enkelte søkeord og søkeordkombinasjoner var spesielt relevante for denne oppgaven, og de var som følger:

SØKEORD	KOMBINASJONER
Production system	Lean production
Production control	Lean Construction
Last Planner	Lean production system
Lean	Lean implementation
Implementation	Last Planner system
Production	
Construction	

Tabell 1: Søkeord og kombinasjoner

Litteraturen som ble samlet inn ble vurdert på bakgrunn av troverdighet, objektivitet, nøyaktighet og egnethet (VIKO, 2014). Da lean-miljøet er svært internasjonalt og organisert, finnes det store mengder med tilgjengelig materiale av god kvalitet. Et spesifikt fagmiljø innenfor lean er IGLC (International Group for Lean Construction), som holder en årlig konferanse der lean-relaterte artikler publiseres. Dette ble en viktig kilde til informasjon. Da all litteratur som publiseres i forbindelse med IGLC-konferansene er gjennomgått og vurdert av uavhengige eksperter, kan denne brukes relativt ukritisk med tanke på de tre første kriteriene. Hovedfokuset ble derfor rettet mot vurdering av egnethet, altså av litteraturens relevans i forhold til oppgaven. Litteratursøket ble hovedsakelig gjort gjennom søkemotorene Google Scholar og Engineering Village, i tillegg til søk direkte på IGLC sin hjemmeside.

2.4 EMPIRISK FORSKNING

For å undersøke hvorvidt den etablerte teorien stemte i praksis, ble det besluttet å gjennomføre empirisk forskning ved å teste operasjonsanalysen i praksis. Det finnes flere alternativer for empirisk forskning, men konstruktiv metode ble valgt som mest hensiktsmessig for denne oppgaven (dette er nærmere beskrevet i neste avsnitt). Figuren nedenfor viser relasjonen mellom de ulike forskningsmetodene, og at konstruktiv forskning er en normativ metode som har mye til felles med både handlingsorientert og beslutningsorientert fremgangsmåte.

	Teoretisk	Empirisk
Deskriptiv	Konseptuell tilnærming	Nomotetisk tilnærming Handlingsorientert tilnærming
Normativ	Beslutningsorientert tilnærming	Konstruktiv tilnærming

Figur 2: Plasseringen av konstruktiv forskningsmetode i forskningsrammeverket (oversatt fra Kasanen & Lukka (1993))

2.4.1 Konstruktiv forskningsmetode

Konstruktiv forskningsmetode er definert som en fremgangsmåte for å skape et produkt som skal løse et spesifikt og reelt problem, for å bidra til å skape teori og kunnskap om hvordan problemet kan løses i prinsipp (Crnkovic, 2010; Lukka, 2003). I tillegg til kravet om utgangspunkt i et reelt problem, nevner Lukka (2003) fem andre faktorer som må oppfylles:

- Produsere et innovativt produkt som skal løse det valgte problemet
- Inkludere et forsøk på å implementere det utarbeidete produktet for å teste den praktiske brukbarheten

- Involvere tett samarbeid mellom forskere og praktikere i team, der empirisk læring finner sted
- Være eksplisitt forankret i eksisterende teoretisk kunnskap
- Fokuseres spesielt på å reflektere de empiriske funnene tilbake til teorien

Basert på de ovennevnte faktorene er en trinnvis fremgangsmåte for gjennomføring av konstruktiv forskning identifisert, og denne oppgavens relevans i forhold til denne er vurdert:

1. Finn et praktisk relevant problem, som også har potensiale for teoretisk bidrag

Problemet i denne oppgaven er behovet for en fremgangsmåte for å analysere og forbedre montasje- og produksjonskontrollaktiviteter. Forslaget til løsningen er bruk av operasjonsanalyse og bruk av elementer fra lean-teorien.

2. Undersøk potensialet for langvarig forskningssamarbeid med målorganisasjonen

Da casestudien i denne oppgaven var begrenset av masteroppgavens tidsramme, var det ikke mulig å opprette et langvarig forskningssamarbeid i regi av denne oppgaven. Etter gjennomføring av casestudien ble det imidlertid holdt tett kontakt med den aktuelle bedriften, og resultater ble rapportert seks uker etter avslutning av feltarbeidet.

3. Anskaff dyp forståelse for emneområdet, både praktisk og teoretisk

Gjennom studier innenfor lean-teori i forkant av masteroppgaven, i tillegg til litteraturstudien knyttet til selve gjennomføringen, ble det dannet en bred og solid teoretisk forståelse for emnet. Denne forståelsen var også nyttig for å vurdere det teoretiske bidraget til studien, ved å sammenligne den med den etablerte teorien. I forbindelse med studier i USA ble det gjennomført en casestudie med analyse av produksjonssystemet i et byggeprosjekt, og dette kombinert med erfaringene tilegnet under gjennomføringen av masteroppgavens casestudie ga en praktisk forståelse av arbeidet.

4. Skap en løsning som både løser problemet og som bidrar til teoriutvikling

Da resultatet av operasjonsanalysen foreslår en løsning på problemet ved å anvende prinsipper fra lean-teori, og i tillegg vurderer virkningen av denne, bidrar oppgaven både med en praktisk løsning og til å videreutvikle det eksisterende teorigrunnlaget. Lukka (2003) presiserer at løsningen må være innovasjonsbasert for å kunne kalles konstruktiv, og dermed ikke kan medføre implementering av ferdige løsninger. Det at løsningen i denne oppgaven ble utarbeidet på grunnlag av situasjonen som fremkom i studien gjorde den unik, og dermed innovativ.

5. Implementer løsningen og test hvordan den virker

Som en naturlig del av casestudien ble de (fleste) foreslåtte forbedringene, altså løsningene, implementert for å kunne studere effekten. Dette var basert på problemstillingen og forskningsspørsmålene. Forbedringene ble innført og testet, og effekten ble vurdert underveis. Første del av implementeringen ble gjort i samarbeid med undertegnede for å etablere rutinene. Deretter fortsatte prosjektgruppen med å bruke og teste løsningen på egenhånd, og rapporterte tilbake til undertegnede over et tidsrom på seks uker.

6. Vurder løsningsens brukbarhet

Da resultatene av implementasjonen forelå, med prosjektdeltakernes egne vurderinger av effekten i tillegg til noen kvantitative resultater, var det mulig å diskutere løsningsens brukbarhet i forhold til forskningsspørsmålene. For forbedringene med suksess var det mulig å diskutere overførbarheten til andre prosjekter og andre arbeidsoperasjoner, men det var samtidig viktig å merke seg at suksessen også kunne skyldes andre faktorer. Forbedringene som feilet dannet grunnlag for å diskutere årsaken til at de feilet.

7. Identifiser og analyser det teoretiske bidraget

Ved å reflektere over resultatene fra casestudien og sammenstille disse med eksisterende teori, ble det mulig å diskutere det teoretiske bidraget. Dette medførte i praksis å diskutere mulighetene for forbedring av planleggings- og produksjonsaktiviteter med bruk av operasjonsanalyse og Lean Construction-prinsipper. En utfordring forbundet med dette er forskerens tilknytning til arbeidet og dermed vanskelighetene med å vurdere egne resultater objektivt.

Som det fremkommer av punktene over ble casestudie valgt som fremgangsmåte for den konstruktive forskningen, og begrunnelsen for dette beskrives nærmere i neste avsnitt.

2.4.2 Casestudie

For å kunne undersøke i hvilken grad teorien stemte i praksis, ble det besluttet å gjennomføre konstruktiv forskning i form av en casestudie. Casestudie er en kvalitativ tilnærming til konstruktiv forskningsmetode, og Kothari (2004) definerer casestudie som:

“... a method of study in depth rather than breadth. The case study places more emphasis on the full analysis of a limited number of events or conditions and their interrelations.”

En styrke ved casestudie som metode er dens egenskap til å bane vei for oppdagelser (Shaughnessy & Zechmeister, 1990). Da denne masteroppgavens problemstilling baserer seg på nettopp å oppdage områder med forbedringspotensial, for deretter å foreslå forbedringer, er casestudie en velegnet metode. En casestudie er i hovedsak en kvalitativ analyse der nøye observasjon av et objekt og alle dets aspekter leder til casedata, som igjen danner grunnlag for generalisering og identifisering av interferenser (Kothari, 2004). Dette er også en del av målet med denne oppgaven, der nøye studier leder til casedata og resultater som kan generaliseres. Yin (2013) påpeker imidlertid at casestudier kan inneholde på kvalitative og kvantitative beviser, som også var tilfellet i denne oppgaven. De kvalitative resultatene ble utfyllt med noen kvantitative observasjoner i form av PPU-måling.

Stikkprøver

En viktig teknikk som ble anvendt i casestudien var stikkprøvetaking, som brukes for å skape et bilde av en større populasjon ved å studere et mindre utvalg (Berg et al., 2004). Metoden kan også spare tid og penger, og kan i tilfeller med uendelig store (eller svært store) populasjoner være eneste tilgjengelige mulighet (Kothari, 2004). I denne oppgavens casestudie er stikkprøvetaking brukt ved å studere utvalgte prøver av arbeidsoperasjonen for å skape et bilde av hva som var vanlig praksis.

Hovedargumentet for å bruke stikkprøver var å begrense omfanget av datainnsamlingen og tilpasse den til casestudiens tidsramme. For å studere hulldekkemontasje ble stikkprøver valgt

etter anvendelighet, som ifølge Berg et al. (2004) baserer seg på tilgjengelige utvalg. Dette innebærer en større risiko enn for eksempel tilfeldig utvalg, noe det er viktig å være klar over når dataene analyseres. Valgmulighetene var imidlertid få da hulldekkemontasjen kun foregikk ved enkelte anledninger og stikkprøvene måtte tas ved disse anledningene.

Masteroppgavens casestudie

Casestudien i denne masteroppgaven ble gjennomført på prosjektet T3 Flesland, der LAB Entreprenør hadde flere entrepriser. Prosjektet ble valgt på bakgrunn av dets størrelse, da mulighetene og anledningene for å kunne gjøre observasjoner var flere enn de ville vært på et mindre prosjekt. Da oppgaven ble gjennomført på initiativ fra studenten, var det nødvendig å utarbeide handlingsplaner for gjennomføringen av hvert trinn i casestudien. Det faktum at LAB og de andre studerte aktørene ikke hadde kjennskap til verken oppgavens tema eller problemstilling på forhånd førte til stor arbeidsbelastning i forbindelse med koordinering, planlegging og deling av informasjon under gjennomføringen av casestudien. Studien utgjør en stor del av denne masteroppgaven, og er beskrevet nærmere i kapittel 5.

2.5 VURDERING AV RESULTATER

Da all empirisk forskning omfatter målinger og resultater i enten kvantitativ eller kvalitativ form, er det nødvendig å vurdere hvorvidt resultatene holder ønsket kvalitet. Generelt vurderer man derfor resultater etter reliabilitet og validitet, men hvordan dette gjøres er ulikt for kvantitativ og kvalitativ forskningsmetode. For kvalitativ forskning handler vurderingen om å kunne beskrive hvordan data er samlet inn og bearbeidet på en systematisk og redelig måte, gjennom beskrivelse av prosjektets forutsetninger og hvordan resultatene har fremkommet (Gunnarsson, 2002). På denne måten får lesere og brukere av materialet mulighet til å gjøre sin egen vurdering av kvaliteten på materialet. Vurderingskriterier for validitet og reliabilitet er nærmere beskrevet i de påfølgende avsnittene.

2.5.1 Validitet

Validitet refererer til i hvilken grad en metode er fri for systematisk skjevhet, med andre ord om den måler det man ønsker å måle (Jong & Schellens, 2000). Det skilles gjerne mellom begrepene indre og ytre validitet (Gunnarsson, 2002; Yin, 2013), i tillegg til begrepsvaliditet (Yin, 2013). For å sikre indre validitet, stilles det først krav til kommunikativ validitet, altså hvor eksplisitt forskningsprosessen er beskrevet med hensyn på forskerens forståelse, datainnsamlingen, utvalget og analyseprosessen. I denne oppgaven er operasjonsanalysen som verktøy og fremgangsmåte beskrevet i et eget kapittel, og resultatene er knyttet til det teoretiske grunnlaget for å gjøre analyseprosessen så eksplisitt som mulig. Datainnsamlingen i forbindelse med operasjonsanalysen er også beskrevet og presentert med grafiske hjelpemidler i casestudiekapittelet, og begrunnelsen for det studerte utvalget er beskrevet.

Indre validitet kan også styrkes ved deltakerkontroll, som medfører at informanter brukt i datainnsamlingen (eksempelvis intervjuobjekter) får mulighet til å gjennomgå materialet og korrigere eventuelle misforståelser. I forbindelse med utarbeidelsen av denne oppgaven ble casestudiekapittelet gjennomgått av prosjektlederen for det studerte prosjektet for å øke den indre validiteten. Det siste kriteriet for indre validitet er triangulering, som innebærer deltakelse og informasjonsinnhenting fra personer med ulike synspunkter på det studerte problemet. Triangulering var en naturlig del av denne oppgaven, da operasjonsanalysen i høy grad baserte seg på innspill og forslag fra flere nivåer i prosjektorganisasjonen for å foreslå forbedringer.

Ytre validitet baserer seg på overførbarheten til resultatene, altså i den grad det er mulig å vurdere hvor overførbare resultatene er til andre situasjoner (Gunnarsson, 2002). Dette avhenger derfor av hvor godt veien til resultatene er beskrevet, i tillegg til beskrivelsen av resultatene i seg selv. I denne oppgaven beskrives både gjennomføringen og resultatene grundig i et eget casestudiekapittel, hvilket gir lesere grunnlag for å vurdere ytre validitet. Den siste formen for validitet, begrepsvaliditet, defineres som å velge riktig fremgangsmåte i forhold til hva som skal studeres (Yin, 2013). Da operasjonsanalyse er en veldefinert og velprøvd fremgangsmåte for denne typen forbedringsarbeid, anses begrepsvaliditeten til denne oppgaven som høy.

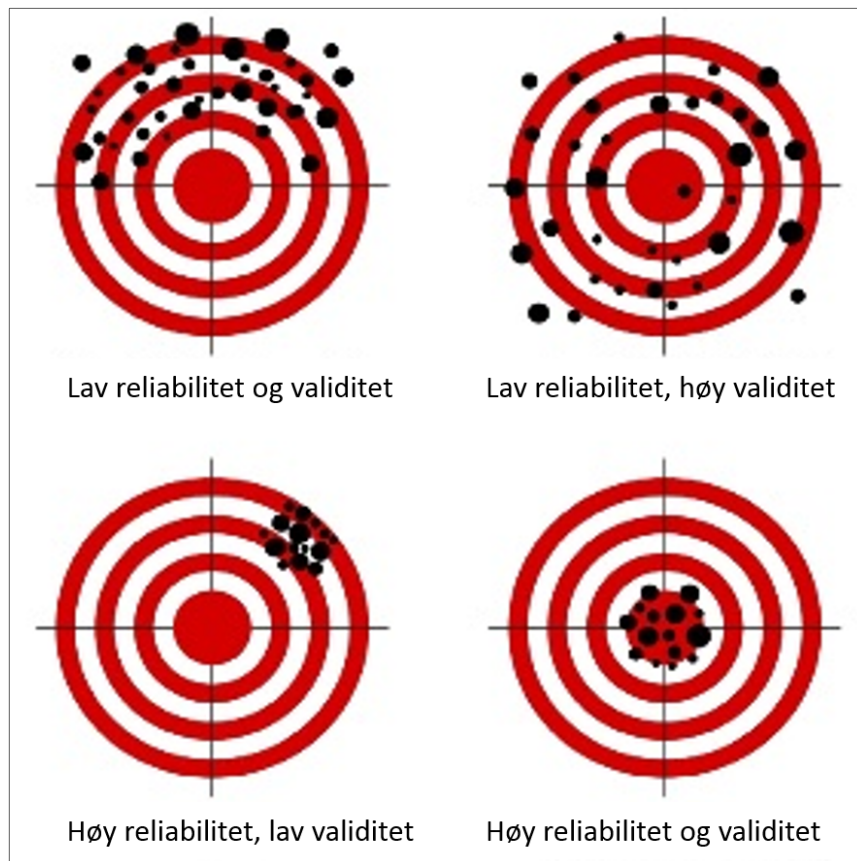
I sammenheng med denne oppgaven knyttes validitet også til hvorvidt resultatene som rapporteres faktisk skyldes de implementerte forbedringene, og ikke andre samtidige, eksterne faktorer. Det foreligger en viss risiko for dette, da den studerte arbeidsoperasjonen hadde problemer med å følge den planlagte fremdriften. Dette førte til økt fokus på operasjonen og relaterte prosesser, og muligheten for at forbedringer som ikke er beskrevet i denne oppgaven ble tilført og påvirket resultatene er derfor tilstede.

2.5.2 Reliabilitet

Reliabiliteten til empiriske forskningsresultater vurderes ofte på grunnlag av kvaliteten på det tekniske utstyret som er brukt og kvaliteten på forskeren (Gunnarsson, 2002). En annen faktor er forskerens evne til å demonstrere at den samme casestudien kan gjentas med de samme resultatene (Yin, 2013). Dette forutsetter da et tilfredsstillende detaljnivå på beskrivelsen av fremgangsmåten og analysemetoden, i likhet med kommunikativ validitet. Yin (2013) foreslår å bruke flere kilder for informasjonsinnhenting, noe som også er gjort i forbindelse med denne oppgavens operasjonsanalyse. Ved å kombinere videoopptak, direkte observasjon, dokumentgjennomgang, uformelle samtaler og møtedeltakelse var det mulig å skape et helhetlig og troverdig informasjonsgrunnlag.

En annen faktor å ta hensyn til er den såkalte Hawthorne-effekten, der påstanden er at et subjekts oppførsel vil endre seg under gjennomføringen av et eksperiment dersom det studerte subjektet er klar over at sin deltakelse i eksperimentet (Jones, 1992). I denne oppgaven viste arbeidernes rolle seg å bli mindre viktig, da områdene med størst forbedringspotensial ikke var relatert til deres gjennomføring av arbeidet. Den generelle oppfatning etter gjennomgang av videomaterialet var at arbeiderne viste noe interesse for kamerautstyret innledningsvis, før de fortsatte arbeidet som normalt. Dette er også i tråd med Oglesby et al. (1989) sine erfaringer.

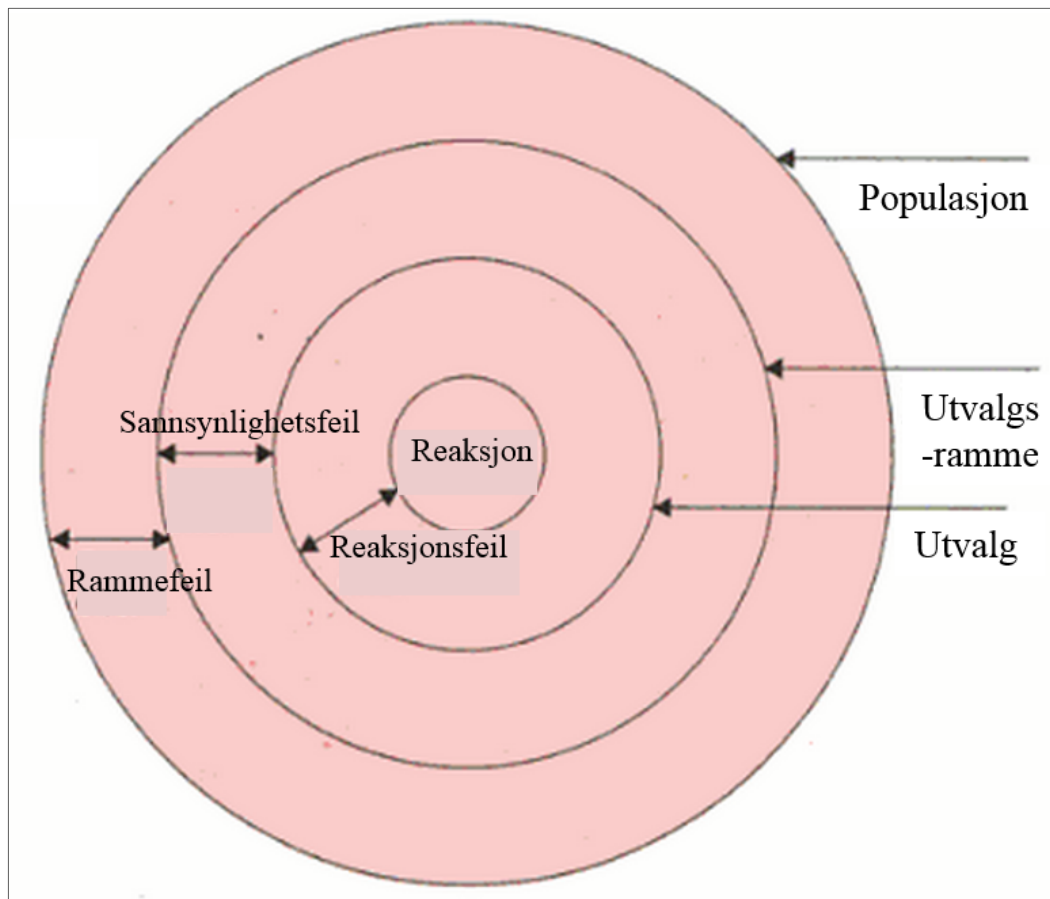
Som en oppsummering av variabilitet og reliabilitet fremstilles forholdet mellom begrepene i figuren på neste side.



Figur 3: Reliabilitet og validitet (oversatt fra Pontoppidan (2013))

2.6 VURDERING AV VALGT METODE

Den valgte forskningsmetoden er vurdert løpende i de forutgående delkapitlene, men det finnes noen momenter som er mer gjeldende for denne oppgaven enn andre. Som nevnt innebærer stikkprøver basert på anvendelighet en spesifikk risiko, men det finnes også flere feilkilder ved stikkprøvetaking. Feilkildene deles i rammefeil, sannsynlighetsfeil og reaksjonsfeil (Kothari, 2004), og forholdet mellom disse er illustrert i Figur 4. Rammefeil gjelder utvalgsrammen i forhold til populasjonen, sannsynlighetsfeil gjelder utvalget i forhold til den valgte utvalgsrammen, mens reaksjonsfeil gjelder avvik fra normal oppførsel for det studerte objektet. Reaksjonsfeil omfatter dermed den nevnte Hawthorne-effekten. Stikkprøver basert på anvendelighet øker altså risikoen for sannsynlighetsfeil. En sentral del av denne oppgaven baserer seg på stikkprøver etter anvendelighet, og det er derfor viktig å vurdere resultatene fra observasjonsfasen på bakgrunn av disse usikkerhetene.



Figur 4: Feil ved stikkprøvetaking (oversatt fra Kothari (2004))

En annen kategori av usikkerhet som er spesielt gjeldende for denne oppgaven var risikoen for ekstern påvirkning av resultatene. Som nevnt var det stort fokus på å forbedre produksjonskontrollaktivitetene til den studerte arbeidsoperasjonen, noe som kunne resultere i at endringer ble innført utenfor casestudiens regi, og dermed innvirket på resultatene uten å være beskrevet i oppgaven.

Den siste potensielle svakheten med oppgavens forskning er omfanget, da en studie med større omfang og flere observasjoner trolig ville generert resultater med høyere reliabilitet. I følge Berg et al. (2004) kan avgrensning være problematisk da det studerte objektet samhandler med sine omgivelser, og dermed er avhengig av dem. Ved å kun se på en utvalgt del av hele bildet risikerer man å gå glipp av disse avhengighetene. Forbedringene som ble foreslått i casestudien ble også kun implementert på en begrenset del av planleggings- og produksjonsaktivitetene. Det var imidlertid ikke mulig å øke omfanget av studien, da arbeidsmengden simpelthen ville blitt for stor for én person.

3. TEORETISK RAMMEVERK

Hensikten med dette kapitlet er å gi personer uten kjennskap til begrepet en kort innføring, samt danne et teoretisk grunnlag å forankre oppgavens casestudie til. Hoveddelen av teorien er omfattende og tar for seg produksjonssystemer med fokus på utarbeidelse, kontroll og forbedring. Kapitlet tar også for seg relevante lean-verktøy og -metoder, i tillegg til utfordringer assosiert med implementering av lean, da dette er høyst relevant for gjennomføringen av casestudien.

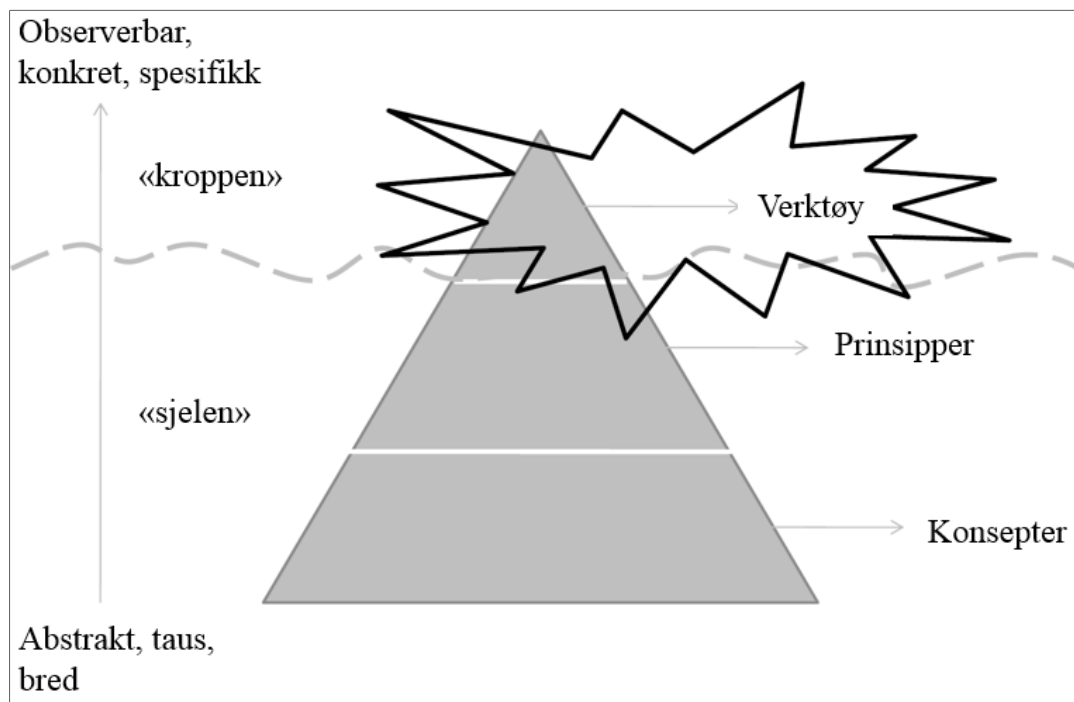
3.1 INNFORING I LEAN CONSTRUCTION

3.1.1 Begrepet Lean

Ordboken Clue definerer ordet *lean* som «mager» eller «slank», altså noe uten overflødig dødvekt, eller i overført betydning, uten sløsing. Begrepet lean er representert i flere ulike sammenhenger, som i «lean production», «lean construction» og «lean management», men har ingen spesifikk og enhetlig definisjon. Koskela (1992) velger å beskrive lean som en *forskningsutpost* (engelsk *research frontier*) som er i stadig utvikling, mens Ballard (2012) definerer lean som:

“... a management philosophy defined by the ideal it pursues, the principles followed in pursuit of the ideal, and the methods used to implement the principles.”

Denne definisjonen er i tråd med Diekmann (2004) sin konklusjon om at lean ikke kan reduseres til et sett med regler eller verktøy, men må håndteres som et system av tanker og oppførsler gjennom hele verdistrømmen. Figur 5 på neste side viser Alves (2012) sitt forslag til å forklare sammenhengen mellom nivåene i lean-teori, med konsepter i bunn, prinsipper for å fremme konseptene og verktøy for å implementere prinsippene. Figuren tydeliggjør også noen av utfordringene relatert til implementering av lean, da mye av teorien baserer seg på abstrakt og taus kunnskap, som er vanskelig å formidle. Dette forklares nærmere under delkapittel 3.6.



Figur 5: Verktøy, prinsipper og konsepter (oversatt fra Alves (2012))

Womack & Jones (2010) innførte begrepet lean tankegang (*lean thinking*), og definerer det som en søken etter å gjøre mer med mindre, mens man samtidig kommer nærmere å gi kunden nøyaktig det han eller hun vil ha. Problemet med denne definisjonen er dens generalitet, da det er lett å hevde at dette er målet også med dagens praksis. Howell (1999) hevder Womack & Jones (2010) sin generelle definisjon av lean tankegang er felles for både lean og dagens praksis, og at det som virkelig skiller de to er det faktum at lean støtter seg på et sett med produksjonsledelsesprinsipper. Ved hjelp av lean oppnår man et produksjonssystem som fungerer godt i komplekse, usikre og raske prosjekter, i kontrast til dagens system.

I tillegg til den generelle definisjonen har Womack & Jones (2010) også formulert fem spesifikke prinsipper for lean tankegang:

- Spesifisere hva som er verdi for kunden
- Identifisere verdistrømmen og eliminere sløsing
- Få de verdiskapende stegene til å flyte ved å minimere sløsing
- Basere produksjon på kundens etterspørsel (kalt *pull*). *Kunden* omfatter også interne kunder, altså neste ledd i produksjonskjeden
- Søke perfektjon gjennom kontinuerlig forbedring

Denne definisjonen later til å være en allment akseptert beskrivelse av rammene som lean opererer innenfor, men applikasjonen stopper også her. Koskela (2004a) hevder at Womack og Jones' lean tankegang og de fem prinsippene gir et fragmentert og ufullstendig bilde av hva lean produksjon baserer seg på, og at de derfor ikke kan brukes som en fullstendig teori for å utforme, operere og forbedre produksjonssystemer. Til dette trengs mer dyptgående beskrivelser med bedre definisjon av begreper som verdi, og bedre beskrivelse av opphavet til konsepter og prinsipper.

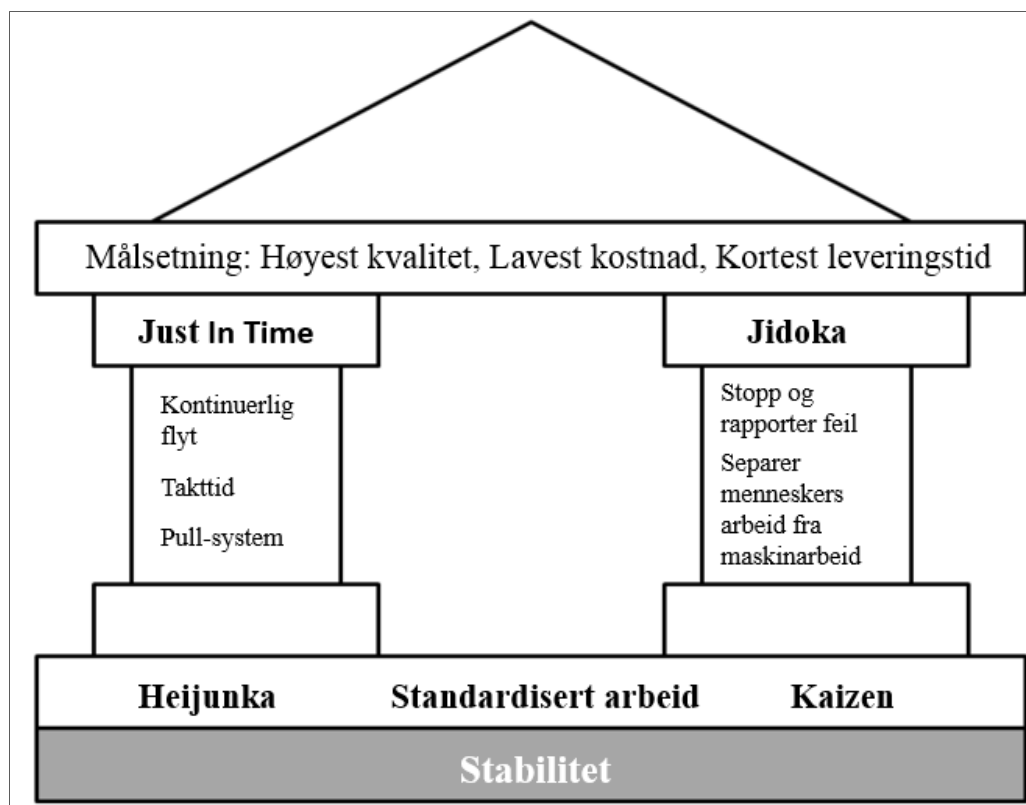
Koskela (1992) var den første til å utarbeide et omfattende teoretisk rammeverk for utforming, kontroll og forbedring av produksjonssystemer i henhold til lean-filosofien, for bruk i

byggeindustrien. Han trakk frem elleve prinsipper som er langt mer inngående enn de fem prinsippene for lean tankegang, og disse beskrives nærmere i delkapittel 3.2.2. De elleve prinsippene har vært sentrale under gjennomføringen av casestudien med operasjonsanalyse, da de dannet grunnlag for flere av de foreslåtte prosessforbedringene.

3.1.2 Lean i historisk perspektiv

Lean Manufacturing, altså lean i fabrikkproduksjon, oppsto etter andre verdenskrig i Toyota-konsernet under ledelse av ingeniøren Ohno, og var et forsøk på å innhente USAs forsprang i bilindustrien. Da produktterspørselen var langt lavere i Japan, kunne ikke Toyota basere seg på den amerikanske modellen for masseproduksjon, og et nytt produksjonssystem med en ny produksjonsfilosofi kalt «Toyota Production System» ble resultatet. Toyota selv kalte ikke systemet lean, og selve begrepet «lean production» har oppstått i ettertid. Dette har også andre betegnelser som «new production philosophy», «world class manufacturing», «JIT/TQC» og «time based competition», men essensen i alle er å eliminere sløsing og samtidig sikre kvaliteten på produktet (Koskela, 1992).

I starten ble ikke et eksplisitt teorigrunnlag ansett som nødvendig, og mye av teorien rundt den nye filosofien baserte seg på taus kunnskap frem til 1975 (Koskela, 1992). Da startet spredningen til Europa og Amerika, og en mengde bøker om den nye produksjonsfilosofien ble publisert i løpet av 80-tallet. Teorien bak det suksessfulle Toyota-systemet blir ofte fremstilt grafisk med figuren «The House of Toyota» under, som beskriver de viktigste konseptene.



Figur 6: The House of Toyota (oversatt fra Simboli et al. (2014))

Som det fremkommer av figuren er hovedmålet for filosofien å levere et produkt med best kvalitet til lavest kostnad og på kortest tid. Fundamentet i Toyota-modellen, som hele systemet avhenger av, er stabilitet i produksjonssystemet. *Heijunka* refererer til utjevning av arbeidsflyten og balansering av arbeidsbelastning til kapasitet (Alves et al., 2009). Standardisering av arbeid øker stabiliteten i systemet gjennom å redusere variabiliteten, mens *kaizen* omfatter å tilføre kontinuerlige forbedringer til de standardiserte prosessene.

Søylene i figuren består av just in time (JIT), som medfører at produksjon og levering av varer kun skjer når det er behov, og kun i mengden som skal til for å dekke behovet. *Jidoka* referer til desentralisert beslutningstaking gjennom å stoppe produksjonslinjen ved oppdagelse av feil. Dersom feil oppdages skal disse utbedres ved kilden for å hindre at defekter sendes videre i produksjonskjeden. Det siste viktige konseptet er transparens (ikke fremstilt i figuren), som refererer til hvordan en prosess kommuniserer med arbeidere og ledelse (Koskela, 1992). En transparent prosess er mer observerbar, og gjør det lettere å oppdage og rette feil før de påvirker arbeidsflyten.

3.1.3 Lean i byggebransjen (Lean Construction)

Da alle applikasjoner av lean-teori har sitt opphav i lean produksjon, er de nevnte konseptene fra «The House of Toyota» relevant kunnskap for å danne en helhetlig forståelse av hva lean er. Koskelas elleve prinsipper for lean i produksjonssystemer i byggenæringen baserer seg på nettopp disse konseptene (se Figur 5).

Som nevnt opptrer begrepet lean på flere arenaer, men gjennombruddet for lean i byggebransjen kom i form av «*The application of the new production philosophy to construction*» utarbeidet av Lauri Koskela i 1992. Rapporten tar utgangspunkt i konseptene fra lean fabrikkproduksjon, og foreslår elleve prinsipper for applikasjon i byggeindustrien. Den påpeker også svakheter med dagens produksjonsmodell, og hvordan den nye produksjonsfilosofien utbedrer disse. Et sentralt begrep innenfor lean-teori er *produksjonssystemer*. Dette forklares nærmere i delkapittel 3.2.

3.2 UTFORMING AV PRODUKSJONSSYSTEMER

“It is a mistake to assume that if everybody does his job, it will be all right. The whole system may be in trouble”

– W. E. Deming, *Out of the crisis*

Definisjon

Begrepet produksjonssystem omfatter alle systemer som forbruker ressurser og produserer varer eller tjenester. Mens tradisjonell prosjektstyring ser på prosjekter som en lang rekke aktiviteter, oppfordrer lean tankegang til å behandle et prosjekt som et produksjonssystem, og dermed som én stor operasjon (Howell & Ballard, 1998). Produksjonssystemer omfatter alt fra sammensetning av prosjektorganisasjonen til planlegging av operasjoner, og inkluderer dermed alt fra beslutninger om hvem som skal delta i hvilke roller til hvordan det fysiske arbeidet skal gjennomføres (Ballard et al., 2001). I følge Koskela et al. (2002) består produksjonsteori av tre hoveddeler:

- Utforming av produksjonssystemet,
- kontroll av produksjonssystemet for å oppnå ønsket produksjon, og
- forbedring av produksjonssystemet.

Disse tre hoveddelene er brukt som rammeverk for å beskrive lean produksjonssystemer. Dette delkapittelet beskriver hvordan produksjonssystemer utarbeides, mens de påfølgende delkapitlene beskriver hvordan man oppnår kontroll og tilfører forbedringer til produksjonssystemer. Til slutt nevnes noen konkrete og utvalgte lean-metoder og -verktøy som er relevante i sammenheng med denne oppgaven, samt relevant teori relatert til implementering av lean i produksjonssystemer.

TFV-modellen for produksjonssystemer

Prosjektbaserte produksjonssystemer, eller prosjektleveransesystemer (engelsk *project delivery systems*), er tradisjonelt sett kun assosiert med gjennomføringsmodeller i form av entreprisemodeller (Koskela et al., 2002). Koskela (1992) hevder denne tradisjonelle modellen fokuserer for mye på aktiviteter, og dermed mangler to vesentlige faktorer: hensyn til flytprosesser og en god definisjon av verdi.

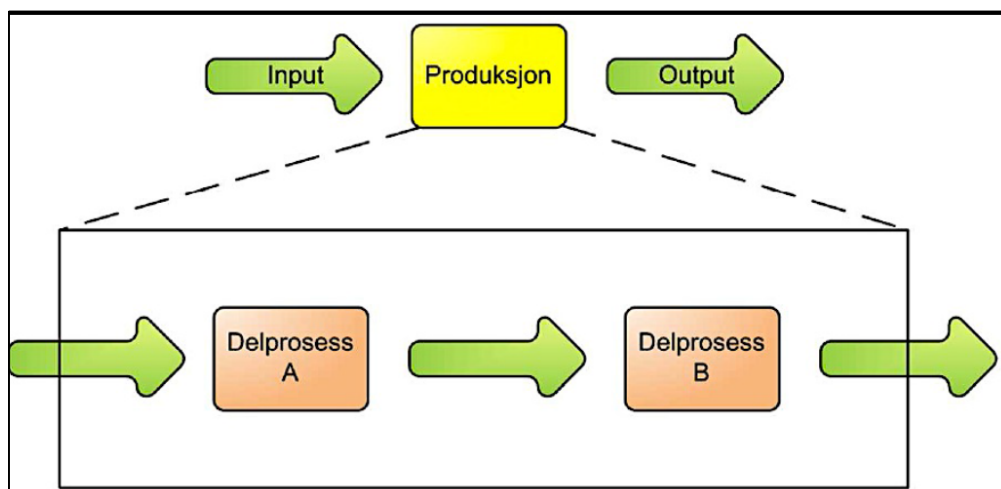
Som resultat utarbeidet Koskela (1992) TFV-modellen, som tar hensyn til transformasjoner (T), flyt (F) og verdi (V). Denne søker å levere et produkt mens man underveis minimerer sløsing og maksimerer verdi. Alle produksjonssystemer som er basert på TFV-modellen er derfor i prinsippet lean (Koskela et al., 2002). Relevant teori for utarbeidelse av produksjonssystemer er videre forklart med utgangspunkt i begrepene transformasjon, flyt og verdi, samt målsetningene om å minimere sløsing og maksimere verdi.

3.2.1 Transformasjon

Det tradisjonelle synet på produksjon har vært som en serie av transformasjoner, og har derfor basert seg utelukkende på teorien i dette avsnittet.

Definisjon

En transformasjon er en omdannelse av ressurser (input) til et produkt (output), der hver transformasjon kan deles inn i delprosesser. Kostnadene for hele prosessen kan minimeres ved å minimere kostnadene av hver delprosess.



Figur 7: Transformasjon (Drevland, 2012)

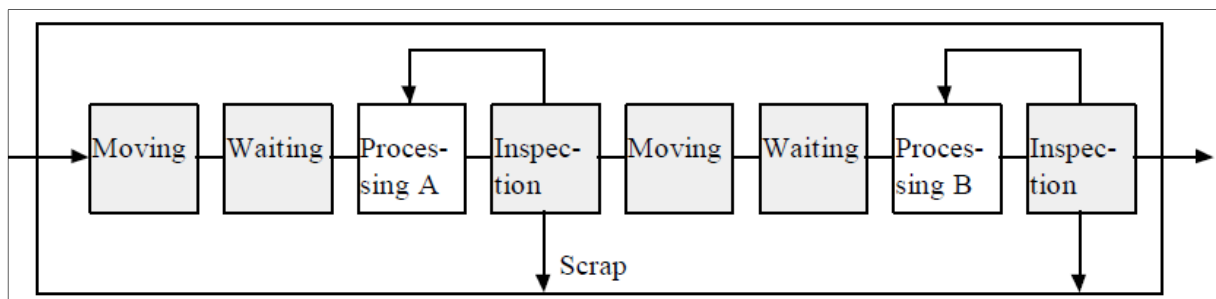
Dagens praksis

Ifølge Howell (1999) baserer dagens prosjektleveransesystem seg på å først bryte ned prosjektet til mindre prosesser/aktiviteter, ordne disse i en logisk rekkefølge for så å estimere tid og ressurser nødvendig for å fullføre hver av dem (kritisk sti-metoden). Bestanddelene brytes ned helt til de enten kan tildeles en formann og et arbeidslag eller kontraheres vekk, og kontroll oppnås ved å overvåke hver kontrakt eller aktivitet mot sin fremdriftsplan og budsjetttramme. Som nevnt utgjør transformasjoner bare en del av hele bildet i lean produksjonsfilosofi, og de to andre dimensjonene av produksjonssystemet beskrives nærmere under.

3.2.2 Flyt – minimere sløsing

Definisjon

I følge den nye produksjonsfilosofien består produksjon av både flytaktiviteter og transformasjoner, og begrepet *flytprosesser* omfatter begge disse kategoriene (Koskela, 1992). Flytaktiviteter refererer til alle aktivitetene som foregår mellom transformasjonene, og består av transport, venting og inspeksjoner/kontroller. I likhet med transformasjoner kan flytaktivitetene karakteriseres av tid og kostnad (Koskela, 1992), men i motsetning til transformasjoner tilfører ikke flytaktiviteter produktet verdi. Aktiviteter deles derfor ofte inn i kategoriene verdiskapende, ikke-verdiskapende og støttende, der støttende aktiviteter ikke tilfører verdi, men er nødvendige for gjennomføring av prosjektet. Eksempler på støttende aktiviteter er inspeksjoner og planlegging. Det er viktig å være klar over at også transformasjoner inneholder flyt, i form av interne flytaktiviteter (Ballard, 2000). Figuren under viser eksempler på flytaktiviteter (grå) og transformasjoner (hvit).



Figur 8: Produksjon som transformasjoner (hvite) og flytaktiviteter (grå) (Koskela, 1992)

Minimere sløsing

Målet med å søke bedre arbeidsflyt er å minimere sløsing under gjennomføringen av prosjektet og leveransen av det endelige produktet (Koskela, 1992), og å strebe etter idealet om umiddelbar leveranse (Ballard et al., 2001). For å kunne forstå hva dette innebærer er det nødvendig med en definisjon og en nærmere presisering av hva som inngår i begrepet sløsing. Moore (2011) definerer sløsing (engelsk *waste*) som «...anything that adds cost, but does not add value». I TFV-modellen tar Koskela (1992) utgangspunkt i syv kategorier med sløsing fra Toyota-systemet:

- **Overproduksjon:** levere produktet for tidlig eller i for stor mengde i forhold til kundens behov

- **Venting:** arbeidere som ikke utfører arbeid grunnet venting på forutgående arbeid, materialer eller andre ressurser
- **Transport:** unødvendig transport av materialer og arbeidere mellom prosesser
- **Overprosessering:** arbeid utover det som trengs for å møte kundens behov
- **Inventar:** materialer eller delvis bearbejdet produkter i påvente av videre bearbejdelse
- **Bevegelse:** unødvendig bevegelse av materialer eller arbeidere internt i prosesser
- **Defekte produkter:** feil i produksjon som leder til omarbeid, reparasjon eller forkastelse

Kategorien *Defekte produkter* er også gjeldende i forhold til verdiperspektivet, da innebygde feil i produktet har direkte påvirkning på kundens bruksverdi. Av de syv kategoriene fremhever Koskela (2004b) *inventar* som den som bør angripes først, da denne formen for sløsing ofte bidrar til å skjule de andre kategoriene. Dette er nærmere beskrevet under *Buffere*.

Ut fra Moores definisjon er de syv kategoriene av sløsing resultat av flytaktiviteter, da disse medfører tidsbruk og kostnader uten å tilføre verdi til produktet. Som retningslinjer for et produksjonssystem som reduserer de nevnte kategoriene av sløsing utarbeidet Koskela (1992) følgende 11 prinsipper for forbedring av flytprosesser:

1. Reduser andelen av ikke-verdiskapende aktiviteter
2. Øk produktets verdi gjennom systematisk gjennomgang av kundens krav
3. Reduser variabilitet
4. Reduser syklustid
5. Forenkle gjennom å minimere antall steg, deler og koblinger
6. Øk produktets fleksibilitet
7. Øk prosessers transparens
8. Fokuser kontroll på hele prosessen
9. Bygg kontinuerlige forbedringer inn i prosessen
10. Balanser forbedringer i flyt med forbedringer i transformasjoner
11. Benchmark

Disse prinsippene har vært sentrale under gjennomføringen av casestudien for å utarbeide forslag til forbedringer.

Variabilitet

I forbindelse med flyt er variabilitet et svært relevant begrep, og må derfor forklares nærmere. Det finnes to overordnede kategorier av variabilitet: variabilitet i prosesseringstid og flytvariabilitet (Hopp & Spearman, 2000). For å forklare variabilitet identifiserer Koskela (2000) syv kategorier med flytprosesser som er nødvendige for perfekt utførelse av en arbeidspakke:

- **Forutgående arbeid:** nødvendig for å kunne starte gjeldende arbeidsaktivitet
- **Plass:** håndtering av plassbruk når flere opererer i samme område
- **Mannskap:** dyr ressurs som må håndteres effektivt, unngå overkapasitet og venting
- **Utstyr:** nødvendig for å gjennomføre arbeidet
- **Informasjon:** nødvendig for å gjennomføre arbeidet (tegninger og planer)
- **Materialer:** transformeres til et fysisk produkt
- **Eksterne forhold:** værforhold og lignende

Hver av disse kategoriene har sin egen innebygde usikkerhet, og det er denne usikkerheten som fører til variabilitet i produksjonssystemet (Koskela, 2000). Ifølge Schonberger (1986) er variabilitet den «universelle fienden» i forbindelse med produksjon, da variabilitet øker andelen

av ikke-verdiskapende aktiviteter (Koskela, 1992). Å redusere variabilitet er derfor et av prinsippene for forbedring av flytprosesser. For å kontrollere variabilitet, og dermed flytprosesser, er det nødvendig med produksjonskontroll, som er nærmere beskrevet i delkapittel 3.3.

Buffere

En direkte følge av variabilitet i produksjon er etablering av buffere. Ifølge Hopp & Spearman (2000) er hensikten med buffere å redusere påvirkningen av variabilitet i flytprosesser, og Østby-Deglum et al. (2013) definerer fire kategorier:

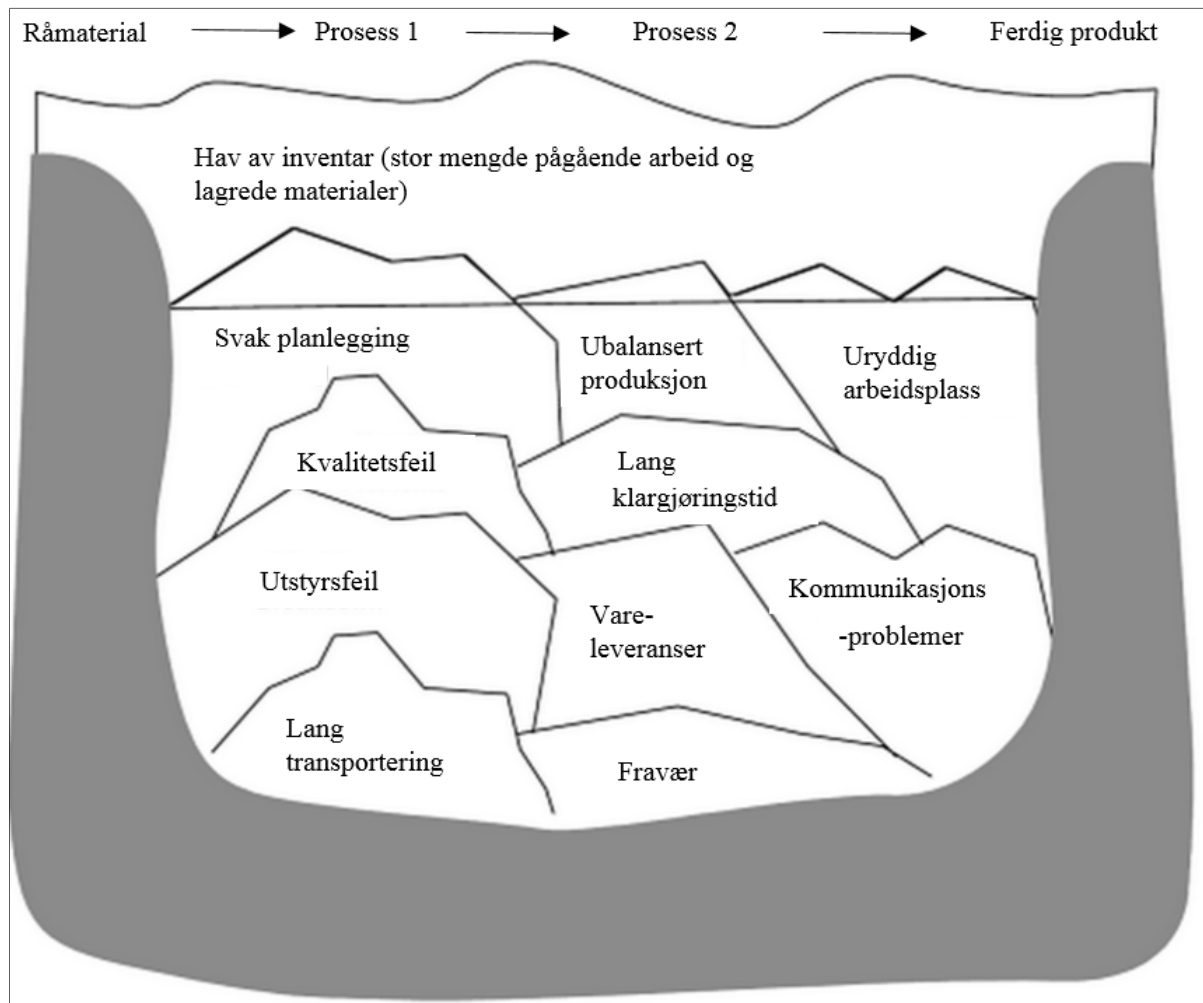
- **Kapasitetsbuffer:** en buffer i forhold til arbeidskapasiteten, altså at man ikke utnytter et arbeidslags fulle (teoretiske) kapasitet
- **Tidsbuffer:** dødtid eller slakk før og etter aktiviteter
- **Inventarbuffer:** overskudd av materialer før arbeidet starter
- **Finansiell buffer:** ekstra penger som kan skytes inn etter behov

I tradisjonelle prosjektleveransesystemer brukes buffere for å beskytte egne interesser (Koskela et al., 2002). Ifølge Kalsaas et al. (2010) er bruk av tidsbuffere/slakk svært vanlig, og aktører oppgir «falske» tidspunkt for å presse frem tidlige leveranser fra andre, og for å sikre nok tid til egne aktiviteter.

Bertelsen (2004) hevder at buffere til en viss grad er nødvendig for å opprettholde en pålitelig arbeidsflyt. Han presiserer imidlertid at det bør legges en bufferstrategi for å håndtere de syv kategoriene av flytprosesser (nevnt i forrige avsnitt) som er systematisk, balansert og kontrollert. En metode for bufferkontroll i Last Planner-systemet er etablering av en synlig samling av «sunne» aktiviteter som kan påbegynnes dersom kritiske aktiviteter påvirkes av eksterne forhold (Ballard, 2000; Kalsaas et al., 2010). På denne måten unngår man at arbeid påbegynnes på oppgaver som ikke har de nødvendige ressursene tilgjengelig (beskrevet nærmere under *Klare seg/ make-do*).

Ifølge Moore (2011) leder overdreven bruk av buffere til økning av inventar, som igjen skjuler problemer og andre former for sløsing. Inventar omfatter igangsatt arbeid som ikke er ferdigstilt (*work in process/WIP*), materialer som er lagret i produksjonsområdet og ferdigstilte produkter på lager (sistnevnte er mer relevant for fabrikkproduksjon). Når man har mye inventar i form av pågående arbeid og materialer i produksjonsområdet, blir det vanskelig å oppdage problemer og sløsing, som skjules under «havet av inventar» (vist i figuren på neste side). Da buffere leder til økt inventar, må det derfor inngås et kompromiss mellom pålitelig flyt og minimering av sløsing gjennom å begrense bufferbruk til hva som er strengt nødvendig.

Dersom man har høy andel av pågående arbeid/WIP blir produksjonen uoversiktlig og spredt over et større område. Figur 9 viser hvordan problemer som fravær, dårlig planlegging, kvalitetsproblemer, kommunikasjonsproblemer og utstyrsfeil skjules av den store mengden av pågående arbeid. I forbindelse med materialinventar kan lagring av materialer i produksjonsområder føre til skader på materialene og dermed kvalitetsproblemer, samt gjøre det vanskelig å holde orden i arbeidsområdet. Gjennom å redusere inventaret vil problemene bli synlige og tiltak kan iverksettes. En faktor som leder til økt mengde pågående arbeid/WIP er forklart i neste avsnitt.



Figur 9: Et hav av inventar (tilpasset fra Moore (2011))

Klare seg/ make-do

Det engelske begrepet *making-do* (oversatt til å *klare seg*) er foreslått av Koskela (2004b) som en åttende kategori av sløsing, og er en direkte følge av variabilitet. Det er imidlertid noe uenighet om *making-do* heller bør håndteres som en viktig årsak til sløsing, fremfor å regnes som sløsing i seg selv. *Making-do* er i praksis det motsatte av å bruke buffere (Kalsaas, 2010), da det innebærer å starte arbeid på aktiviteter som mangler én eller flere av de syv nødvendige flytprosessene for perfekt utførelse nevnt under *Variabilitet* (altså å *klare seg* med det man har). *Making-do* er et resultat av press for å følge fremdriftsplanen og ønsket om å sysselsette arbeidslagene til enhver tid.

Konsekvensene av *making-do* er en videre økning av variabilitet og prosesseringstid, som igjen leder til sløsing i form av mer inventar og delvis ferdigstilte produkter (pågående arbeid/*WIP*) (Koskela, 2004b). Dette betyr at *making-do* bidrar til «havet av inventar» beskrevet i Figur 9, da stadig nye arbeidsoppgaver påbegynnes etter hvert som oppgaver uten nødvendige ressurser ikke kan fullføres. Økt prosesseringstid fra *making-do* leder videre til lavere produktivitet, høyere kostnader, lavere kvalitet og mer omarbeid (Koskela, 2004b).

3.2.3 Verdi – maksimere verdi

Som nevnt i delkapittel 3.2.2 er målet med god flyt å minimere sløsing, samtidig som man streber etter umiddelbar leveranse av et produkt med ønsket verdi, der verdi refererer til oppfyllelsen av kundens behov (Koskela, 1992). Miles (1962) definerer verdi som passende ytelse til passende kostnad.

Indre og ytre effektivitet

Begrepene *flyt* og *verdi* er knyttet tett sammen, og dermed også målsetningene om minimering av sløsing og maksimering av verdi. Denne sammenhengen kan forklares med begrepene indre og ytre effektivitet (på engelsk *efficiency* og *effectiveness*). Eikeland (2001) forklarer at en «høy grad av indre effektivitet bruker et minimum av ressurser, tid og kostnader til å frembringe det resultatet prosessen skaper», og indre effektivitet kan derfor knyttes til flyt og minimering av sløsing. Videre definerer han ytre effektivitet som et «uttrykk for byggeprosessens evne til å tilfredsstille de mål, krav og prioriteringer som knyttes til prosjektet ...», som relateres til maksimering av verdi for kunden. Indre effektivitet kan dermed bidra til ytre effektivitet gjennom lavere kostnader eller høyere kvalitet på produktet.

Ballard et al. (2001) hevder imidlertid at generering av verdi bør prioriteres først, da det ikke spiller noen rolle hva produktet koster dersom produktet ikke er hva kunden trenger. Når verdien er definert spiller minimering av sløsing en stor rolle i form av reduksjon i ressursbruk, kostnader og tid.

Minimere verditap

Verdiperspektivet i Koskelas TFV-modell omfatter maksimering av verdi, som i forbindelse med produksjon medfører å minimere verditap under gjennomføring av prosjektet (Koskela et al., 2002). Verditap er definert som forskjellen mellom produktets faktiske verdi ved overlevering og den beste verdien som er mulig å oppnå (og som er prosjektert), og en god definisjon av verdi i forbindelse med prosjektering er derfor også sentralt for maksimering av verdi.

Dette medfører at sløsing i form av defekte produkter påvirker den ytre effektiviteten og har direkte innvirkning på kundeverdi, da defekte komponenter kan forbli uoppdaget og overleveres etter ferdigstilling av produktet, og resultere i et verditap. Reduksjon av sløsing i form av defekte produkter bør derfor prioriteres høyest i verdiperspektivet (Ballard et al., 2001). Koskelas andre prinsipp for forbedring av flytprosesser (*Øk produktets verdi gjennom systematisk gjennomgang av kundens krav*) understreker viktigheten av å involvere kunden for å sikre produktets verdi, da det er kunden som definerer verdien.

De seks andre formene for sløsing kan påvirke verdien indirekte gjennom å senke den indre effektiviteten (gjennom dårlig flyt), og dermed føre til lengre leveringstid og høyere kostnader for det endelige produktet. Dette er et eksempel på hvordan indre effektivitet kan påvirke ytre effektivitet, og dermed hvordan flyt kan påvirke verdi.

Interne kunde-leverandørforhold

En annen viktig karakteristikk ved lean produksjonssystemer er utvidelsen av kundebegrepet til å omfatte interne «kunder», i tillegg til den tradisjonelle kunden for sluttproduktet (Koskela, 1992; Østby-Deglum et al., 2013). Interne kunder er definert som neste ledd i produksjonskjeden, altså den som venter på fullførelsen av en forutgående arbeidsaktivitet. På

denne måten blir utføreren av forutgående arbeid en leverandør, og måten disse samhandler med hverandre på endres radikalt. Dette kunde-leverandørforholdet er nærmere beskrevet i neste kapittel under *Push og pull*.

Jidoka og poka-yoke

Jidoka er et prinsipp for å ivareta kvalitet i et produksjonssystem, og er én av de to søylene i «House of Toyota». Jidoka kan oversettes til «automasjon med menneskelig preg», og medfører å stoppe produksjonslinjen dersom et problem oppstår (Middleton & Sutton, 2005). Prinsippet baserer seg på følgende fire steg:

- Oppdag abnormiteten
- Stopp produksjonslinjen
- Korrigjer tilstanden
- Undersøk rotårsaken og innfør tiltak

Da denne prosessen ble utviklet for fabrikkproduksjon er ikke stegene nødvendigvis direkte overførbare til prosjektbasert produksjon, men målet med jidoka kan være overførbart. Hovedfunksjonen til jidoka er å hindre at produkter med defekter sendes videre gjennom produksjonslinjen og tilføres verdi, når det er en sjanse for at produktet må forkastes eller korrigeres på et senere tidspunkt. Ved å undersøke rotårsaker og innføre tiltak unngår man også at de samme problemene gjentar seg.

Et annet begrep relatert til verdi er *poka-yoke*, som oversettes til *feilsikker innretning (failsafe device)*, og skal hindre at feil bygges inn i produktet. Poka-yoke er en samlebetegnelse på alle innretninger som gjør det lettere å avdekke feil i produksjonen, eller som varsler når en handling gjør at en feil er i ferd med å inntreffe (Shimbun, 1988). Under oppføringen av San Diego County Womens Detention Facility i Santee, California ble poka-yoke brukt som sikkerhetsinnretning. Strømledninger hang utsatt til ved innkjøringen til produksjonsområdet, og det var reell fare for at disse kunne treffes av gaffeltrucker som ble brukt i området. En wire med markeringsflagg på hver side av strømledningen fungerte som en poka-yoke, da trucker som kjørte mot strømledningen med hevet gaffel ville treffe wiren først, og dermed bli varslet før strømledningen ble truffet. Dette hadde ifølge prosjektledelsen forhindre flere ulykker.

3.3 KONTROLL AV PRODUKSJONSSYSTEMER

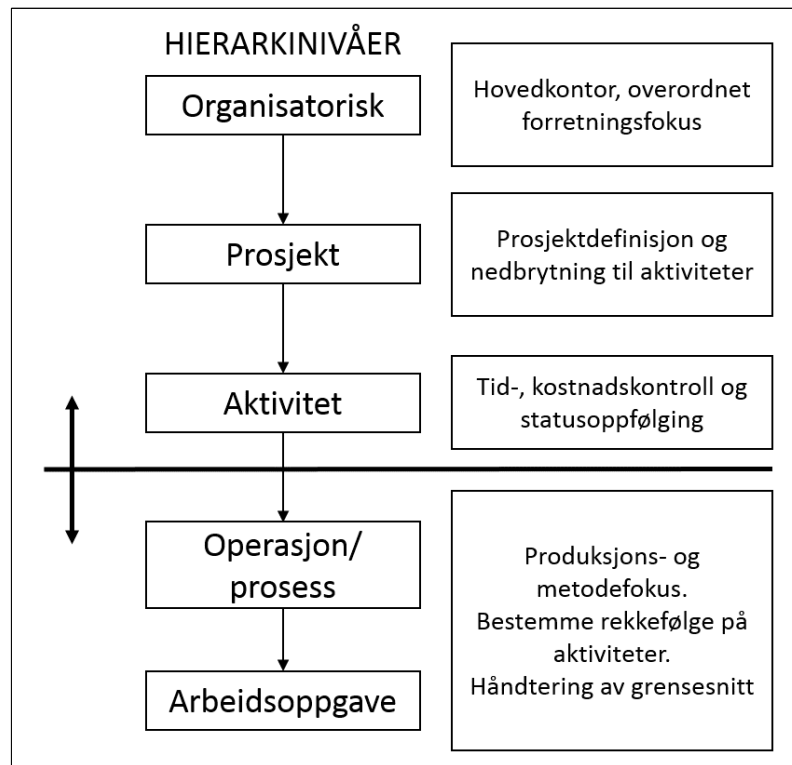
Etter utarbeidelsen av produksjonssystemet kommer kontroll for å oppnå ønsket produksjon under gjennomføringen av prosjektet (Koskela et al., 2002). Hensikten med produksjonskontroll er å minimere sløsing og maksimere verdi, fremfor å bare være et verktøy for å oppfylle kontraktsbestemmelser (Ballard et al., 2001).

3.3.1 Prosjektstyring og produksjonsstyring

Generelt

Den tradisjonelle prosjektgjennomføringsmodellen fokuserer utelukkende på aktiviteter (Koskela, 1992), og et konkret problem som følger av dette er det ensrettede fokuset på prosjektstyring, og dermed fravær av fokus på produksjonsstyring og planlegging av produksjonssystemet (Ballard et al., 2001). Forholdet mellom prosjekt- og produksjonsstyring kan illustreres med Figur 10, der prosjektstyring foregår over den horisontale linjen, mens

produksjonsstyring foregår under. Prosjektstyring omfatter dermed styring av kontrakter, kommunikasjon, mennesker, tid, kostnader, kvalitet og omfang, mens produksjonskontroll omfatter å få hendelser til å sammenfalle med lagte planer, og om nødvendig endre planene der dette ikke er mulig (Ballard, 2000).



Figur 10: Prosjekthierarkiet (tilpasset fra Halpin (1992))

I følge Ballard & Howell (1998) foregår produksjonskontroll kun internt i hver produksjonsenhet i den tradisjonelle modellen, da det ikke eksisterer noen teori for produksjonskontroll. Hvordan leverandører utfører arbeidet er uinteressant for prosjektledelsen, så lenge de møter kontraktsbestemmelsene. På denne måten styres produksjonen kun indirekte gjennom fremdriftsplaner og budsjetter, og koordinering mellom grensesnitt er minimal.

Å styre prosjekter gjennom rigide, forutbestemte planer kan medføre problemer. Ifølge Mulenburg (2008) bør ikke fremdriftsplanen være den eneste planen man styrer prosjektet etter, men kun en komponent i prosjektgjennomføringsplanen. Planen bør revideres og finjusteres etter hvert som man får bedre kjennskap til prosjektet og detaljene. Den tradisjonelle formen for prosjektkontroll kan fungere til en viss grad i statiske omgivelser med lav grad av variabilitet, men da de aller fleste byggeprosjekter har en høy grad av usikkerhet er den utilstrekkelig.

Konsekvenser av mangel på produksjonskontroll

Som beskrevet i kapittel 1 er bygg- og anleggsvirksomhet preget av lav produktivitet og mye sløsing. Mangel på produksjonskontroll bidrar til dårlig produksjonsflyt og en høy andel av ikke-verdiskapende aktiviteter (Koskela, 1992). Thomas et al. (2003) viste videre gjennom en

studie at dårlig styring av produksjonsflyt ledet til ineffektivitet i 51 % av arbeidstimene, og dermed at det er sammenheng mellom produksjonsflyt og produktivitet.

I følge Josephson & Saukkoriipi (2007) skyldes 30-35 % av prosjekters totale kostander sløsing som kan deles i kategoriene:

- Defekter og sjekk av disse
- Bruk av ressurser
- Helse og sikkerhet
- System og struktur

Av disse kategoriene er produktivitet spesielt knyttet til «Bruk av ressurser», som omfatter all ventetid, sløsing av materialer og maskiner som ikke er i bruk. Denne formen for sløsing utgjør hele 10 % av de totale prosjektkostnadene. Når det gjelder tidsbruk fant Josephson & Saukkoriipi (2007) at arbeidere kun bruker 17,5 % av tiden sin til direkte verdiskapende arbeid, mens 45,4 % av tiden går til forberedelser og 33,4 % er ren sløsing. Av tidssløsing var venting den største kategorien, og utgjorde 30 %.

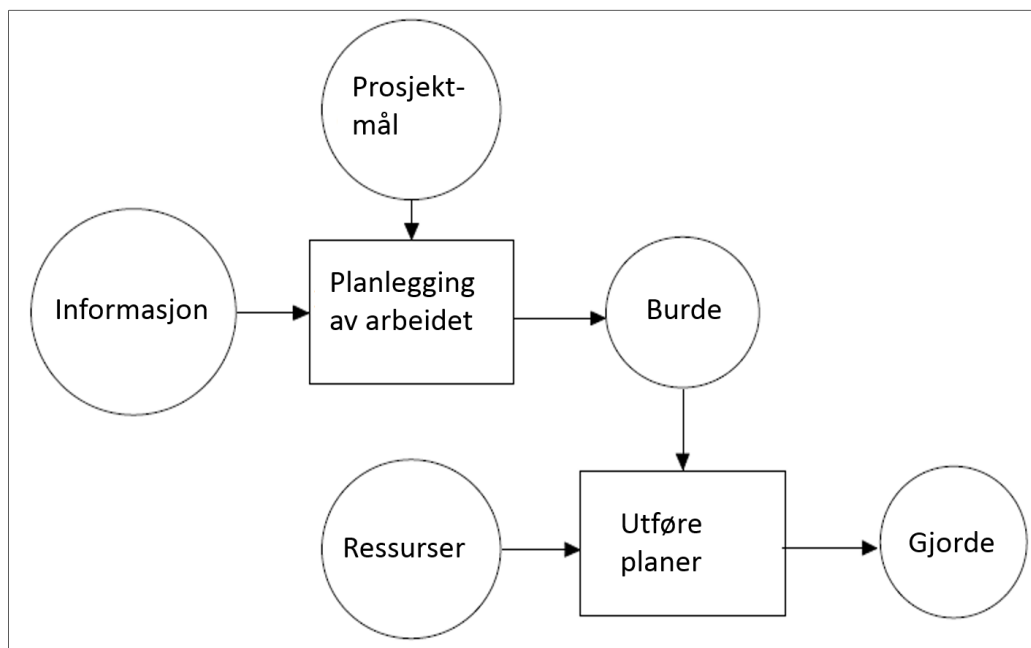
Mangel på produksjonskontroll kan også relateres til mangel på fundamentet i «The House of Toyota». Uten produksjonskontroll håndteres ikke variabiliteten, og det er derfor vanskelig å oppnå stabilitet i produksjonssystemet med dagens indirekte prosjektstyring. Uten stabilitet er det også vanskelig å tilføre andre forbedringer til produksjonssystemet.

3.3.2 Push og pull

En vesentlig ulikhet mellom dagens planleggingssystem og lean produksjonssystemets tilnærming til planlegging er forskjellen på push- og pull-tankegang. Push-systemer frigjør materialer eller informasjon basert på forhåndsbestemte datoer, mens pull-systemer baserer seg på både datoer og systemets tilstand (Hopp & Spearman, 2000). Hva dette betyr i praksis diskuteres i avsnittene under.

Push-systemet

Indirekte produksjonskontroll gjennom budsjetter og fremdriftsplaner kalles *push*-kontroll, da ressurser *skyves* inn i prosessene basert på fremdriftsplaner (Ballard, 2000). Produksjonsplanene baseres på hva prosjektledelsen mener *burde* gjøres utfra de gjeldende prosjektmålene, og tar ikke hensyn til produksjonssystemets kapasitet eller andre påvirkende faktorer. Figur 11 viser hvordan planene utarbeides av prosjektledelsen og sendes videre til de utførende. Dette medfører ofte et gap mellom hva som var planlagt (*Burde* i figuren) og hva som faktisk ble gjort (*Gjorde* i figuren).



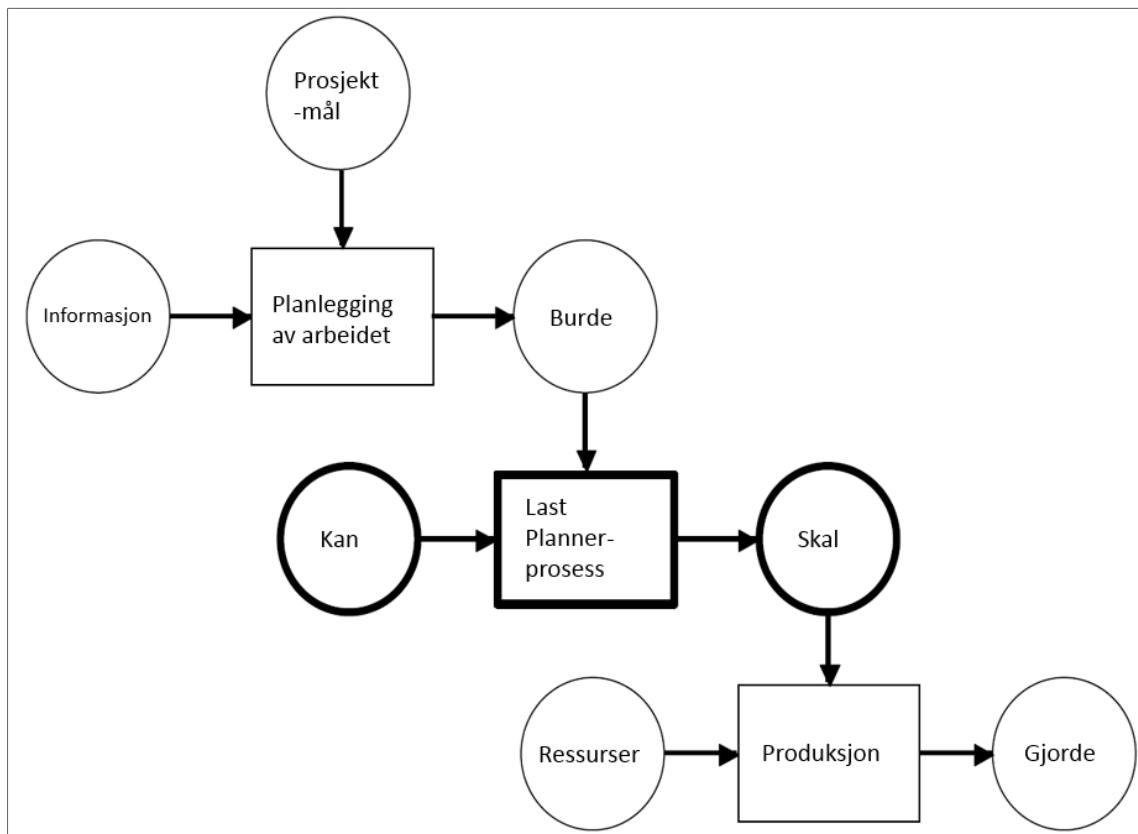
Figur 11: Tradisjonelt push-planleggingsystem (oversatt fra Ballard (2000))

Produksjonen kontrolleres ved å sammenligne *burde* og *gjorde* i figuren over, og Ballard (2012) kaller dette *reaktiv prosjektkontroll*. Denne formen for kontroll medfører stor treghet i forhold til oppdagelse av problemer, da disse blir synlige først etter at de har fått konsekvenser for fremdriften eller budsjettet. Ballard (2012) beskriver denne formen for prosjektstyring som «... *driving a car while looking in the rear view mirror*», altså at man navigerer gjennom prosjektet kun gjennom å fokusere på hendelser som allerede har inntruffet.

Pull-systemet

Produksjonskontroll gjennom *pull* skiller seg fra *push*-kontroll, da materialer eller informasjon kun *trekkes* (*pull*) inn i arbeidsoppgaver som er klare for å motta dette (Ballard, 2000). *Pull* er derfor i høy grad det motsatte av *push*, da arbeidet trekkes nedover produksjonskjeden av de ulike produksjonsleddene, fremfor å skyves av en fremdriftsplan. Dette skaper også et kundeleverandørforhold mellom oppstrøms og nedstrøms aktiviteter, og motiverer produksjonsledd til å basere produksjonen på et konkret behov, fremfor en dato i fremdriftsplanen.

Forskjellen mellom push og pull kan også illustreres med Figur 12, som viser hvordan kapasiteten til arbeidslaget og andre relevante forhold tas hensyn til gjennom å innføre *kan*. *Last Planner-prosessen* i figuren omfatter å involvere baser og formenn (de siste planleggerne, *last planners*) i planleggingen for å kartlegge hva som *kan* utføres med gitte ressurser og begrensninger. Når disse faktorene er tatt hensyn til, utarbeides en ukeplan som gjenspeiler hva som *skal* gjøres (*Skal* i figuren). Dette bidrar til å øke påliteligheten til planene, da usikkerheten rundt utførelsen reduseres. Det danner også grunnlag for å etterforske hvorfor arbeid som burde påbegynnes ifølge hovedfremdriftsplanen ikke kunne utføres, som igjen kan føre til iverksettelse av tiltak.



Figur 12: Pull-systemet (oversatt fra Ballard (2000))

Selv om dagens produksjonsmodell baserer seg på push, finnes det også eksempler på elementer av pull (Ballard, 2000). Et slikt eksempel er betong, som grunnet herdetiden ikke kan bestilles lang tid i forveien. Dette fører til at betongen bestilles/trekkes til byggeplassen kort tid før støping, og dermed på grunnlag av et reelt behov og ikke en fremdriftsplan.

Et konkret verktøy for produksjonskontroll er *Last Planner*-systemet, og dette er beskrevet nærmere i delkapittel 3.5. Et kriterium for innføring av pull-kontroll er at leveringstider faller innenfor det forutsigbare tidsvinduet, altså innenfor tidsvinduet der produksjonssituasjonen kan forutses (Ballard et al., 2001). Dette betyr at pull-systemer er avhengig av pålitelighet for å fungere, og dette beskrives nærmere i neste delkapittel.

3.3.3 Skjerming av produksjon

Definisjon

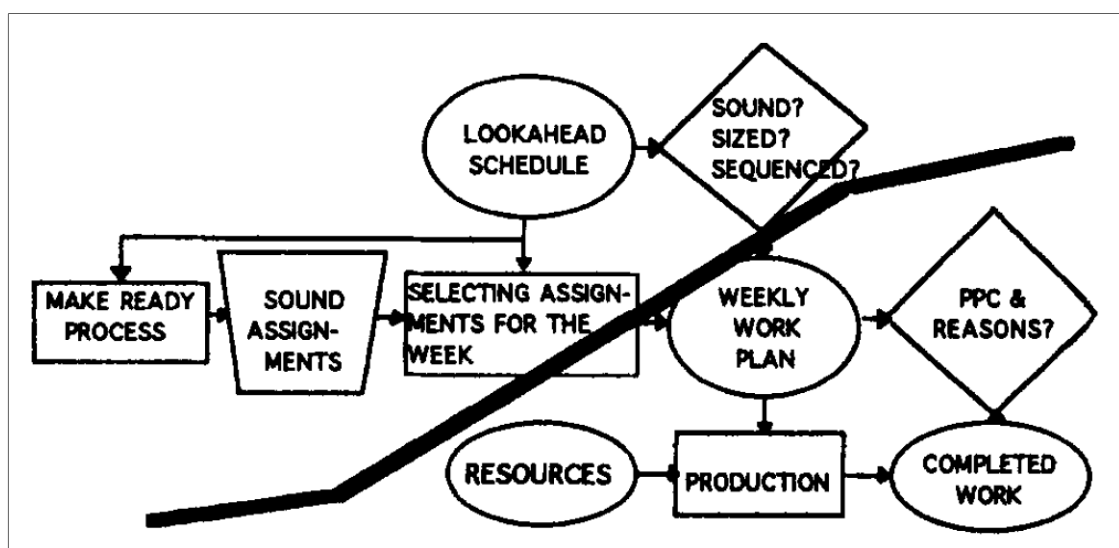
Skjerming av produksjonen (engelsk *shielding production*) fra usikkerhet er en viktig del av produksjonskontroll, og oppgaver som er skjermet fra usikkerhet i arbeidsflyt kalles *sunne* oppgaver (Ballard & Howell, 1998). I usikre omgivelser med høy grad av variabilitet er det vanskelig å legge pålitelige planer, og innføringen av kvalitetsoppgaver, som i tillegg til sunnhet tilfredsstillende et sett med kvalitetskrav, er et steg i retningen av produksjonskontroll i byggeprosjekter. En kvalitetsoppgave må ifølge Ballard & Howell (1998) oppfylle følgende fem kvalitetskrav:

- **Definisjon:** Er oppgaven definert nok til at nødvendige materialer kan anskaffes, arbeidet kan koordineres med andre fag og det kan besluttes om oppgaven er utført ved ukens slutt?
- **Sunnhet:** Er alle nødvendige ressurser tilgjengelige, inkludert materialer, utstyr, informasjon og tegninger? Er forutgående arbeid fullført?
- **Sekvens:** Er oppgaven valgt på bakgrunn av behovet fra neste ledd i produksjonskjeden og fra det aktuelle arbeidslagets nødvendige rekkefølge på aktiviteter?
- **Størrelse:** Er oppgavens størrelse/omfang tilpasset arbeidslagets kapasitet, slik at den kan fullføres innenfor bestemt tidsramme?
- **Læring:** Er oppgaver som ikke ble fullført etter planen registrert og årsaker identifisert?

Disse kvalitetskravene har likhetstrekk med kriteriene for perfekt utførelse nevnt i avsnitt 3.2.2, som omfatter forutgående arbeid, plass, mannskap, utstyr, informasjon, materialer og eksterne forhold. Hvordan disse kvalitetskriteriene brukes i praksis diskuteres videre under.

Planlegging

Som vist i Figur 13 må aktiviteter fra utkikkspanen (*lookahead schedule*) gjennom en klargjøringsprosess (*make ready process*) oppfylle disse kvalitetskriteriene for å slippe inn i ukeplanen (*weekly work plan*). Som nevnt baserer pull-produksjon seg på behovet fra nedstrømsaktiviteter, og dermed kan pull-systemet ivareta kriteriene for sunnhet, sekvens og størrelse gjennom å involvere de utførende i ukeplanleggingen. En viktig faktor relatert til involveringen av utførende i planleggingen er å gi dem muligheten til å avslå oppgaver som ikke oppfyller kriteriene, da forpliktelser og løfter mister sin verdi uten muligheten til å si nei (Ballard, 1999).



Figur 13: Skjerming av produksjon (Ballard & Howell, 1998)

I forbindelse med størrelseskriteriet presiserer Ballard (1999) at man ikke bør planlegge utfra arbeidslagets fulle kapasitet, men at det bør legges inn en kapasitetsbuffer for å ta hensyn til uunngåelig variabilitet. Dersom man alltid planlegger utfra 100 % av kapasiteten til arbeidslagene vil planene stadig måtte revideres etter hvert som uforutsette faktorer påvirker fremdriften. En annen viktig faktor for å opprettholde verdien av ukeplanen er daglig

oppdatering. Ved å ta en rask gjennomgang i starten av hver dag kan fremdriften kontrolleres, og eventuelle avvik håndteres. Ved å ha såpass hyppige statusoppdateringer kan problemer løses før konsekvensene blir store. Dette står i kontrast til dagens prosjektstyring, der problemer først oppdages *etter* at de har påvirket fremdrift eller budsjett. Når det gjelder kvalitetskriteriet for læring diskuteres dette nærmere i delkapittel 3.4.3.

Virkingen av å skjerme produksjonen

En direkte virkning av innføring av kvalitetskriterier for arbeidsoppgaver er økt pålitelighet på ukeplanen (Ballard & Howell, 1998). Da aktivitetene i ukeplanen er skjermet for usikkerhet kan fokuset rettes nedstrøms, og tid og energi kan brukes på å forbedre effektiviteten i kommende aktiviteter. Gjennom å kun frigi arbeidsoppgaver som er skjermet fra usikkerhet, tvinges også problemer til overflaten på et tidligere tidspunkt (Ballard & Howell, 1998). Økt planpålitelighet fører også til økt stabilitet i produksjonssystemet, som igjen fører til bedre produksjonsflyt (Macomber et al., 2005).

Ballard & Howell (1998) hevder at det i det tradisjonelle produksjonssystemet fullføres mindre enn 60 % av planlagte aktiviteter ukentlig, og ofte så lite som 35 %. Dette målet omtales ofte som PPU, prosent av planlagte aktiviteter utført (engelsk *PPC*). De forklarer videre at det trengs 30 % mindre arbeid når PPU overstiger 50 %. Gjennom en studie fant Liu et al. (2010) at én enhets økning i PPU resulterte i 1,095 enheters økning i produktivitet, og at 10,1 % av variansen i produktivitet kan relateres til PPU. Disse faktorene burde derfor være en solid motivasjonsfaktor for å øke PPU. En annen følge av økt pålitelighet er en reduksjon i de forskjellige fagenes behov for å legge inn buffere for å beskytte seg mot usikkerhet (Ballard & Howell, 1998). Dette leder igjen til høyere produktivitet, reduserte kostnader og kortere gjennomføringstid for prosjektet.

3.3.4 Standardisering

Ifølge Koskela (1992) er standardisering av aktiviteter gjennom å innføre standardiserte prosedyrer et viktig virkemiddel for å redusere variabilitet (den *universelle fienden*). I forbindelse med produksjonskontroll er derfor standardisering et viktig begrep, da variabilitet er den største utfordringen for produksjonskontroll. Standardisering kan brukes på komponenter, arbeidsmetoder, planleggingsprosedyrer, logistikkhåndtering og så videre, og danner et viktig utgangspunkt for kontinuerlig forbedring, som diskuteres i neste kapittel.

Prefabrikkering

Et konkret tiltak for standardisering er bruk av prefabrikasjon, som befinner seg i skjæringspunktet mellom fabrikkproduksjon og byggeplassproduksjon (Ballard & Arbulu, 2004). Prefabrikasjon er produksjon av hele eller deler av en komponent på et annet sted enn den endelige montasjen (Ballard & Arbulu, 2004; Björnfot & Sardén, 2006). Med komponenter menes enheter som er sammensatt av flere bestanddeler, hvilket medfører at hele eller deler av montasjen flyttes vekk fra komponentens endelige posisjon. Dette kan bety produksjon og montasje et annet sted på byggeplassen, eller borte fra byggeplassen i egne lokaler.

I hvilken grad prefabrikasjon kan brukes vil avhenge av flere faktorer, som entrepriseform, prosjekttype og så videre, og kan variere fra prefabrikerte betongelementer til komplette rom med ferdige rør og elektriske installasjoner (moduler). En åpenbar fordel med prefabrikasjon er at produksjonen kan foregå i kontrollerte omgivelser i fabrikkliknende lokaler, og dermed unngå påvirkning fra eksterne forhold og variabiliteten som følger med byggeplassen.

Ifølge Luo et al. (2005) leder korrekt bruk av prefabrikasjon til standardisering av prosesser, kortere leveringstider, økt kvalitetskontroll og redusert sløsing av materialer. Suksessfaktorer for å oppnå slike gevinster omfatter ifølge Ballard & Arbulu (2004) blant annet korte leveringstider fra leverandører, lean produksjonssystem hos leverandøren, lav risiko for endring i design underveis og god styring av den overordnede verdistrømmen.

3.4 FORBEDRING AV PRODUKSJONSSYSTEMER

Etter at produksjonssystemet er utarbeidet og ønsket kontroll oppnådd, kommer siste ledd, som består av forbedring av selve produksjonssystemet og av produksjonskontrollen. Dette involverer de viktige begrepene *kontinuerlig forbedring*, *læring*, *transparente prosesser* og *standardisering*, og disse beskrives nærmere under.

3.4.1 Kontinuerlig forbedring

Inspirert av *kaizen* fra Toyota-systemet formulerte Koskela (1992) kontinuerlig forbedring som ett av de elleve prinsippene for forbedring av produksjonssystemer. Dette er også blant de viktigste av dem, da det danner rammeverket for realisering av mange av de resterende prinsippene. I kontrast til innovasjonsbasert forbedring, som er den tradisjonelle formen, baserer kontinuerlig forbedring seg på små, inkrementelle forbedringer og finsliping av prosesser (Koskela, 1992). Fokuset er også rettet mer mot involvering av ansatte, og forbedringer er basert på beste interne praksis og intern kunnskap. Kontinuerlige forbedringer fokuserer på å forbedre flytprosesser, mens innovasjon hovedsakelig fokuserer på radikale endringer i transformasjoner (for eksempel ved hjelp av ny teknologi og nytt utstyr).

Når forbedringer skal tilføres produksjonssystemet er det viktig å ta hensyn til prinsippene om å fokusere kontrollen på hele prosessen og å balansere forbedringer i flyt med forbedringer i transformasjoner. Dette er for å unngå suboptimale løsninger, der lokale forbedringer fører til dårligere ytelse for systemet som helhet. Prinsippet om kontinuerlig forbedring fungerer som et rammeverk for prinsippene som er forklart under.

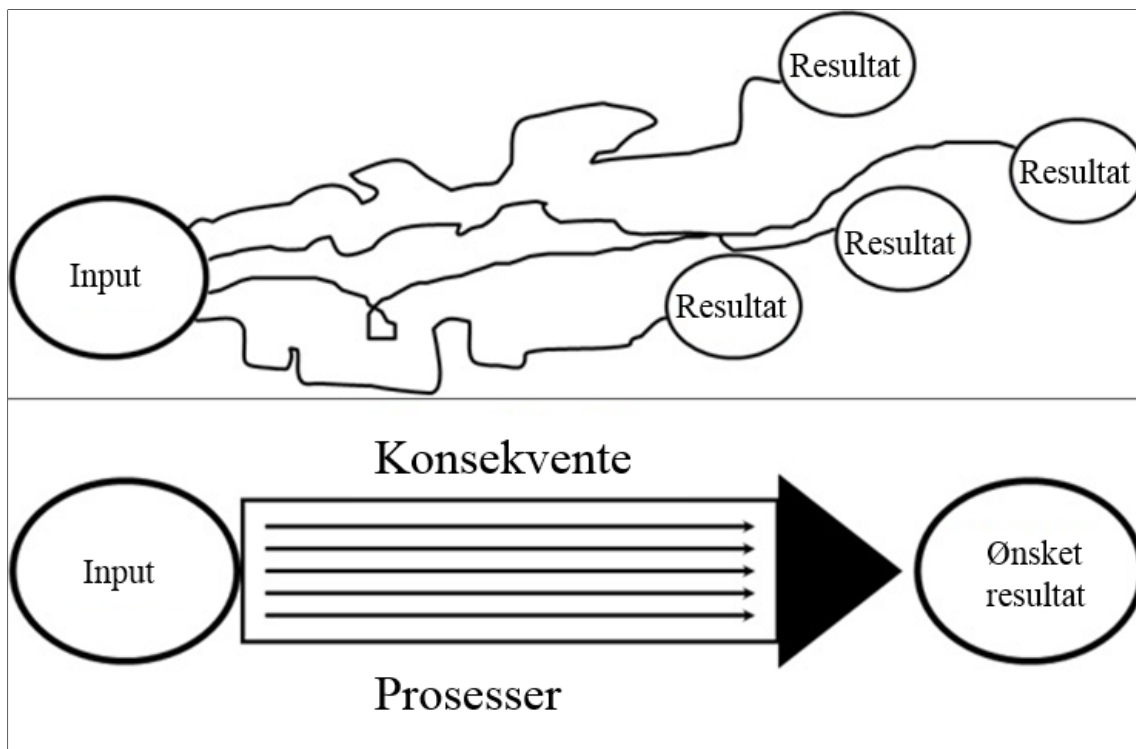
3.4.2 Standardisering

“Where there is no standard, there can be no kaizen” - Taichii Ohno

Ifølge Moore (2011) er standardisering første ledd av kontinuerlig forbedring, da man trenger et veldefinert utgangspunkt for å tilføre forbedringer. Standardisering har følgende karakteristikk:

- Standarder reflekterer den *nåværende beste, letteste og sikreste* måten å gjøre en jobb
- Den beste måten å preservere kunnskap og ekspertise
- Standarder viser forholdet mellom årsak og virkning
- Standardisering gir
 - en måte å måle ytelse på
 - en basis for vedlikehold og forbedringsmål
 - en basis for trening
 - en basis for revisjon og diagnose
 - en metode for å forhindre gjentakende feil og variabilitet

Uten standardiserte gjennomføringsmetoder er det vanskelig å tilføre forbedringer, da den aktuelle prosessen vil ha en høy grad av variabilitet. Det vil dermed bli vanskelig å vite hvilke effekter som skyldes de bevisst tilførte endringene og hvilke som skyldes ukjent, ekstern påvirkning. Dette er illustrert i figuren under, som viser forskjellen på vilkårlige og standardiserte prosesser, og hvordan prosessen blir observerbar og kontrollerbar gjennom standardisering.



Figur 14: Over: vilkårlig prosess, under: standardisert prosess (oversatt fra Kaizen Insitute - India (2013))

Standardisering kan omfatte både konkrete arbeidsmetoder relatert til produksjon (eksempelvis utførelsen av en arbeidsaktivitet), men også for prosesser relatert til produksjonskontroll (eksempelvis planlegging). En konkret fremgangsmåte for standardisering og kontinuerlig forbedring er SDCA/PDCA-hjulet, og dette beskrives nærmere i delkapittel 3.5.2.

3.4.3 Læring

Da *læring* inngår som et kvalitetskriterium i skjermingen av produksjon (Ballard & Howell, 1998), er det en viktig faktor for å forbedre kontrollen av produksjonssystemer. Det er stor kontrast mellom læring i den tradisjonelle prosjektmodellen og i lean produksjonssystemer, og disse fremheves i avsnittene under.

Læring i den tradisjonelle modellen

Med den tradisjonelle prosjektledelsesmodellen foregår læring kun internt i aktivitetene (Howell & Ballard, 1998), og det er dermed lav grad av erfaringsoverføring og læring mellom prosjekter. Dette skyldes til dels at produksjonen er prosjektbasert med midlertidige

organisasjoner. En annen faktor som påvirker læringen i organisasjonen er motstanden mot endring og trangen til å følge etablerte handlingsmønstre (Oglesby et al., 1989). Dette er omtalt som *satisficing*, altså å utføre en oppgave eller nå et mål på en måte som er god nok, men ikke nødvendigvis den beste.

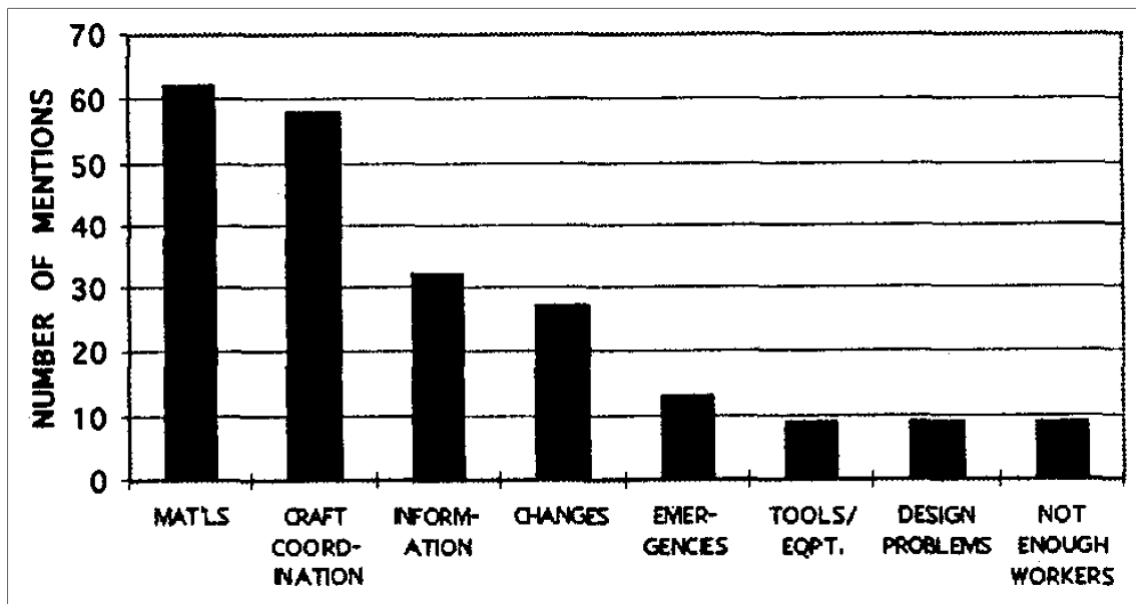
Oglesby et al. (1989) hevder også at manglende fokus på produktivetsforbedringer skyldes at produksjonskontrollen i høy grad er overlatt til de utførende. Håndverkere, baser og formenn har som regel svært travle arbeidsdager, og har ikke mulighet til å se tilbake på fullførte oppgaver for å analysere og lære.

Den tradisjonelle modellen har i tillegg lavt fokus på kontroll av måloppnåelse, og når problemer inntreffer rettes fokuset som regel på symptomene fremfor den underliggende årsaken. På denne måten tillates problemer å gjenta seg, og resultatet er en endeløs rekke med «brannslukking». Når forbedringer tilføres systemet kommer disse i form av lokal optimalisering, hvilket fører til suboptimale resultater for prosjektet som helhet (Koskela et al., 2002). Dersom en formann gjør grep for å øke produktiviteten til en isolert arbeidsaktivitet kan dette redusere ytelsen til prosjektet som helhet, da den lokale forbedringen leder til redusert forutsigbarhet i arbeidsflyten for neste ledd i produksjonskjeden.

Læring i lean produksjonssystemer

I lean-sammenheng er *jidoka*, som nevnt i avsnitt 3.2.3 under *Verdi*, også relevant for læring. Det fjerde steget i *jidoka*-prinsippet er å undersøke rotårsaken og iverksette tiltak når et problem oppdages, og dette leder til læring og forhindring av gjentakelse. Koskela (1992) påpeker også viktigheten av måling og dokumentering av prestasjoner i jakten på et lean produksjonssystem.

Ifølge Ballard & Howell (1998) sin produksjonsskjermingsteori danner registrering av måloppnåelse gjennom PPU (prosent av planlagte aktiviteter utført) et viktig grunnlag for å oppdage problemer og finne rotårsaker (PPU omtalt som PPC i Figur 13). Ved å registrere problemer som oppstår kan dataene danne grunnlag for å utarbeide årsakskart, som er et nyttig verktøy for å avdekke hvilke typer feil som er gjentakende (Ballard & Howell, 1998). Dersom en problemkategori viser seg å være gjentakende kan tiltak på et mer overordnet nivå iverksettes. Eksempel på et årsakskart er vist i Figur 15, der det fremkommer at materialer og koordinering mellom fag er årsakene til de fleste fremdriftsproblemene. Når de mest gjentakende avvikene er registrert, kan rotårsakene til problemene identifiseres. Deretter kan problemene løses ved kilden, og man unngår gjentakelse av de samme problemene.



Figur 15: Årsakskart for ikke-fullførte aktiviteter (Ballard & Howell, 1998)

En annen viktig arena for læring i lean prosjektleveransesystemer er *mellom* prosjekter (Koskela et al., 2002). Ved å bruke kunnskap som er opparbeidet under gjennomføringen av et prosjekt videre i andre prosjekter, oppnår man kontinuerlig forbedring. Gjennom å evaluere prosessen og produktet etter overlevering kan prosjekteier og brukerne av produktet sine erfaringer danne grunnlag for læring og forbedring av produksjonssystemet (Koskela et al., 2002). Dette står i kontrast til dagens praksis, der kruttet ofte må finnes opp på nytt for hver gang man starter et nytt prosjekt.

3.4.4 Transparente prosesser

Mangel på gjennomsiktighet i prosesser reduserer synligheten av feil og senker motivasjonen for å tilføre forbedringer (Koskela, 1992). Prosesser med lav gjennomsiktighet lider ofte av *black box*-effekten, der ressurser sendes inn i boksen og et produkt kommer ut i andre enden. Det er vanskelig å forbedre prosessen (den svarte boksen) da man ikke kan observere og forstå hva som foregår internt i den. Ballard & Howell (1998) nevner transparente prosesser som et viktig steg i forbedringen av produksjonssystemer, og Koskela (1992) formulerte prinsippet «Øk prosessers gjennomsiktighet/transparentens» for å oppnå transparente prosesser, da dette synliggjør sløsing.

Å øke gjennomsiktigheten av en prosess medfører å øke dens evne til å kommunisere med personer (Formoso et al., 2002; Moser & Dos Santos, 2003), og dette kan blant annet medføre mer effektiv produksjonsplanlegging, enklere beslutningstaking, økning i moral blant ansatte, forenkling av produksjonskontroll og raskere oppfattelse og behandling av problemer (Moser & Dos Santos, 2003). I sammenheng med gjennomsiktighet er begreper som visualisering, kanban og 5S relevante, og disse diskuteres nærmere under.

5S

Et konkret tiltak for å øke gjennomsiktighet er ifølge Koskela (1992) å sørge for en ryddig arbeidsplass. 5S, et rammeverk fra lean fabrikkproduksjon, er spesielt relevant i denne sammenhengen (Salem et al., 2005), og begrepet 5S er en forkortelse for de japanske ordene:

- *Seiri (sortere)*: kun nødvendig verktøy, utsyr og materiell skal være tilstede, resten kastes eller lagres
- *Seiton (systematisere)*: organisering av verktøy og materiell slik at alt har sin plass
- *Seiso (skinne)*: systematisk rydding av arbeidsområdet, utstyr legges tilbake på sin plass
- *Seiketsu (standardiser)*: standardisering av rutiner for de tre første S
- *Shitsuke (sikre)*: opprettholde fokuset på de fire første S

5S har dermed visse fellestrekk med rent-tørt-bygg (RTB) når det gjelder å holde arbeidsområdet ryddig og rent, men er mer omfattende da den også inkluderer flere områder.

Visualisering

Moser & Dos Santos (2003) hevder at arbeidere lettere husker arbeidsflyt, målsetninger og spesifikke handlinger dersom de visualiseres. Koskela (1992) nevner også at å gjøre prosessen observerbar gjennom utforming og merking/skilting bidrar til bedre gjennomsiktighet. Howell & Ballard (1998) forklarer at et gjennomsiktig system er observerbart for beslutningstakere på alle nivåer i produksjonssystemet, slik at disse kan ta lokale beslutninger som gagnar systemet som helhet. Dette reduserer dermed risikoen for suboptimale løsninger. Transparente prosesser medfører derfor desentralisert beslutningstaking og bedre koordinering og tilpassing mellom ulike aktører.

Ifølge Salem et al. (2006) kan økt visualisering oppnås gjennom planer med visuelle forpliktelser, sikkerhetsskilting, andre skilt, synlige milepæler i fremdriftsplanen og PPU-oversikter. Flere eksempler på konkrete tiltak for økt visualisering er posting av oppdaterte ukeplaner i arbeidsområdet, bruk av BIM-modell under planlegging, merking av avfallskonteinere og så videre.

Kanban

Kanban er nok et prinsipp hentet fra fabrikkproduksjon, og omfatter visuelle teknikker i produksjonssystemer som bruker pull (Moser & Dos Santos, 2003). I utgangspunktet omfattet teknikken kanban-kort som ble sendt fra nedstrøms til oppstrøms arbeidsstasjoner i fabrikk, men kan også opptre i flere former. Kanban signaliserer et behov visuelt, og varsler dermed oppstrøms aktiviteter om å produsere eller levere et produkt, materialer eller lignende. Bruk av kanban i produksjonen hjelper dermed kommunikasjonen mellom oppstrøms og nedstrøm aktører, og synliggjør de interne kunde-leverandørforholdene gjennom visuelle pull-teknikker. Kanban kan opptre i mange former, og kan eksempelvis være klistrelapper med bestillinger eller tomme skrukeesker for å signalisere behov for påfylling.

3.5 VERKTØY OG METODER FOR KONTROLL OG FORBEDRING AV PRODUKSJONSSYSTEMER

I forbindelse med teorien rundt lean prosjektleveransesystemer har det oppstått flere konkrete verktøy og metoder for å fremme lean-prinsippene. I forbindelse med teori-pyramiden vist i Figur 5, representerer verktøy og metoder *kroppen* av lean. Dette er det håndfaste og observerbare, og det er disse man kan komme i kontakt med i byggeprosjekter som anvender et lean produksjonssystem. I forbindelse med denne oppgaven er noen verktøy som er spesielt relevante for produksjonssystemer, produksjonskontroll og forbedring valgt, og disse beskrives nærmere under.

3.5.1 Last Planner-systemet

«*The Last Planner System of production control*» ble utviklet av Glenn Ballard (2000), og er et planleggingssystem som søker å tilrettelegge for produksjonskontroll gjennom å involvere både prosjektledelsen og arbeidslagene i planleggingen (Ballard & Howell, 1998). Navnet *last planner* er basert på denne involveringen, og referer til hvordan formenn og baser, altså de siste planleggerne før arbeidet utføres, involveres i den overordnede planleggingen. På denne måten skal systemet fylle tomrommet for produksjonskontroll i dagens tradisjonelle prosjektstyringssystem.

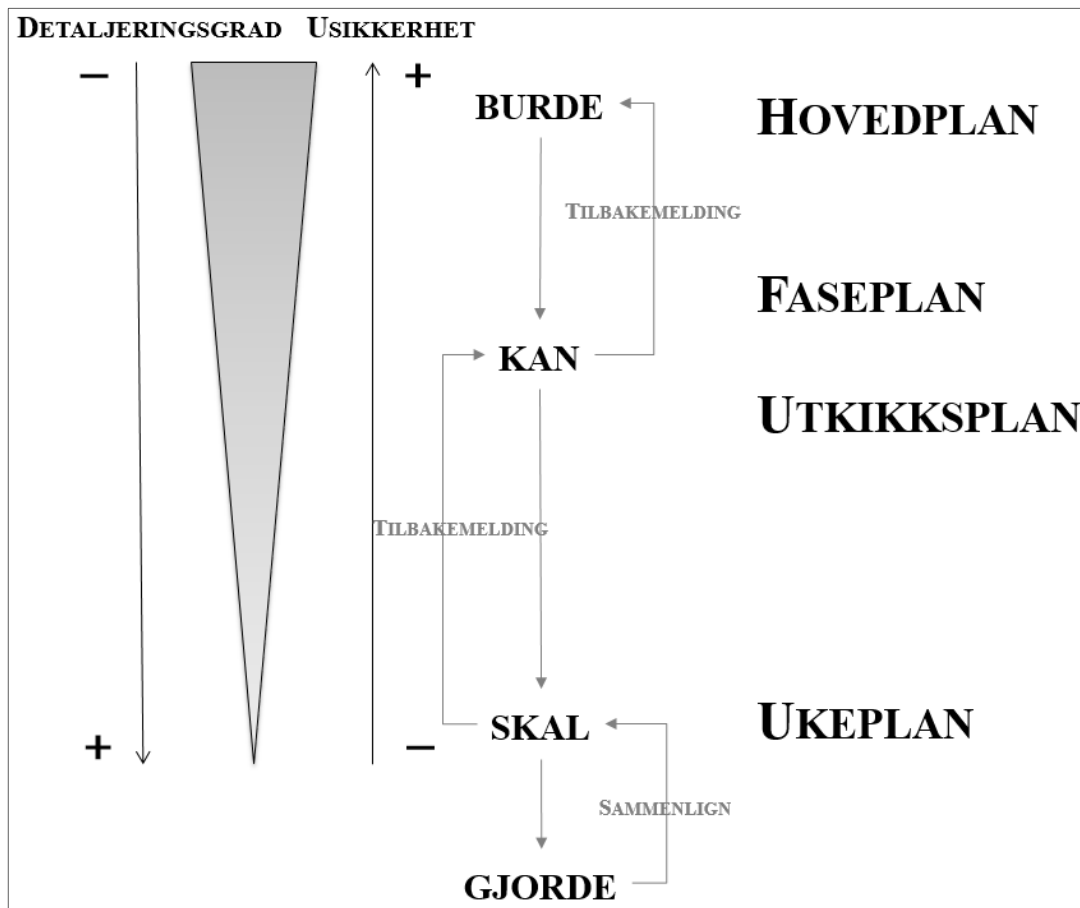
Last Planner-systemet (LPS) tar utgangspunkt i produksjonsskjermingsteorien, og danner et komplett og omfattende rammeverk med målsetning om å minimere sløsing og maksimere verdi. Ifølge Fauchier & Alves (2013) bidrar LPS til å fremme viktige faktorer som samarbeid, gjennomsiktighet/transparens, lang- og korttidsplanlegging, klargjøring av arbeid, klare forpliktelser, pålitelige løfter og måling av ytelse. For å beskrive LPS er det hensiktsmessig å dele teorien inn i kategoriene planhierarki, planlegging og oppfølging og læring.

Planhierarki

Ifølge Fauchier (2013) baserer LPS seg på fire sannheter:

- Alle langtidsplaner er prognoser
- Alle langtidsprognoser er feil
- Jo lenger frem i tid prognosen strekker seg, jo mer feil er den
- Jo mer detaljert prognosen er, jo mer feil er den

Med dette som utgangspunkt innfører LPS et hierarki av planer i prosjektet, og tar dermed hensyn til usikkerheten i tidlige faser, og øker detaljnivået på planene etter hvert som mer informasjon blir tilgjengelig. Dette er i kontrast til den tradisjonelle modellen, der fremdriftsplanen lages i detalj før prosjektet starter, og hele fokuset rettes mot å avdekke og håndtere avvik fra denne underveis i prosjektet. Som nevnt baserer LPS seg på produksjonsskjerming, og Figur 16 viser hvordan planhierarkiet i LPS er knyttet til begrepene *burde*, *kan*, *skal* og *gjorde* som ble introdusert i kapittel 3.3.3 «Skjerming av produksjon». Planenes detaljnivå øker etter hvert som hindringer fjernes og usikkerheten reduseres.

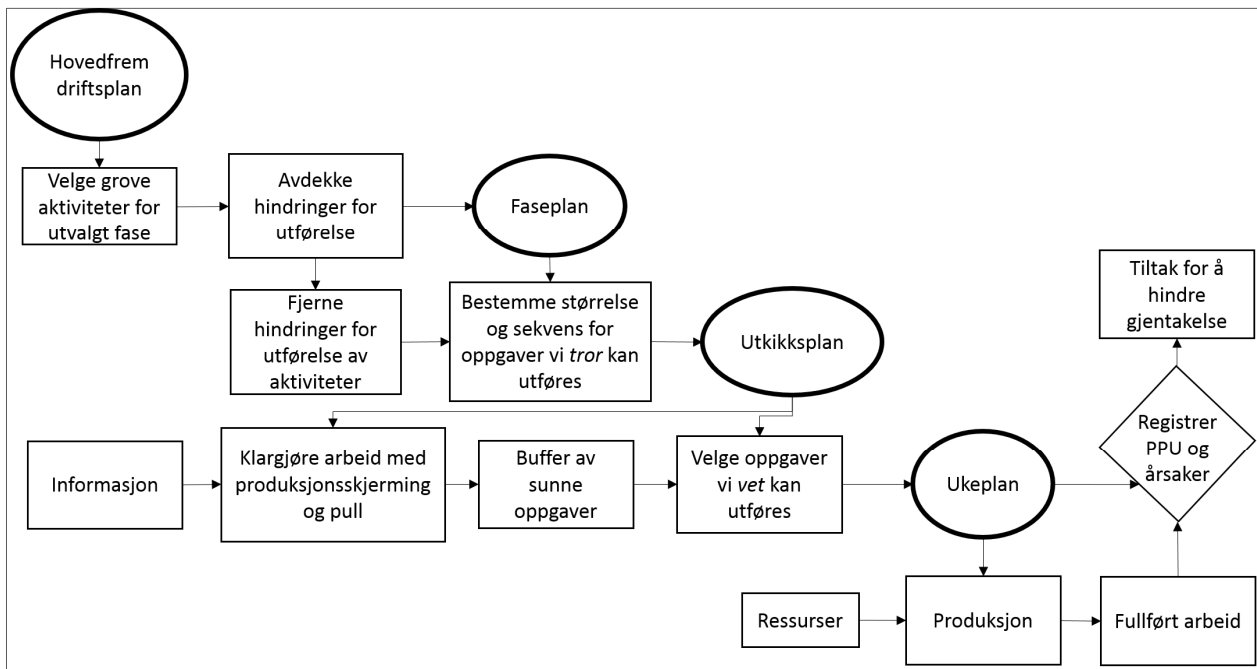


Figur 16: Planhierarkiet i Last Planner-systemet (tilpasset fra Alves (2012))

Som det fremkommer av figuren ovenfor baserer LPS seg på følgende fire plannivåer (Ballard, 2000; Ballard & Howell, 2003):

- *Hovedfremdriftsplan*: overordnet plan som inneholder hovedmilepæler, og som spesifiserer varigheten av prosjektets ulike faser. Hovedmilepæler er basert på hva som *bør* gjøres for å overholde sluttdatoen.
- *Faseplan*: en mer detaljert plan utarbeidet for én av prosjektets faser hentet fra hovedplanen. Grove aktiviteter identifiseres basert på hva som *bør* utføres for å overholde den aktuelle hovedmilepælen. Relasjoner mellom aktiviteter spesifiseres.
- *Utkikksplan (6-8 uker)*: ytterligere detaljering av faseplanen etter hvert som man nærmer seg og usikkerheten synker. Fungerer som en klargjøringsprosess, der aktivitetene fra faseplanen deles inn i oppgaver og legges inn i planen basert på hva som *kan* utføres med tilgjengelige ressurser og gjeldende begrensninger.
- *Ukeplan*: siste detaljering av planen før arbeidet utføres. Kun oppgaver som er skjermet for usikkerhet (kvalitetskriterier) føres opp i ukeplanen, og løfter inngås. Planen gjenspeiler hva som *skal* gjøres. Overflødige oppgaver føres opp i en reserve av kvalitetsoppgaver.

Hvordan disse planene forholder seg til hverandre, og hva som utføres under utarbeidelsen av hvert trinn i planhierarkiet er fremstilt i Figur 17.



Figur 17: Planlegging i LPS (fritt etter Ballard (2000))

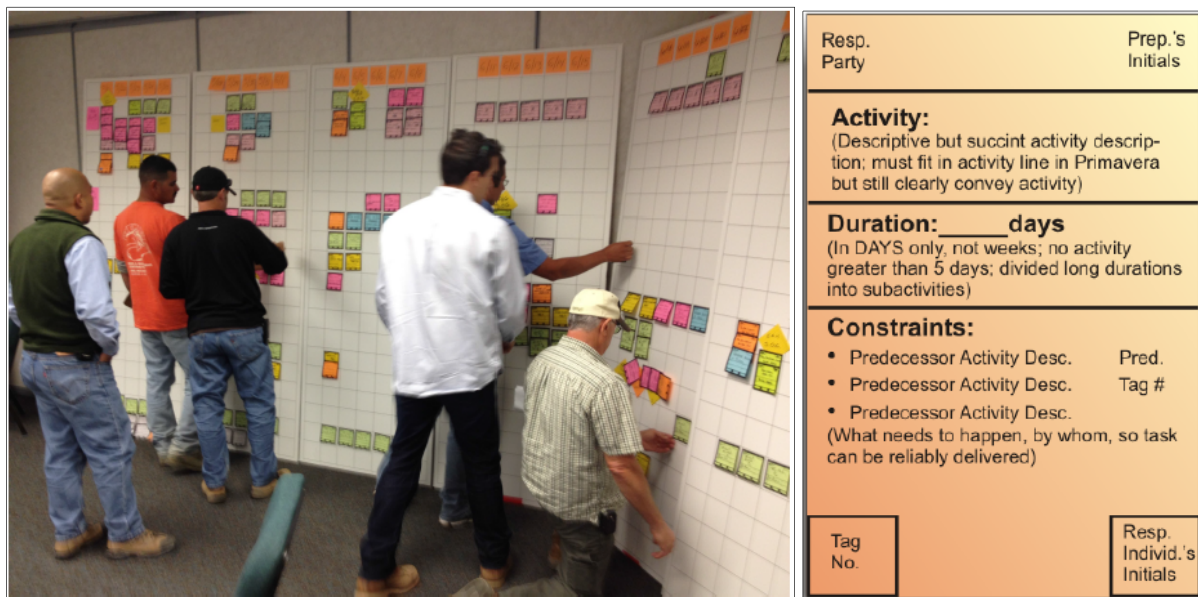
Hovedfremdriftsplanen utarbeides som regel med tradisjonell kritisk sti-metode som en del av anbudet, og er derfor ikke nærmere beskrevet. Under utformingen av faseplanen, der alle fag bør være representert, identifiseres aktivitetene som inngår i den aktuelle fasen. I tillegg identifiseres potensielle konflikter og forhold som kan hindre utførelsen av arbeidet (Macomber et al., 2005). Under utarbeidelsen av utviklingsplanen analyseres og løses forholdene som kan forhindre aktørene i å kunne gi et pålitelig løfte, og aktivitetene fra faseplanen deles inn i oppgaver med passende størrelse og logisk rekkefølge.

Oppgaver som føres opp i ukeplanen bør tilfredsstillende kvalitetskriteriene som ble beskrevet i delkapittel 3.3.3, som stiller krav til definisjon, sunnhet, sekvens, størrelse og læring (aktiviteter vi vet kan utføres). Dette fører til at pålitelige løfter kan inngås, da mesteparten av usikkerheten rundt aktivitetene er fjernet. Pålitelige løfter er ifølge Fauchier & Alves (2013) en vei til å bygge tillit og etablere sosiale nettverk i prosjekter. Ved hjelp av planhierarkiet fremmer LPS en kontinuerlig gjennomgang av planene på lang, middels og kort sikt. I tillegg til å legge føringer for planhierarkiet og skjerming av aktivitetene, har LPS også kjøreregler for utformingen av planene, og dette diskuteres videre under.

Pull-planlegging

Da LPS baserer seg på å involvere personene som utfører arbeidet i planleggingen, fører dette til en noe annerledes planleggingspraksis enn i dagens tradisjonelle modell. Den største forskjellen er innføringen av pull-planleggingsteknikk, som tar utgangspunkt i en sluttdato og jobber seg bakover (Ballard & Howell, 2003). En hovedregel for pull-planlegging er å kun planlegge utførelsen av arbeid som frigjør nytt arbeid, og på denne måten opprettholde arbeidsflyten (Ballard & Howell, 2003). Ifølge Ballard & Howell (2012) produserer pull-planlegging de beste mulige planene ved å involvere alle med relevant ekspertise. Forskning har også vist at arbeidslag med formenn som bruker mer tid på planlegging har høyere produktivitet (Fauchier & Alves, 2013).

Pull-planleggingsøker gjennomføres i rom med tilstrekkelig plass til representanter fra alle fag, og planleggingen foregår på én eller flere tavler. Formenn fra hvert fag noterer informasjon om varighet, område, nødvendige ressurser, forutgående arbeid og annen relevant informasjon for hver av sine aktiviteter på klistrelapper, og fester disse på tavlen. Disse lappene ordnes deretter i korrekt sekvens gjennom kommunikasjon mellom fagene, og potensielle konflikter blir synlige. Figuren under viser hvordan en pull-planleggingsøkt i forbindelse med faseplanlegging kan se ut og et eksempel på en aktivitetslapp, med informasjon om ansvarlig person, beskrivelse av aktiviteten, varigheten og restriksjoner.



Figur 18: Pull-planleggingsøkt og eksempel på aktivitetslapp (Fauchier, 2013)

Som nevnt foregår utarbeidelsen av hovedfremdriftsplanen som regel på et tidlig tidspunkt og ved hjelp av kritisk sti-metode, men allerede under utarbeidelsen av faseplanen anbefales det å bruke pull-planleggingsteknikk og involverende lagsplanlegging (Ballard & Howell, 2003). Dette er for å avdekke restriksjoner og potensielle utfordringer så tidlig som mulig, slik at disse kan løses i samarbeid før arbeidet skal startes (Ballard & Howell, 2012). Under faseplanleggingen og utkvikksplanleggingen bør hvert fag være representert med én mann, mens i ukeplanleggingen bør alle involverte baser være inkludert i pull-planleggingen.

Oppfølging og læring

En annen viktig del av LPS er oppfølging og oppdatering av planene gjennom bekreftelse av løftene (Macomber et al., 2005). Nettverket av løfter er skjørt dersom det ikke vedlikeholdes og bør oppdateres kontinuerlig for å beholde sin verdi. Dersom det blir klart at et løfte står i fare for å brytes eller ikke lenger er passende for å fullføre aktiviteten, må et nytt løfte gis. Dette kan medføre endring i kriterier eller tidsramme, og sørger for at den gjeldende planen til enhver tid er oppdatert og stemmer med de faktiske forholdene. Ukeplanen oppdateres gjennom korte, daglige møter, der status for hver aktivitet bestemmes, og avvik kan håndteres (Fauchier & Alves, 2013). På denne måten kan problemer oppdages før de rekker å påvirke fremdrift eller budsjett. Salem et al. (2006) fant gjennom en studie at 67 % av arbeiderne opplevde slike møter som verdifulle.

Macomber et al. (2005) påpeker også at «sammenbrudd» (*breakdowns*) alltid vil inntreffe, og at disse bør danne grunnlag for læring. Et sammenbrudd innebærer at arbeidet på en aktivitet avbrytes og et løfte står i fare for å brytes, og fører som regel til en rekke med nye sammenbrudd. Faren for at slike inntreffer må derfor minimeres gjennom å utsette avgjørelser til siste ansvarlige anledning, da man har mest mulig informasjon tilgjengelig og usikkerheten er så lav som mulig. Når sammenbrudd først inntreffer må man lære av disse for å unngå gjentakelse.

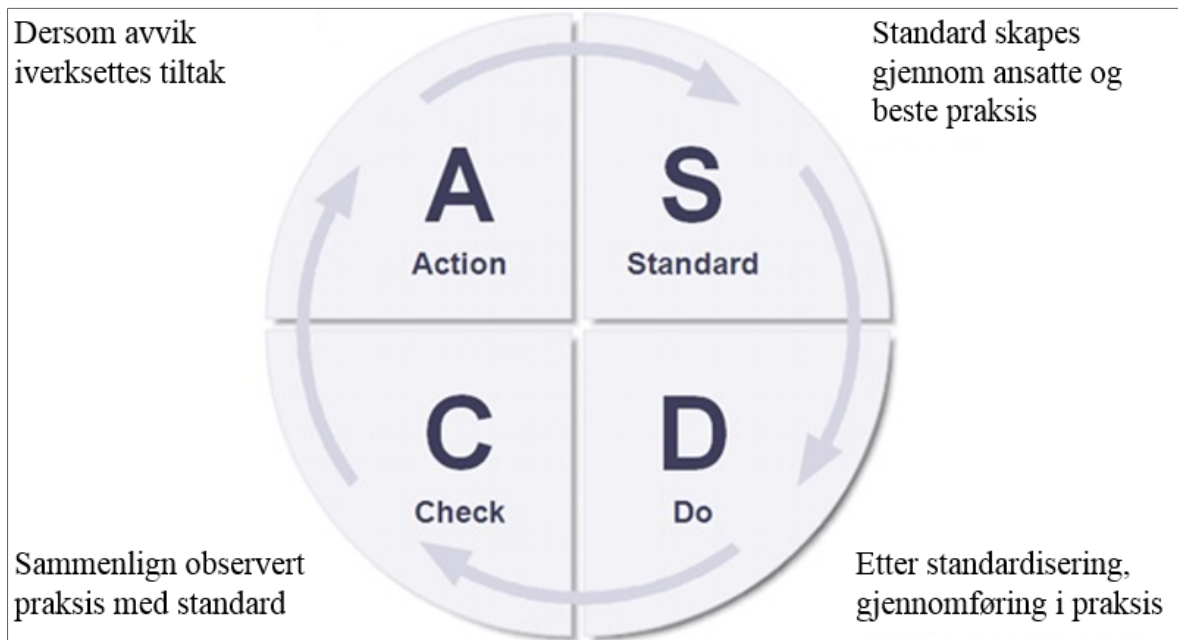
Registrering av PPU/PPC (beskrevet i delkapittel 3.4.3) danner viktig grunnlag for læring, da man får en god oversikt over hva som ikke ble utført som planlagt. Dette representeres med *Gjorde* i Figur 16, og man sammenligner hva som ble utført med løftene som ble gitt. Gjennom rotårsaksanalyser kan man finne den grunnleggende årsaken til sammenbrudd og løse problemet ved kilden. Ifølge Samudio et al. (2011) er LPS inspirert av PDCA-syklusen, og bruker fremgangsmåten for å planlegge, gjennomføre, analysere arbeid og forbedre produksjonssystemet. PDCA- og SDCA-syklusen er beskrevet i neste kapittel.

3.5.2 SDCA og PDCA

I forbindelse med forbedring av produksjonssystemer er PDCA og SDCA spesielt relevante, da de bidrar til økt stabilitet og kontinuerlig forbedring. Fremfor å være konkrete verktøy, er metodene heller generelle fremgangsmåter for å strukturere forbedring av prosesser. SDCA og PDCA er beskrevet nærmere under.

SDCA

En viktig metode for kontinuerlig forbedring er SDCA-syklusen (*standardize, do, check, act*) (Moore, 2011), som vist i Figur 19. Hensikten med fremgangsmåten er å stabilisere en utvalgt prosess før man gjør forsøk på å forbedre den (Kaizen Institute - India, 2013). Syklusen innebærer å opprette en standard gjennomføringsmetode basert på dagens beste praksis (*standardize*), utføre arbeidet (*do*), sammenligne utførelsen med standarden (*check*) og handle utfra eventuelle avvik mellom praksis og standard (*act*). Dersom avvikene viser seg å være positive, altså bedre enn standarden, danner disse grunnlag for en ny standard. Syklusen gjentas deretter kontinuerlig på stadig jakt etter å standardisere dagens beste praksis.

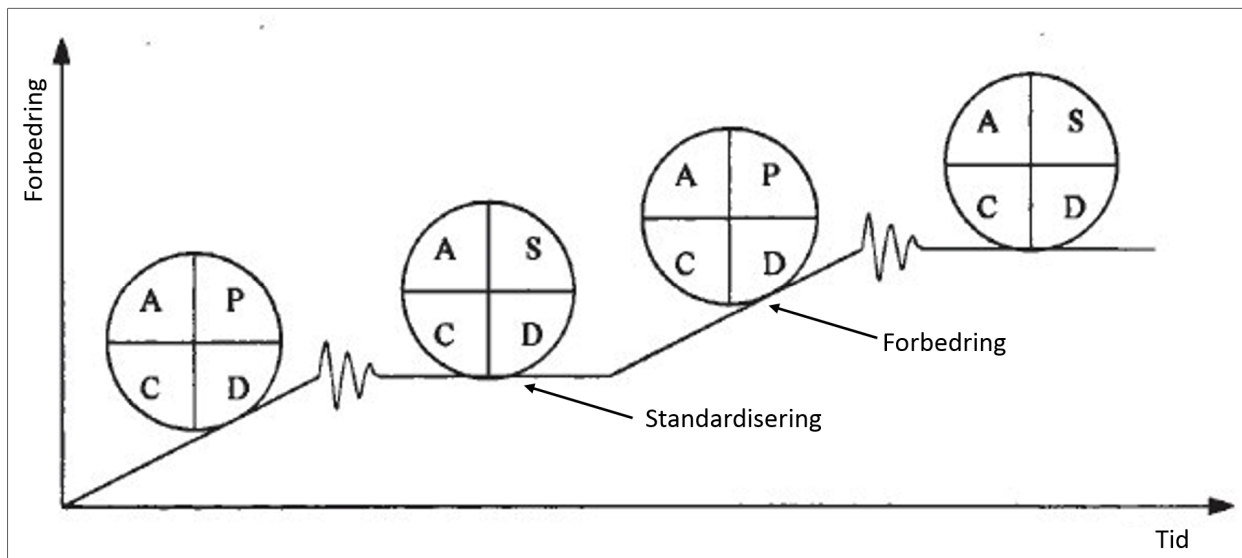


Figur 19: Standard - do - check - action (oversatt fra Kaizen Insitute - India (2013))

PDCA

En relatert fremgangsmåte til SDCA-hjulet er PDCA-hjulet (*plan, do, check, act*), som på norsk ofte refereres til som PUKK-hjulet (*planlegg, utfør, kontroller, korriger*). PDCA skiller seg imidlertid fra SDCA på første steg i syklusen, som handler om å etablere ny praksis, og dermed søker å gjøre større endringer. *Check* (kontroller) i PDCA-syklusen omfatter også en mer omfattende analyse av operasjonen for å avdekke potensielle forbedringsområder, fremfor å bare sammenligne den observerte praksisen med den etablerte standarden. *Act* (korriger) medfører å tilføre forbedringer til de potensielle områdene som ble avdekket under analysen, med mål å bevege seg utover dagens standard og søke kontinuerlig forbedring.

Målet med PDCA er derfor å gjøre større forbedringer i praksisen, og brukes som regel i samspill med SDCA (Kaizen Insitute - India, 2013). Forholdet mellom SDCA og PDCA er illustrert i figuren på neste side. Det fremkommer at PDCA fører til større forbedringer, mens SDCA stabiliserer den etablerte praksisen/standarden. Rekkefølgen på metodene i figuren er tilfeldig, og standardisering gjennom SDCA-hjulet kan også være nødvendig å gjennomføre før PDCA brukes.



Figur 20: SDCA for standardisering og PDCA for forbedring (oversatt fra Lean-Master (2013))

Et annet bruksområde for PDCA er ved gjennomføring av førstegangsstudier (*first run studies*), der man søker å etablere og forbedre praksisen for oppgaver som ikke er utført tidligere, og som er særskilt kritiske for fremdrift og/eller kostnader. Gjennom en casestudie fant Salem et al. (2006) at bruk av førstegangsstudier for to kritiske arbeidsoperasjoner i et garasjeanleggprosjekt førte til kostnadsreduksjon på 38 % og 73 %.

3.6 IMPLEMENTERING AV LEAN

”Implementing lean means an organization (project or enterprise) transforms itself from a current state to a future state vision that incorporates a lean ideal.”

- Arbulu & Zabelle (2006)

Transformasjon til et lean produksjonssystem baserer seg ofte på endring i atferdsmønstre, etablerte tankesett og innarbeidete rutiner, som er områder assosiert med motstand mot endring. Ifølge Koskela et al. (2002) er endring av prosedyrer, teknikker og systemer den enkle delen av implementasjon, mens den virkelige utfordringer ligger i endring av tankesett. Det er derfor naturlig å diskutere relevante utfordringer i forbindelse med implementasjon. På grunnlag av de kjente utfordringene beskrives deretter suksessfaktorene for implementasjon og retningslinjer for utarbeidelse av en implementasjonsstrategi.

3.6.1 Utfordringer

Ifølge Liker & Morgan (2006) baserer lean produksjon seg på menneskelige relasjoner og samarbeid mot felles mål. Dette står i kontrast til dagens situasjon, der individene er uorganiserte, uten relasjoner, og ikke stoler på noen. «*The question is how to get to there from here.*» (Liker & Morgan, 2006).

I forbindelse med implementering av endringer i organisasjoner finnes det generelle utfordringer, som ifølge Koskela (1992) kan deles i følelsesmessige og konseptuelle barrierer.

I tillegg til disse finnes det spesifikke utfordringer relatert til lean, og alle disse gjennomgås nærmere i avsnittene under.

Teoretisk forståelse

Da lean produksjon baserer seg på en filosofi og et sett med prinsipper (Figur 5, side 16), har den dypere teoretisk forankring enn den tradisjonelle modellen. Figur 5 viser også hvordan filosofien danner fundamentet for prinsippene, som igjen danner grunnlaget for verktøyene. En konsekvens av dette er større krav til teoretisk forståelse ved implementasjon, og ifølge Moore (2011) og Liker & Morgan (2006) bør første prioritet være å etablere en grunnleggende forståelse for filosofien før man tar i bruk verktøyene.

Den vanlige praksisen er imidlertid å gå rett på bruk av verktøyene, og Moore (2011) sammenligner dette med «å sette vognen foran hesten». Han hevder videre at ved fravær av grunnleggende teoretiske kunnskap vil brukeren bli dypt skuffet av opplevelsen med lean. Det teoretiske rammeverket i denne oppgaven er konstruert med den hensikt å være et hjelpemiddel til å oppnå nødvendig teoretisk forståelse for å kunne implementere lean i et produksjonssystem.

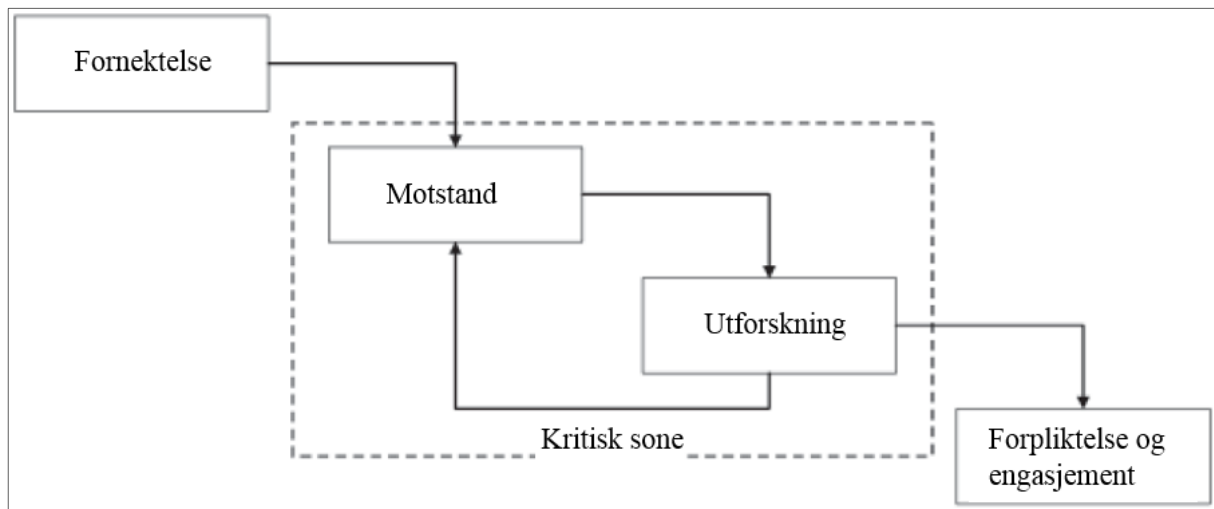
Fullstendig implementasjon

En spesifikk utfordring knyttet til implementasjon av lean er nødvendigheten av fullstendig og dyptgripende forankring i hele prosjektorganisasjonen. Implementasjon av omfattende lean produksjonskontrollverktøy, som Last Planner-systemet, medfører en langtrukket prosess som krever sterk involvering av eier, ledelse og alle andre involverte (Hamzeh & Bergstrom, 2010). Det er derfor viktig å sikre støtte fra disse, og utarbeide en detaljert plan for implementasjon. Ifølge Kalsaas et al. (2010) var ressurser og støtte avgjørende for å overkomme motgangen og den nødvendige systemtilpasningen under implementering av LPS på Havlimyra-prosjektet i Kristiansand kommune. Spesifikke implementasjonsstrategier diskuteres nærmere i delkapittel 3.6.2.

I forbindelse med organisatorisk endring nevner McGill & Slocum (1993) begrepet *avlæring* (*unlearning*), som omfatter avlæring av gammel praksis. Avlæring baner vei for nye erfaringer, og er en nødvendig forløper for læring. Dette er et viktig begrep, da lean som nevnt baserer seg på inngripen i etablerte organisatoriske systemer og rutiner.

Motstand mot endring

I forbindelse med organisatoriske endringer finnes det også generelle utfordringer som må tas hensyn til. En høyst relevant generell utfordring er mostanden mot endring. Ifølge Arbulu & Zabelle (2006) består endring av de fire fasene i Figur 21, der man må gjennomgå en kritisk fase for å oppnå en suksessfull endring.



Figur 21: Faser ved endring (oversatt fra Arbulu & Zabelle (2006))

Første fase, fornektelse, er et forsøk av det aktuelle individet på å opprettholde dagens praksis gjennom å ignorere tegnene på at en endring må finne sted (Arbulu & Zabelle, 2006). Dersom individet ikke erkjenner at det eksisterer et problem, finnes det heller ingen motivasjon for endring. Typiske symptomer på fornektelse er unnvikelse fra å diskutere temaet, ubekymret opptreden, avstand fra initiativtaking, og ellers å gjennomføre arbeidet rutinemessig. Arbulu & Zabelle (2006) forklarer videre at veien ut av fornektelse kommer gjennom informasjon og demonstrasjon av at det eksisterer et behov for endring.

Når den aktuelle endringen skal innføres entrer man den kritiske sonen, og motstand oppstår som en naturlig reaksjon, da de påvirkede ønsker å beholde kjente og trygge rutiner. Arbulu & Zabelle (2006) påpeker viktigheten av å møte motstanden med forståelse, og å identifisere de underliggende årsakene og løse dem. Dersom man forsøker å påtvinge det aktuelle individet endring gjennom bruk av autoritet, resulterer dette som regel i økt motstand. Etter at den første motstanden passerer overtar nysgjerrigheten, og individet starter å utforske potensielle fordeler ved endringen. For å bevege seg videre til forpliktelse til de nye rutinene, og dermed ut av den kritiske sonen, kreves kontinuerlig oppfølging for å hindre tilbakefall til gamle rutiner.

Misoppfatninger rundt Lean Construction

Som nevnt i det teoretiske rammeverket er utgangspunktet for anvendelse av lean i byggenæringen konseptene fra lean fabrikkproduksjon og Toyota-systemet, og dette har dannet grobunn for misoppfatninger rundt Lean Construction. En av disse er at lean fabrikkproduksjonsprinsipper ikke er gyldige i byggebransjen, da de to bransjene er vidt forskjellige av natur. En annen vanlig misoppfatning i første møte med lean fremkommer ofte gjennom påstandene «dette gjør vi allerede» eller «dette har vi alltid gjort» (Ballard & Howell, 1998). Et tiltak for å redusere motstand grunnet slike misoppfatninger er å gi en generell innføring i lean-teori før endringer skal innføres, og dermed avkrefte mange av mytene som eksisterer i bransjen.

Lokale faktorer

I tillegg til de generelle faktorene nevnt over, finnes det også lokale faktorer ved implementasjon av lean i produksjonssystemer (Hamzeh, 2009). Lokale faktorer omfatter utfordringer som skyldes prosjektrelaterte omstendigheter. Blant disse faktorene er den aktuelle prosjektgruppens kjennskap til lean, hvilke tradisjonelle prosjektstyringsmetoder som brukes, hvordan lederskapet er strukturert, samt kjemien i gruppen. Spesielt gruppekjemien kan være vanskelig å kartlegge på forhånd, og kan i forbindelse med operasjonsanalyser ha stor innvirkning på samarbeidsklimaet og dermed utbyttet.

3.6.2 Suksessfaktorer og implementasjonsstrategi

I forbindelse med implementering av lean og endringsarbeid generelt finnes noen sentrale suksessfaktorer og retningslinjer. I forbindelse med denne masteroppgavens casestudie var det kun aktuelt med implementering på prosjektnivå, men da målet var å etablere standardiserte rutiner, diskuteres også implementering på organisasjonsnivå i dette kapitlet. Hensikten er å presentere relevant teori for å overføre de standardiserte rutineene til andre prosjekter, og eventuelt på sikt å gi bedriften mulighet til å innføre lean på organisasjonsnivå.

PDCA-metodologi

Som en generell fremgangsmåte for transformasjon til et lean produksjonssystem anbefaler Arbulu & Zabelle (2006) å bruke PDCA-metodikk for å kontinuerlig forbedre praksisen underveis i implementeringen. På denne måten kan man få kontinuerlige oppdatering på implementasjonsstatusen og bestemme hvilke teknikker og verktøy innenfor lean som er nødvendige i det aktuelle prosjektet.

Suksessfaktorer for endringsarbeid

En bærekraftig transformasjon baserer seg ifølge Larson (2003) på følgende fem faktorer:

- *Visjon:* en overordnet visjon danner rammeverk for mål og strategi for implementering, og må forankres i både prosjekt- og organisasjonsledelsen
- *Ferdigheter:* nødvendige ferdigheter må være tilstede, og i lean sammenheng kan dette relateres til kunnskap om filosofien og prinsippene
- *Incentiver:* belønning for suksess er en motivasjonsfaktor, og kan komme gjennom anerkjennelse og fremhevelse av den eller de ansvarlige
- *Ressurser:* innføring av endringer er ressurskrevende, og er avhengig av tilstrekkelige ressurser til opplæring og omstilling av organisasjonen
- *Handlingsplan:* en plan for gjennomføring er nødvendig, da den danner det formelle rammeverket for implementasjonen

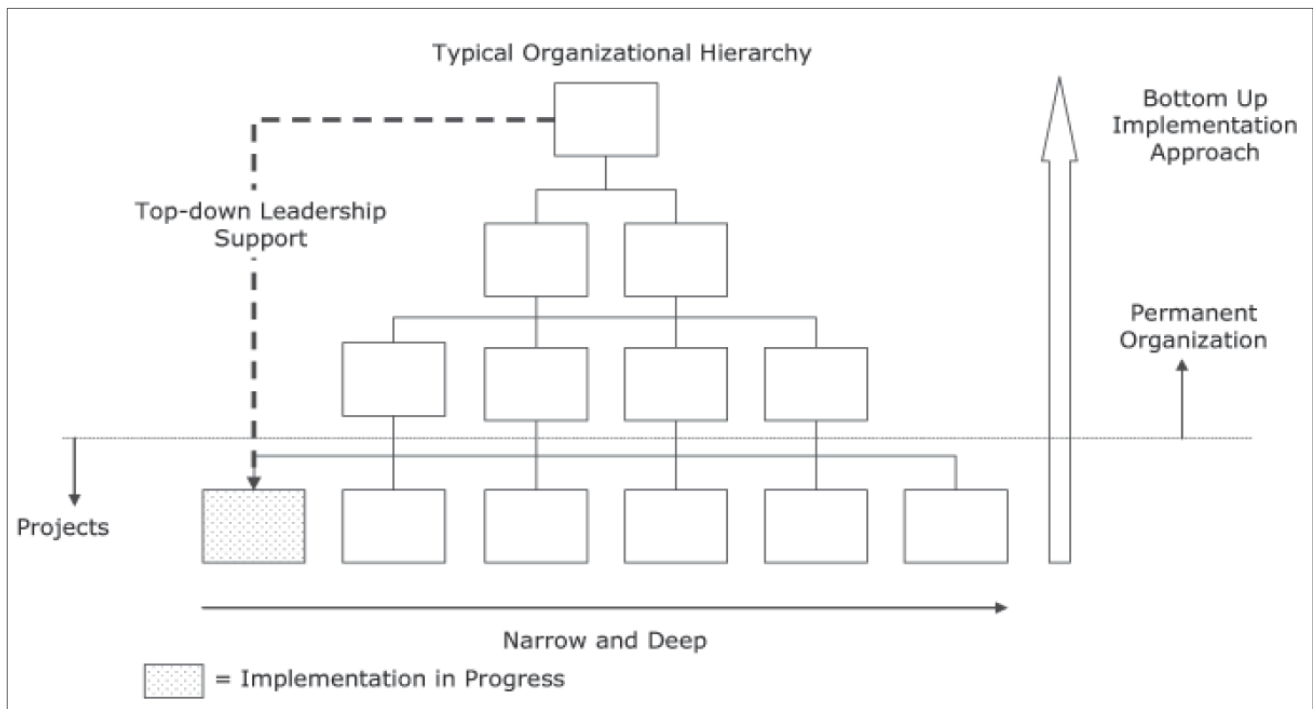
Fravær av én eller flere av disse faktorene får ulike konsekvenser for implementeringen av endringen, og disse er fremstilt i Tabell 2 på neste side.

<i>Visjon</i>	<i>Ferdigheter</i>	<i>Incentiver</i>	<i>Ressurser</i>	<i>Handlingsplan</i>	Resultat
✓	✓	✓	✓	✓	Endring
	✓	✓	✓	✓	Forvirring
✓		✓	✓	✓	Nervøsitet
✓	✓		✓	✓	Gradvis endring
✓	✓	✓		✓	Frustrasjon
✓	✓	✓	✓		Falsk start

Tabell 2: Suksessfaktorer for endring (oversatt fra Arbulu & Zabelle (2006))

Organisasjonsstrategi

Dersom det bestemmes at en fullstendig lean transformasjon skal finne sted, er det nødvendig å utarbeide en overordnet strategi for implementering på organisasjonsnivå. Topp-ned-metoden, der implementering skjer i flere prosjekter over hele bredden av organisasjonen som følge av press fra ledelsen, er én strategi. Denne har ifølge Arbulu & Zabelle (2006) vist seg å være lite hensiktsmessig, da den fører til en bred og overfladisk implementasjon, og foreslår heller en bunn-opp-tilnærming. Dette medfører en «dyp og smal» implementering, der endringen starter i ett eller flere prosjekter og arbeider seg oppover mot organisasjonsledelsen, som vist i figuren på neste side.



Figur 22: Bunn-opp-tilnærming til organisasjonsendring (Arbulu & Zabelle, 2006)

Denne modellen fører ifølge Arbulu & Zabelle (2006) til:

- Jevnere transformasjon av systemet
- Bedre oversikt over implementasjonen, da status kan deles inn i prosjekter
- Bedre mulighet til å velge hvilke prosjekter som skal transformeres til hvilket tidspunkt
- Bedre virkning av støtte fra ledelsen, da ledelsen kan fokusere på ett eller få prosjekter fremfor mange

Koskela (1992) påpeker viktigheten av involvering fra ledelsen, som vist i figuren over, da ledelsen er ansvarlig for å skape et miljø som er mottakelig for endring.

Retningslinjer for implementering

I litteraturen er flere forslag til implementasjonsstrategier og tilnærminger nevnt. Ballard et al. (2007) foreslår, basert på litteraturen, 14 retningslinjer for organisatorisk endring. Disse kan ses i sammenheng med suksessfaktorene for suksessfullt endringsarbeid i Tabell 2 og de nevnte utfordringene rundt implementasjon av lean, da de er utarbeidet for å tilfredsstille disse faktorene samtidig som utfordringene ivaretas. De 14 retningslinjene er som følger:

1. *Learning by doing*. Selv om lean baserer seg på omfattende teori, er det viktig å ikke bli for fokusert på det teoretiske
2. Start med eget arbeid, utvid omfanget når tiden er moden
3. Engasjer en ekstern konsulent til å assistere med strategi og læring
4. Endre organisasjonskulturen gjennom å endre ledelsespraksisen. La overordnede fungere som mentorer
5. Lær fra feiltrinn underveis
6. Mål produksjonssystemet underveis for å kontrollere status (eksempelvis med PPU)

7. Fokuser på stabilitet og pålitelighet i arbeidsflyten i første omgang, deretter avdekk og reduser sløsing
8. Start med demonstrasjonsprosjekter for å bygge kompetanse, selvsikkerhet og for å tilpasse lean teknikker til den aktuelle situasjonen
9. Forvent tidlige resultater og oppretthold moment/fremdrift gjennom å utvide omfanget
10. Skap en følelse av nødvendighet for endring
11. Tilrettelegg for og tren individer i samarbeid
12. Sørg for konsekvent lederskap
13. Struktur evalueringer og belønninger for å stimulere ønsket praksis
14. Ikke pålegg personer mer arbeid. Be dem heller slutte å gjøre ting som ikke gir mening

Basert på disse stegene kan man utarbeide en prosjektspesifikk implementasjonsplan, og gjennom å bruke PDCA-metodikk under implementeringen oppnår man en formalisert fremgangsmåte for kontinuerlig evaluering og forbedring.

Praksisfellesskap

Som en avrundning av implementasjonskapittelet nevnes praksisfellesskap (*communities of practice*), som er uformelle grupper sammensatt av ansatte i den aktuelle organisasjonen (Wenger & Snyder, 2000). Målet med praksisfellesskap er å opprettholde det langsiktige fokuset på lean og kontinuerlig forbedring gjennom deling av kunnskap og opprettelsen av et kreativt fagmiljø. Denne formen for frivillig, intern organisering av ansatte har likhetstrekk med kvalitetssirkelene fra Toyota-systemet, der ansatte fikk et forum for å foreslå forbedringer og løsninger på problemer. Ifølge Wenger & Snyder (2000) kan slike praksisfellesskap bidra til å videreutvikle strategi, overføre beste praksis, utvikle profesjonelle ferdigheter og hjelpe bedrifter med å rekruttere og holde på talent.

4. OPERASJONSANALYSE

PDCA-syklusen, som beskrevet i delkapittel 3.5.2, er en syklisk fremgangsmåte for å analysere og forbedre prosesser, og kan gjennomføres i flere omganger på samme arbeidsoperasjon. I denne oppgavens casestudie gjennomføres én PDCA-syklus i et utvalgt prosjekt for å analysere og potensielt forbedre produksjons- og produksjonskontrollprosessene til en spesifikk arbeidsoperasjon. Som analysemetode i forbedringssyklusen, altså for *check*-steget, anvendes operasjonsanalyse som fremgangsmåte. Operasjonsanalyse er ikke et enhetlig definert verktøy, med det er i denne oppgaven tatt utgangspunkt i Oglesby et al. (1989) sin beskrivelse av gjennomføring av en slik analyse.

4.1 GENERELT

Operasjonsanalysen har ingen fast definisjon på verktøyene som inngår i analyseprosessen, men praksis har vist at en håndfull verktøy er svært populære i forbindelse med gjennomføring av slike analyser. Disse er blant annet omtalt og beskrevet av Oglesby et al. (1989). Operasjonsanalysen i denne masteroppgavens casestudie har analysert en arbeidsoperasjon med fokus på både produksjonskontroll- og produksjonsaktiviteter. Flere ulike teknikker for informasjonsinnhenting ble anvendt, som videoopptak, uformelle samtaler med prosjektrepresentanter, gjennomgang av dokumenter og deltakelse i prosjektmøter. Dette er i tråd med Yin (2013) sin anbefaling om bruk av flere informasjonskilder, da resultatene blir mer nøyaktige og overbevisende.

Som verktøy for å analysere produksjonsrelaterte aktiviteter ble mannskapsdiagram og flytdiagram kombinert med prosessdiagram anvendt. Valgte analyseverktøy for produksjonskontrollaktivitetene var prosesskart og avviksregistrering. I tillegg til disse finnes andre verktøy, som *line-of-balance*. Line-of-balance ble utelatt da verktøyet hovedsakelig fokuserer på sekvensering av arbeidsaktiviteter, mens arbeidssekvensen var relativt fastlåst i det studerte prosjektet. Beskrivelser og eksempler på anvendte informasjonsinnhentingsteknikker og analyseverktøy er videre beskrevet under.

4.2 VIDEOOPPTAK OG DIREKTE OBSERVASJON

Videoopptak

Opptak av video som grunnlag for analyse gjør operasjonen enkel å forstå, gir detaljert og pålitelig informasjon og muliggjør gjennomgang og analyse i flere omganger og av flere interessegrupper i ettetid i rolige omgivelser (Oglesby et al., 1989). Ved å spille av videomaterialet med høy hastighet kan også ineffektiv praksis, som ikke ville blitt avdekket ved avspilling i sanntid, bli synlig. Videoopptak har også noen begrensninger, som utfordringen med å fange all ønsket informasjon med det valgte kameraperspektivet og den tidkrevende prosessen forbundet med gjennomgang av materialet. Innvirkningen fra førstnevnte faktor kan reduseres med valg av kamerautstyr, som beskrives nærmere i kapittel 5.3.2, mens den andre faktoren kan reduseres delvis gjennom å øke avspillingshastigheten under gjennomgangen av materialet.

Oglesby et al. (1989) påpeker også viktigheten av å forklare arbeidere og andre involverte hensikten med videoopptakene. I tillegg til deres lovfestede rett til om å opplyses om at de filmes, kan åpenhet hindre misforståelser og motstand mot forskningsprosjektet. Det vil være en risiko for at arbeidere forringer observasjonene ved å arbeide raskere enn normalt når de filmes, men det har vist seg at arbeidere som regel fortsetter arbeidet som normalt så snart den

initielle nysgjerrigheten har passert (Oglesby et al., 1989). Dette samsvarer med erfaringene gjort under gjennomføringen av casestudien.

Direkte observasjon

I tillegg til videoopptak er direkte observasjon av det studerte objektet en viktig kilde til supplerende informasjon under gjennomføringen av casestudier (Yin, 2013). Noe informasjon kan være vanskelig å dokumentere kun ved bruk av videoopptak, og det kan derfor være hensiktsmessig å observere objektet med egne øyne og notere observasjonene. Å observere en prosess direkte refereres i lean-litteraturen til som *Genchi Genbutsu*, et japansk begrep fra Toyota-systemet som medfører å verifisere data ved kilden (Marchwinski & Shook, 2003).

4.3 UFORMELLE SAMTALER OG DELTAKELSE I MØTER

Informasjonen som innhentes og danner grunnlag for analyse bør skape et så komplett bilde som mulig av hvordan dagens situasjon er, og det er derfor viktig å innhente denne informasjonen fra flere nivåer i den vertikale prosjektorganisasjonen. Produksjonsarbeidere sitter ofte med verdifulle forslag til forbedringer av operasjoner, da de har fagkunnskap og er direkte involvert i utførelsen av arbeidet (Oglesby et al., 1989). Uformelle samtaler er en god strategi for å involvere arbeidere og sørge for at disse forslagene inkluderes i observasjonene. Synspunkter kommer ofte tydeligere frem i uformelle omgivelser enn i formelle, som for eksempel i en tilfeldig samtale på byggeplassen kontra et møte med flere deltakere.

For å innhente informasjon fra høyere nivåer i prosjektorganisasjonen, samt for å forstå hvordan de ulike interessegruppene samhandler, er møtedeltakelse en hensiktsmessig strategi, i tillegg til uformelle samtaler. Gjennom å delta på møter blir det mulig å danne seg et bilde av dagens situasjon hva gjelder prosjektplanleggings- og styringsrutiner. Man får også innblikk i utfordringer og problemer som oppstår, og hvordan disse håndteres av prosjektgruppen. Informasjon om alle disse forholdene danner grunnlag for å foreslå forbedringer.

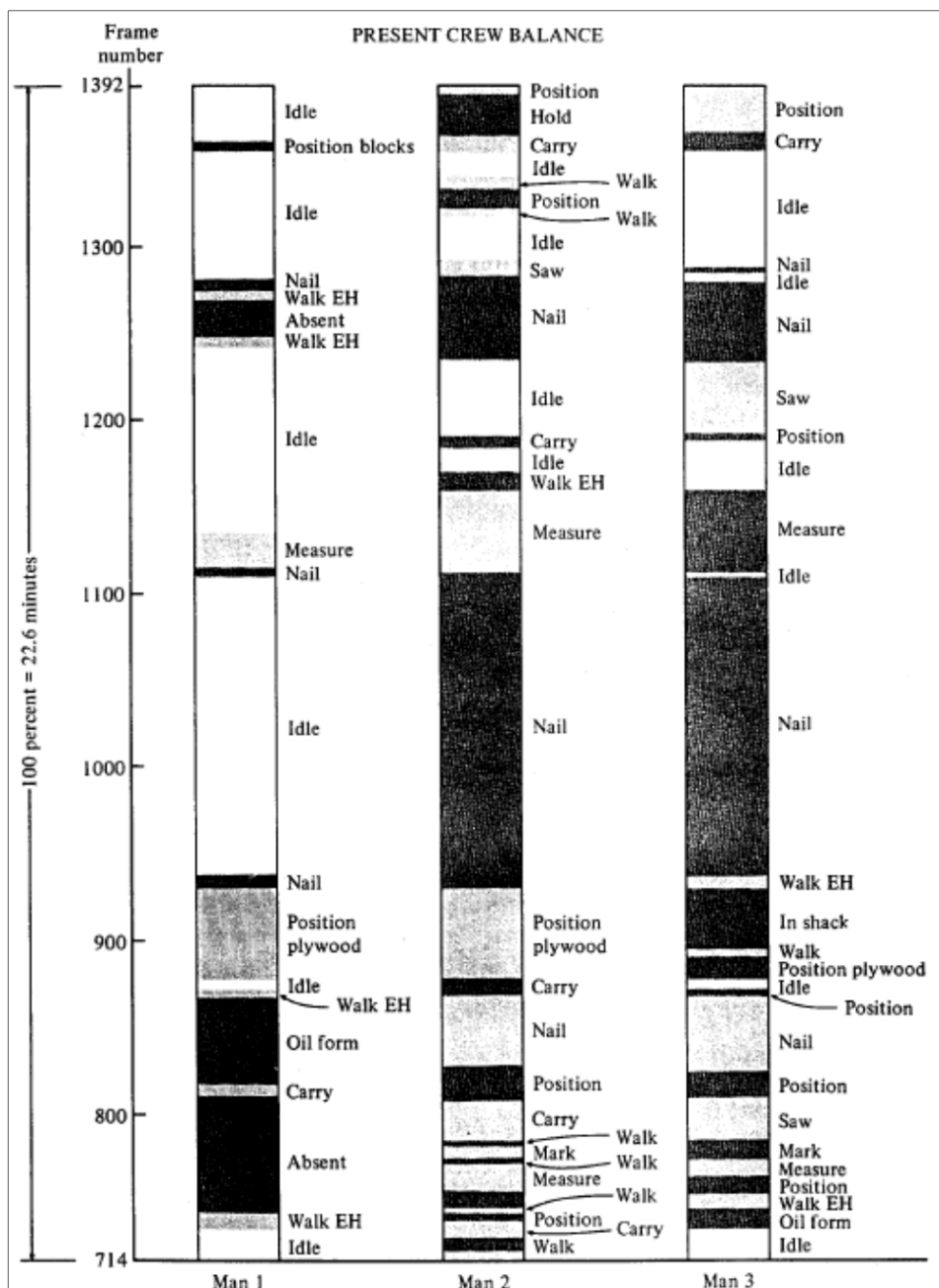
4.4 GJENNOMGANG AV DOKUMENTER

For å kunne danne seg et helhetlig bilde av prosjektet er det ofte nødvendig å undersøke hendelsene som har ledet frem til dagens situasjon. Dette kan gjøres ved å gjennomgå tilgjengelige prosjektdokumenter, som for eksempel ukeplaner, møterefater og tegninger. Yin (2013) nevner dokumentgjennomgang som relevant for de fleste casestudier, men presiserer også viktigheten av å være kritisk til informasjonen som innhentes fra dokumenter. Prosjektdokumenter utarbeides av prosjektdeltakere med ulike interesser, og informasjonen kan derfor være preget av hvem som utarbeidet dokumentet.

I denne oppgaven danner dokumentgjennomgang grunnlag for utarbeidelse av prosesskart, i tillegg til å bidra til bedre forståelse for prosessene som studeres. Gjennomgang av dokumenter kan også være nødvendig for å kvantifisere effekten av endringer. Ved å sammenligne data for valgte indikatorer som er samlet inn før og etter endringen ble innført oppnår man eksplisitte resultater som i større grad er forståelige for alle.

4.5 MANNSKAPSDIAGRAM

Mannskapsdiagram er et grafisk analyseverktøy som presenterer hvordan individuelle arbeidere bruker tiden sin til å gjennomføre arbeidsoppgaver innenfor et spesifikt arbeidsområde. Verktøyet er nevnt av Oglesby et al. (1989) som spesielt anvendbart i kombinasjon med flytdiagram og prosessdiagram, da de tilsammen dekker de fleste relevante aspekter direkte forbundet med utførelsen av arbeidet. I denne samlingen av verktøy dekker mannskapsdiagrammet det laveste nivået, da fokuset isoleres på arbeidsoperasjonens interne transformasjonsprosesser. Videoopptak er spesielt egnet som grunnlag for å utarbeide mannskapsdiagram, da det muliggjør detaljert studie av samme operasjon gjentatte ganger.



Figur 23: Eksempel på mannskapsdiagram (Oglesby et al., 1989)

Mannskapsdiagram kan utformes på flere måter, avhengig av bruksområde, og detaljnivået tilpasses deretter. Figur 23 har et høyt detaljnivå, og Oglesby et al. (1989) presiserer at detaljnivået kan reduseres til *utførende arbeid*, *støttende arbeid* og *ikke-arbeidende*, illustrert ved hvit, grå og svart farge i diagrammet over. Det valgte detaljnivået kan bestemmes basert på kompleksiteten til arbeidsoperasjonen, tidsrammen og hovedfokuset for analysen. Et overordnet fokus vil kreve lavere grad av detalj i diagrammet.

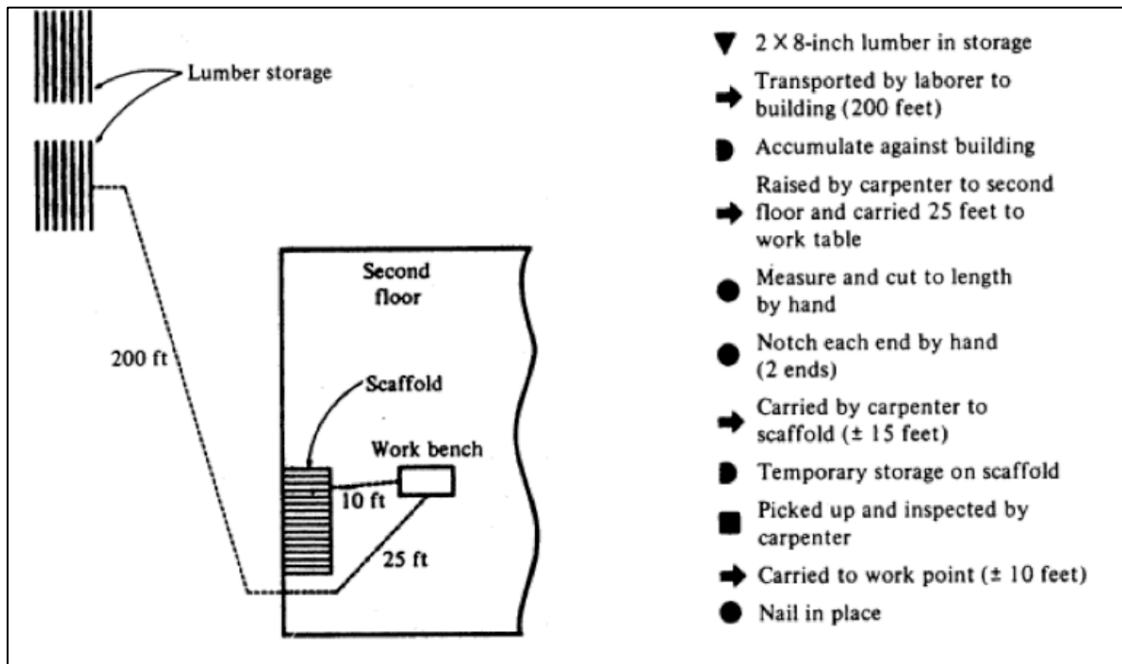
4.6 FLYTDIAGRAM KOMBINERT MED PROSESSDIAGRAM

Et flytdiagram er et visuelt verktøy som viser arbeidsområdet skissert ovenfra, og som viser bevegelsen av personer eller gjenstander innenfor området (Oglesby et al., 1989). Flytdiagram brukes gjerne i kombinasjon med prosessdiagram, som definerer de ulike stegene i en operasjon og ordner dem kronologisk (Oglesby et al., 1989). Operasjonsstegene deles ofte inn i kategoriene *operasjon*, *transport*, *inspeksjon*, *forsinkelse* og *lagring*, og kategoriene er representert med ulike symboler. Dette er illustrert i figuren under.

Symbol	Navn	Resultat
●	Operasjon	Produserer, endrer
➔	Transport	Flytter
■	Inspeksjon	Verifiseres, sjekker
◐	Forsinkelse	Midlertidig lagring, avbrudd
▼	Lagring	Beholder

Figur 24: Forklaring til prosessdiagram (oversatt fra Oglesby et al. (1989))

De viktigste forbedringsområdene som avdekkes av flytdiagram og prosessdiagram er som oftest overflødig eller gjentakende transport (Oglesby et al., 1989). Ved å reorganisere de ulike operasjonspostene kan behovet for unødvendig transport reduseres kraftig, eksempelvis ved å endre plasseringen av arbeidsstasjoner. Eksempel på et flyt- og prosessdiagram er vist i figuren på neste side.



Figur 25: Eksempel på flytdiagram (venstre) og prosessdiagram (høyre) (Oglesby et al., 1989)

4.7 AVBRUDDSKARTLEGGING

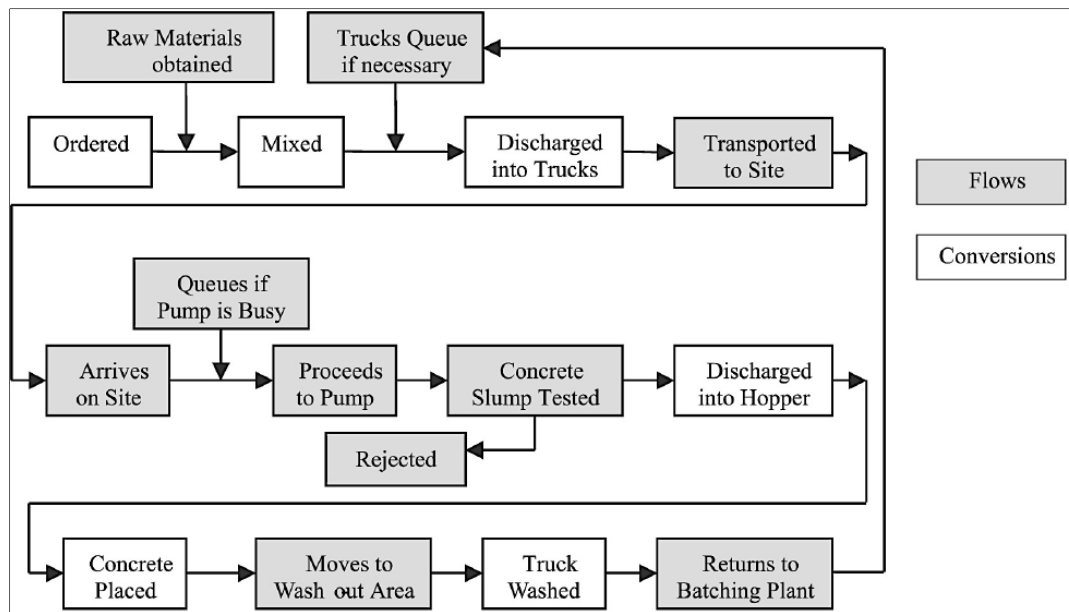
Avbruddskartlegging er ikke et definert verktøy fra litteraturen, i motsetning til dem som beskrives i de neste avsnittene, men er inspirert av det lean-relaterte verktøyet rotårsaksanalyse (root cause analysis) kjent fra blant annet Last Planner-systemet. Metoden omfatter registrering av forhold som påvirker og forstyrrer flyten i produksjonen på byggeplass, men i motsetning til rotårsaksanalyse analyseres ikke disse avvikene i like detaljert grad. Rotårsaksanalyser involverer ifølge Rooney & Heuvel (2004) følgende fire steg:

- Datainnsamling
- Utarbeidelse av kart over årsaksfaktorer
- Rotårsaksidentifisering
- Løsningsforslag
- Implementering

I denne oppgavens casestudie dokumenteres avbruddene i produksjonen og presenteres for en utvalgt gruppe med prosjektrepresentanter uten videre bearbeidelse, altså uten punkt to fra listen ovenfor. Materialet fra avbruddkartleggingen danner så grunnlag for diskusjon av avvikene og generering av løsninger direkte i møtet. Begrunnelsen for denne forenklingen er å tilpasse omfanget til tidsrammen for casestudien, da en fullverdig rotårsaksanalyse vil være for tidkrevende.

4.8 PROSESSKART

Prosesskart er et samlebegrep på grafiske verktøy som kartlegger materialflyten gjennom produksjonssystemer, og er spesielt nyttig for identifisering og synliggjøring av sløsing på et mer overordnet nivå enn mannskapsdiagram, flytdiagram og prosessdiagram. Figur 26 viser hvordan produksjonskjeden henger sammen, og hvordan aktivitetene er delt inn i flyt og transformasjoner (*conversions*).



Figur 26: Eksempel på prosesskart (Dunlop & Smith, 2004)

Tverrfunksjonelle prosesskart, også kalt svømmebanediagram (swim-lane diagram) grunnet dets inndeling i parallelle baner, er en type prosesskart som synliggjør arbeidsflyt og interne kunde-leverandørforhold gjennom å grafisk fremstille hvordan en serie med avhengige aktiviteter omdanner ressurser til noe som skaper kunde verdi (Damelio, 2011). Hver bane representerer en person eller enhet i prosjektet, og diagrammet er derfor også nyttig til å visualisere ansvarsforhold, da hver aktivitet er allokert til en spesifikk person eller enhet. Eksempel på et slikt diagram er vist i Figur 27 på neste side.

5. CASESTUDIE: T3 FLESLAND

Operasjonsanalysen beskrevet i kapittel 4 ble gjennomført på LAB Entreprenør sin del av prosjektet T3 (terminal 3) på Bergen Lufthavn, Flesland. Analysen utgjør dermed den empiriske delen av masteroppgaven. På bakgrunn av funnene i analysen og med forankring i teorien beskrevet i kapittel 3 ble flere forbedringer foreslått, hvorav noen ble implementert og effekten av disse vurdert og målt. Dette kapitlet inneholder en beskrivelse av prosjektet og den studerte arbeidsoperasjonen, funnene fra operasjonsanalysen, foreslåtte forbedringer og resultatene fra implementeringen av disse.

5.1 BESKRIVELSE AV PROSJEKTET

Prosjektet T3 Flesland omfatter utbygging av ny terminal på Bergen Lufthavn Flesland, og skal åpnes for trafikk medio 2017. Kostnadsrammen er på 3,6 milliarder kroner ekskludert finansiering og merverdiavgift. Prosjektet er delt inn i fire geografiske områder: Terminal, Landside, Flyside og Kapasitetsprosjekt, hvorav denne masteroppgavens casestudie har foregått i forbindelse med bygging av terminalbygget. Byggstart for terminalen var i 2014. Arealet vil være på 63,000 m² og terminalen øker den årlige passasjerkapasiteten til inntil 10 millioner reisende.



Figur 28: T3 Flesland, Pir (Nordic - Office of Architecture)

Prosjektet er delt inn i flere entrepriser, der LAB Entreprenør AS har hovedentreprisen på råbygg og tett bygg på den nye terminalen. Casestudien har studert arbeidsoperasjonen som omfatter montering av prefabrikkerte hulldekkeelementer i råbyggsentreprisen. Det foregikk også montasje av andre betongelementer, men hulldekkeelementer ble valgt som hovedfokus i denne oppgaven. Betongelementene leveres av en underentreprenør, heretter kalt *betongelementleverandøren*. Betongelementleverandøren har kontrahert et montasjefirma til å montere betongelementene, heretter kalt *montasjefirmaet*. Da casestudien ble gjennomført foregikk elementmontasjen i flere områder, men det ble besluttet å fokusere på Pir-området, som omfatter gate- og venteområdene i det nye terminalbygget. Beslutningen om å fokusere på

Pir var basert på behovet for å tilpasse omfanget av observasjonsfasen til casestudiens tidsramme. Nærmere beskrivelse av arbeidsområdet følger i avsnitt 5.2.2.

5.2 BESKRIVELSE AV ARBEIDSOPERASJONEN

5.2.1 Generelt

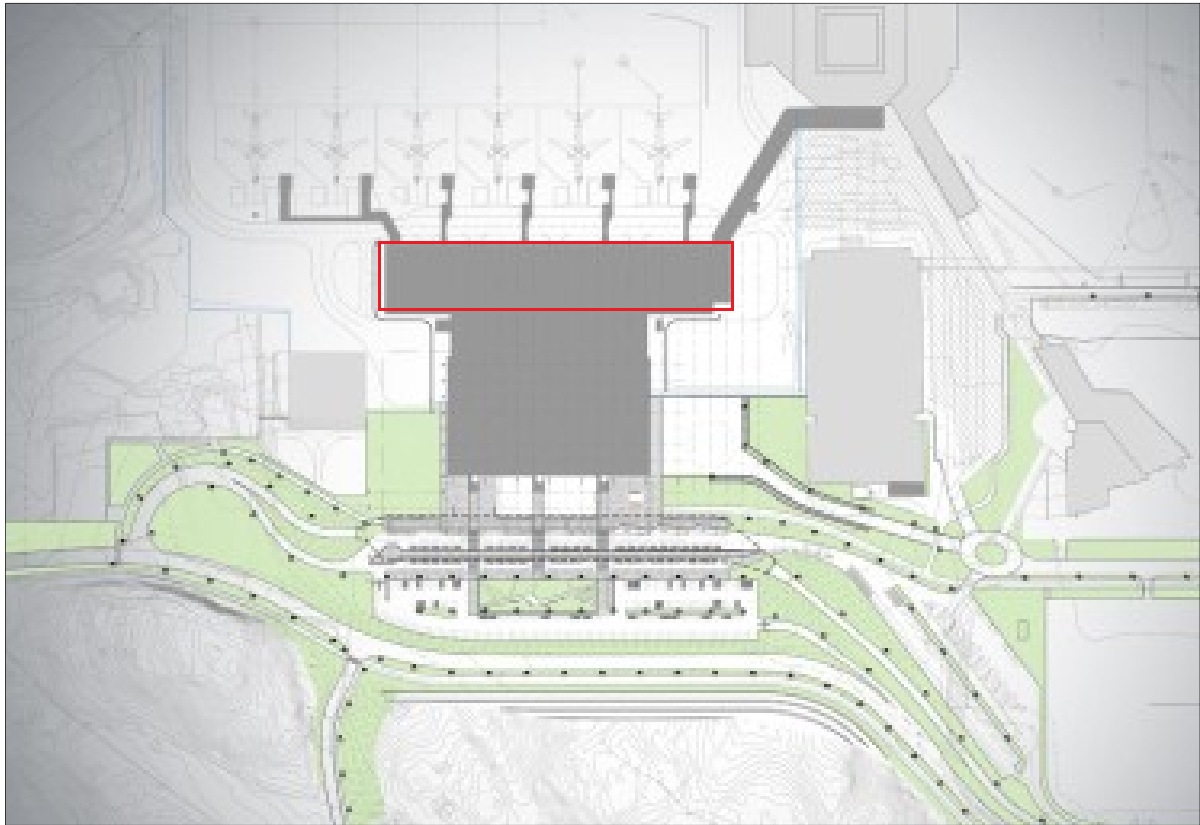
Den studerte arbeidsoperasjonen i casestudien omfattet kun selve monteringen av hulldekkerelementer, og ekskluderte dermed forskaling og fugging av disse. Denne avgrensningen ble valgt da forskaling og fugging foregikk etter at elementene var heist på plass, og derfor i praksis var separate arbeidsoperasjoner. Valget om å studere hulldekkemontasje ble tatt i samråd med prosjektleder for LAB Entreprenør, og begrunnes med operasjonens relativt enkle fremgangsmåte, dens repetitive sykluser, dens avgrensning i tid, samt dens utstrakte bruk i prosjektet. De tre første faktorene er fordelaktige med hensyn på observasjon og analyse av operasjonen, mens sistnevnte faktor er nevnt av Oglesby et al. (1989) som fordelaktig også for å oppnå besparelser, da små forbedringer i operasjonens effektivitet kan akkumuleres til store besparelser.

Som nevnt foregikk også montasje av andre betongelementer i samme område, i tillegg til hulldekkemontasje. Da fremgangsmåten for montasje var relativt lik for hulldekker og andre typer elementer, og fordi montasjen ble utført av samme entreprenør, kan forbedringer tilført produksjonsaktivitetene for hulldekker dermed også ha potensial for å overføres til montasje av andre typer elementer. Når det gjelder koordinerings- og planleggingsaktiviteter, er disse felles for all aktiviteten til betongelementleverandøren og montasjefirmaet, og eventuelle endringer i disse vil derfor påvirke all elementmontasjen.

Oglesby et al. (1989) anbefaler å starte forbedringsarbeid på operasjoner uten åpenbare problemer for å venne prosjektledelsen til denne formen for studie, for deretter å ta fatt på operasjoner med større utfordringer. Da casestudien startet viste det seg at det var stort fokus på betongelementmontasjen da den lå etter i forhold til hovedfremdriftsplanen. Klimaet i prosjektgruppen bar preg av dette, og det var tidvis utfordrende å oppnå graden av samarbeid som denne typen forbedringsarbeid er avhengig av.

5.2.2 Arbeidsområdet

Området der arbeidet ble observert og filmet ble avgrenset til Pir-området, men det foregikk også montasje av betongelementer i tilstøtende områder. Arbeidet i Pir-området foregikk i nord-sør-retning, med LABs fundamentering og støping av dekke som første steg. Deretter fulgte montering av søyler, bjelker, veggelementer og hulldekker. Etter dette monterte en stålleverandør ståldragere på øverste plan, som skulle understøtte takelementene. Alle de nevnte arbeidsoperasjonene pågikk samtidig, med en planlagt forsinkelse på to akser à 9 meter. Dette medførte at minst to kraner opererte i nærhet til hverandre, én med betongelementmontasje og én med stålmontasje. Det medførte også en avhengighet mellom operasjonene, og fremdriftsplanen hadde derfor relativt lav grad av fleksibilitet.



Figur 29: Pir-området markert med rødt. Nord mot høyre

En annen faktor som var gjeldende i arbeidsområdet var den smale adkomstveien, som gjorde tilkomsten vanskelig. Flere steder var det kun plass til én lastebil i bredden, og det var vanskelig å snu inne på selve området. Det var heller ingen gjennomkjøring, og bilene måtte kjøre ut samme vei de kom inn. Dette medførte at bilene måtte rygge en avstand på 150-200 meter. I Figur 30 ligger adkomstveien til høyre for akse BF, og følger denne akse hele veien. Videoopptak ble gjort i forbindelse med elementmontasjen mellom akse BD og BF.



Figur 30: Bilde av arbeidsområdet med akser

5.2.3 Involverte personer

Arbeidslaget

Det studerte arbeidslaget fra montasjefirmaet besto av en bas, en kranfører og to montører. Begge montørene var av utenlandsk opprinnelse, men den ene snakket godt norsk. Under observasjonene kom det også frem at lastebilsjåførene som leverte elementer til byggeplassen assisterte montasjelederen med anhuking, og disse fungerte derfor som en del av arbeidslaget. Basen hadde ansvar for flere arbeidslag, og ved noen anledninger ble anhukingen derfor utført av en montør.

Prosjektadministrasjonen

Fra LAB entreprenør var anleggsleder sentral i casestudien, da han fulgte opp arbeidet til betongelementleverandøren og montasjefirmaet, samt koordinerte dette med stålleverandøren. I tillegg deltok formann fra LAB i de fleste møter, og tidvis også prosjektleder. Fra betongelementleverandøren deltok som regel montasjeleder i koordineringsmøtene, men også unntaksvis prosjektleder. Montasjefirmaet var unntaksvis representert i møter gjennom montasjebasen. Stålleverandøren ble representert av en formann.

5.2.4 Produksjonen

Selve hulldekkemontasjen viste seg å bestå av få steg og hadde høy grad av standardisering, og de interne deloppgavene var også svært sekvensielle. Arbeidsoperasjonen bestod av flere tilnærmet identiske sykluser, hvorav hver enkelt kan deles inn i følgende deloppgaver:

- Løfteklemme og sikkerhetskjettinger festes til betongelement (anhuking)
- Kran svinger element på plass
- Sikkerhetskjettinger løsnes
- Element plasseres og justeres
- Løfteklemme løsnes
- Kran returnerer for nytt løft

Denne syklusen ble gjentatt til lastebilen var tom, og hver lastebil leverte som oftest seks hulldekkeelementer. Tiden mellom syklusene varierte stort, og var hovedsakelig avhengig av leveransen av elementer. Logistikkavviklingen i forbindelse med leveransene var også tidkrevende, og det var ingen overordnet plan for håndtering av logistikk. Det hendte også at sykluser ble avbrutt da kranen måtte utføre andre løft.

Montasjelaget utførte montasje av både søyler, bjelker, veggelementer og hulldekker, og måtte til tider avbryte montasjearbeidet for å losse biler som leverte elementer som ikke var klare for montering.

5.2.5 Produksjonskontrollen

Produksjonskontrollen kan beskrives med utgangspunkt i de tre planhierarkiene, samt gjennomføringen av ukeplanleggingen. Disse fire punktene er utdypet i avsnittene under.

Basisplanlegging

Planleggingen av arbeidet foregikk som nevnt på tre overordnede nivåer. Øverste nivå i planhierarkiet var hovedfremdriftsplanen (kalt basisplan). Basisplanen var utarbeidet som en del av anbudet, og dermed inneholdt milepæler som ikke kunne endres. Detaljnivået på aktivitetene i denne planen var relativt høyt, tatt i betraktning at den var utarbeidet på et tidlig tidspunkt, og inneholdt eksempelvis aktiviteter som «Fuging av dekke» med varighet på én dag.

Ukeplanlegging

Neste nivå i planhierarkiet var ukeplannivå, som omfattet ukeplaner for to til tre uker frem i tid (varierte mellom aktørene). Ukeplanleggingen for montasjen av betongelementer ble utført av betongelementleverandøren, som så videresendte planen til basene i montasjefirmaet. Disse planene fungerte som et kompromiss mellom basisplanen og de faktiske forholdene på byggeplassen, og det fremkom ved flere anledninger at det var vanskelig å finne en akseptabel balansegang. Forsinkelser og restarbeid fra tidligere uker medførte flere ganger at basisplanen ikke kunne følges, og dette medførte at egne kriseplaner ble utarbeidet som et forsøk på å hente inn forsinkelsene.

Lagsplanlegging

Laveste nivå av planlegging foregikk uformelt innad i arbeidslagene, og var hovedsakelig en detaljering av ukeplanen og tilpassing til de rådende forholdene på byggeplassen. Denne


planleggingen var ikke spesielt relevant for casestudien, da de viktigste beslutningene var tatt på forhånd, og lagsplanleggingen i praksis kun involverte fordeling av arbeidsoppgaver. Det er imidlertid viktig å påpeke at da basene fra montasjefirmaet ikke deltok i utarbeidelsen av ukeplanene, måtte ukeplanene ofte endres på byggeplassen etter hvert som arbeidet ble utført.

Basmøte

Etter at ukeplanen var utarbeidet ble det holdt felles basmøte mellom stålleverandøren, betongelementleverandøren og LAB, der alle la frem sine respektive ukeplaner (montasjefirmaet var ikke representert her). Fra LAB deltok anleggsleder og formann, fra betongelementleverandøren deltok montasjeleder og unntaksvis prosjektleder og fra stålleverandøren deltok en formann (navnet *basmøte* er altså noe misvisende). Hensikten med møtet var å koordinere arbeidet og sørge for at oppgaver på kritisk sti ble identifisert og prioritert. Det var i tillegg en mulighet for LAB å kontrollere fremdriften til sine underentreprenører.

Møtet ble gjennomført i det samme møterommet hver torsdag morgen i LABs brakkerigg. Ukeplaner fra betongelementleverandøren og stålleverandøren ble (som regel) tilsendt LAB dagen i forveien, og disse ble skrevet ut i A4-format. Møtene ble ledet av anleggsleder, og planene ble gjennomgått for områdene Pir, Sentralbygg og Kontor. Fokuset for møtet var å koordinere betongelementleverandørens arbeid opp mot LABs forutgående betongarbeid og stålleverandørens påfølgende arbeid. Informasjon om avhengigheter, presiseringer og endringer ble utvekslet muntlig i møtet.

Basmøtet var også et forum for å kontrollere status på inneværende ukes produksjon. Eventuelt restarbeid ble identifisert, og følgene av dette for kommende ukes arbeid ble diskutert. Resultatet av møtet var en sammenfatning av de tre separate ukeplanene til én ukeplan i A3-format, og et utsnitt av denne er vist i figuren under. Denne ukeplanen tok hensyn til eventuelle endringer diskutert i møtet, og inneholdt også en kolonne for spesielle merknader. I denne kolonnen ble noe av den muntlig utvekslede informasjonen notert.

STÅL OG BETONGELEMENTER												
	Uke nr: 13					Uke nr:14						T3 Flesland
Aktivitet	M	T	O	T	F		M	T	O	T	F	Merknader
Betongelement Pir												
Vegg akse BA 56-60	X	X	X	X	X							Kun kran etter kl. 1700
Forsterkning og vegger akse 60		X	X									
Søyler og vegg akse 53-50(BF og BE)		X		X			X		X			Buffer
Plattendekker akse 52-50		X										
HD akse 56-54/BB-BD	X											Beltekran
A ramme akse 52,51 og 50	X	X	X	X								

Figur 31: Utsnitt fra ukeplanmal

5.3 RESULTATER FRA OPERASJONSANALYSEN

Dette kapitlet starter med en beskrivelse av observasjoner knyttet til selve gjennomføringen av operasjonsanalysen. Deretter presenteres resultatene fra observasjonsfasen, hvorav noen fremstilles ved hjelp av analyseverktøyene beskrevet i kapittel 4. Som en avslutning på delkapitlet sammenfattes de viktigste funnene, og de største utfordringene for henholdsvis produksjon og produksjonskontroll fremstilles punktvis. Disse funnene danner videre grunnlag for forslag til forbedringer.

5.3.1 Gjennomføring av analysen

Overordnet fremgangsmåte

Som rammeverk for gjennomføringen av operasjonsanalysen ble casestudien delt i fem overordnede faser: (1) observasjon, (2) bearbeidelse av data, (3) fremlegging av materiale for prosjektgruppen, (4) utarbeidelse av forslag til forbedringer og til slutt (5) implementering. Overordnet sammenfaller dette med PDCA-metodikken beskrevet tidligere i oppgaven, og flere handlingsplaner for gjennomføringen av fasene ble utarbeidet i løpet av casestudien. Behovet for disse var basert både på egen planlegging av fremdrift, og behovet for å informere øvrige deltakere i casestudien i forbindelse med gjennomføring av møter. Disse handlingsplanene viste seg å bli svært viktige for å holde fremdriften, da de involverte aktørene fikk en håndfast plan å forholde seg til i en travel hverdag. Ved oppstarten av feltarbeidet ble også et informasjonsmøte avholdt med de involverte aktørene tilstede, der hensikten med prosjektet, tidsrammen, deres bidrag og andre relevante forhold ble gjennomgått. Dette møtet etablerte bevissthet rundt oppgaven, og forberedte deltakerne på sine bidrag.

Analyse av materialet

På bakgrunn av observasjons- og bearbeidelsesfasen fremkom det at det største forbedringspotensialet var knyttet til produksjonskontrollen, hvilket førte til endringer i den planlagte gjennomføringen av feltarbeidet. I stedet for å gjennomføre de fem fasene sekvensielt, ble fase 3-5 gjennomført i to sykluser, hvorav fokuset først var på produksjonskontroll, og deretter produksjon og logistikkhåndtering i produksjonsområdet. Denne tilpasningen ble gjort for å øke det potensielle utbyttet av analysen gjennom å angripe de største problemene først. Det ville også blitt vanskelig å få prosjektgruppen til å prioritere casestudien dersom fokuset var på isolert effektivisering av arbeidsoperasjonen, når problemene for fremdriften skyldtes faktorer knyttet til planleggingen av arbeidet.

Metodene for datainnsamling i observasjonsfasen ble beskrevet i kapittel 4, og materialet ble gjennomgått, analysert og noe også fremstilt med de nevnte grafiske verktøyene. Gjennomgangen av videomaterialet, og spesielt i forbindelse med kalkulasjon av gjennomsnittlig syklustid for bruk under utarbeidelse av mannskapsdiagrammet, viste seg å være tidkrevende. Også utarbeidelsen av prosesskart var forbundet med mye arbeid, da kartet var avhengig av innspill fra flere ulike personer fra ulike firma, i tillegg til hyppig møtedeltakelse for å kartlegge rutiner. Det var derfor viktig å sette av tilstrekkelig tid til disse aktivitetene, for å sikre god kvalitet på materialet.

Prosjektmøter

For fremleggingen av materialet ble det gjennomført felles prosjektmøter, der representanter fra LAB, stålleverandøren og betongelementleverandøren deltok. For gjennomgangen av produksjonsaktivitetene og logistikkhåndteringen deltok også bas fra montasjefirmaet. Før disse møtene ble det utarbeidet og distribuert møteagendaer for effektiv gjennomføring, da deltakerne hadde begrenset tid til rådighet. Dette viste seg å være svært viktig for utbyttet av møtene, da man fikk en tidsramme å forholde seg til, og dermed arbeidet mer målrettet.

I forbindelse med analysen av produksjonskontrollen ble utkast til forbedringer foreslått før møtet med prosjektgruppen og fremleggingen av materialet, da forbedring av dette området krever større kjennskap til lean-teori (fase 4 kom altså før 3). Her ble det erfart at endringene måtte forklares grundig, da flere av dem var motstridende til etablerte tankesett og dagens praksis. Dette førte til motstand fra gruppen, og prosjektdeltakere måtte gjentatte gang overbevises om gyldigheten og det potensielle utbyttet fra endringene.

Forslag til forbedringer i logistikkplanlegging og logistikkhåndtering i arbeidsområdet ble derimot ikke forberedt før møtet, og disse forslagene fremkom utelukkende på bakgrunn det fremlagte materialet og gjennom diskusjon med prosjektgruppen.

Da prosjektgruppen besto av aktører fra fire ulike firma var det utfordrende å få samlet de nødvendige personene i prosjektmøtene, og møtene måtte flere ganger utsettes. En annen utfordring var knyttet til fremdriftsproblemene for betongelementmontasjen, som førte til tidvis høyt stressnivå, og dermed redusert fokus på casestudien. En viktig faktor som gjorde gjennomføringen av møtene mulig, til tross for disse utfordringene, var LABs rolle som hovedentreprenør, hvilket ga dem større innflytelse over de øvrige aktørene.

En annen viktig faktor for godt utbytte fra prosjektmøtene var å etablere et konstruktivt samarbeidsklima. I prosjektmøtene fungerte prosjektleder fra LAB som møteleder, og det var dermed hans oppgave å opprettholde gruppens fokus. De nevnte fremdriftsproblemene og høyt stressnivå førte imidlertid til utfordringer på dette området. Det hendte flere ganger at diskusjonen sporet av og gruppen hang seg opp i hvem som hadde skylden for spesifikke saker, hvilket førte til dårlig samarbeidsklima.

5.3.2 Datainnsamling

Videoopptak og direkte observasjon

Videoopptak ble brukt som beskrevet i delkapittel 4.2, og ble et viktig hjelpemiddel for kalkulering av takttider, utarbeidelse av mannskapsdiagram, samt kartlegging av avbrudd i arbeidsflyt. Kameraet som ble benyttet var av typen GoPro, og viste seg å være svært velegnet til denne typen oppgave. Vidvinkellinse gjorde det mulig å fange de fleste bevegelser i arbeidsområdet i én bilderamme, noe som ga et svært godt overblikk over arbeidsmetoden. Vanntett kamerahus gjorde videoopptak i dårlig vær mulig, og kameraets beskjedne størrelse og varierte festemuligheter sikret enkel og hensiktsmessig plassering i arbeidsområdet.

Videoopptak ble gjennomført over seks økter, der en vanlig arbeidsdag bestod av to økter, én før og én etter lunsj. Totalt ble montasjen av 44 elementer dokumentert, i tillegg til alle aktivitetene som foregikk mellom montasjen startet og ble avsluttet (flytaktiviteter). Det viste seg å være mange avbrudd i produksjonsflyten, og videoopptakene dannet et godt grunnlag for å registrere og analysere disse avbruddene. I tillegg til videoopptakene ble det også foretatt direkte observasjoner i arbeidsområdet, som ble loggført.

Som første ledd i videoanalysen ble alt videomaterialet gjennomgått, og syklustiden for hvert betongelement ble målt fra opptakene. Dette ga et godt bilde av variabiliteten i arbeidsoperasjonen, og gjorde det mulig å sammenligne gode og dårlige eksempler for å studere hva som skilte dem. For utarbeidelse av mannskapsdiagram ble én representativ elementsyklus som hadde taktid nærmest gjennomsnittet valgt, og et detaljert mannskapsdiagram ble utarbeidet basert på denne.

Uformelle samtaler og deltakelse i møter

Uformelle samtaler ble gjennomført med prosjektdeltakere på flere nivåer i organisasjonen, og var et viktig verktøy for å identifisere områdene med størst forbedringspotensial. Flere i arbeidslaget, deriblant basen, kranføreren og en lastebilsjåfør uttrykte frustrasjon over flere av dagens rutiner, og deres innspill ble en viktig del av å skape et bilde av situasjonen. Etter at prosjektets hensikt ble presentert for dem virket de positive, og ved flere anledninger kontaktet personer fra arbeidslaget studenten på byggeplassen for å komme med synspunkter og kommentarer til områder med forbedringspotensial.

Under deltakelse i fellesmøtene mellom betongelementleverandøren, LAB og stålleverandøren ble det avdekket flere områder som hadde potensiale for forbedring. Det meste av informasjonen som ble utvekslet muntlig i møtet ble ikke notert i noen form for felles dokument. Denne informasjonen omfattet presiseringer, avhengigheter, oppdateringer og restarbeid, og ved flere anledninger hadde essensiell informasjon fra tidligere møter gått tapt og ført til problemer på byggeplass. Ved noen anledninger oppsto også uenighet rundt avtaler og informasjon som hadde blitt utvekslet i tidligere møter.

Prosessen for gjennomgåelse av ukeplanene var også lite visuell, og planer i A4-format var eneste visuelle hjelpemiddel. I tillegg til å identifisere problemer dannet deltakelsen i disse møtene grunnlag for å utarbeide prosesskartet.

Gjennomgang av dokumenter

Under observasjonsfasen ble flere typer dokumenter gjennomgått for å samle informasjon om de studerte aktivitetene. Riggplanen ble en viktig informasjonskilde for å forstå hvilke utfordringer som var forbundet med logistikkavviklingen. Som nevnt var det vanskelig adkomst til arbeidsområdene for lastebiler, og på et tidspunkt opererte ti mobilkraner samtidig, i tillegg til to tårnkraner. Tegninger og basisplaner ble gjennomgått for å forstå den overordnede rekkefølgen i fremdriften. Da ukeplanene ble utarbeidet på grunnlag av disse basisplanene økte også forståelsen for ukeplanleggingen.

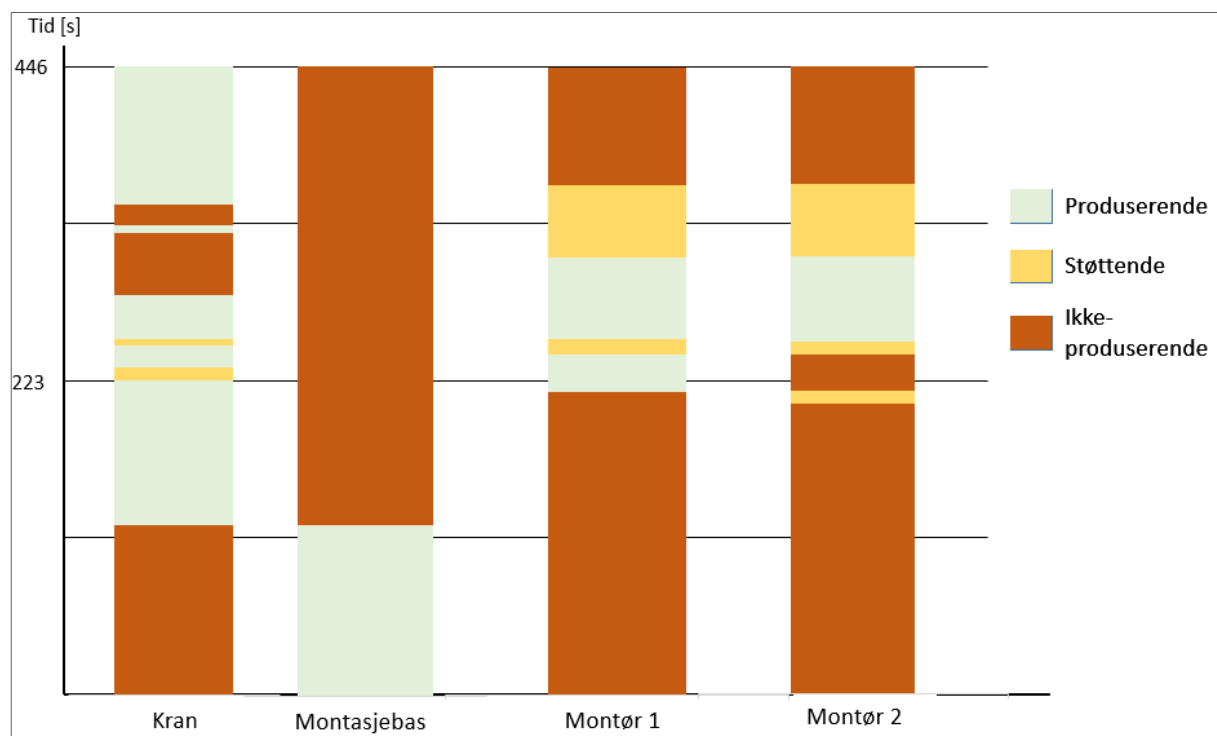
For å få overblikk over produksjonskontrollprosessene ble ukeplaner for all betongelementmontasjen (inkluderte altså Pir, Sentralbygg og Kontor) tilbake til uke seks, som var oppstart for elementmontasjen, gjennomgått. Ved å gjennomgå hver uke og sammenstille planene ble det utarbeidet en statistikk på hvor mange aktiviteter som ble utført i uken de opprinnelig var planlagt, og hvor mange som ble flyttet til neste uke (PPU). Ideelt sett burde statistikken vise hvor stor andel av planene som ble utført på planlagt dag, men ukeplanene hadde ikke tilstrekkelig informasjon til å gjøre dette.

Statistikken viste at fra uke seks til tretten ble 45 av de totalt 71 aktivitetene utført i uken de var planlagt, hvilket resulterte i en PPU på 63,4 % (36,6 % av aktivitetene ble altså fullført uken etter planlagt). Dette er en indikasjon på lav reliabilitet i ukeplanene. Det er viktig å poengtere at statistikken ikke tar høyde for hvilke konsekvenser forsinkelsene i betongelementmontasje fikk for stålmontasjen. Noen aktiviteter ble også redefinert fra uke til uke, slik at det én uke

kunne stå «Hulldekker akse 58-60 plan D», mens det i påfølgende uke kunne stå «Hulldekker akse 59-61 plan D». Det var ikke mulig å bestemme status for disse overlappende aktivitetene.

5.3.3 Mannskapsdiagram

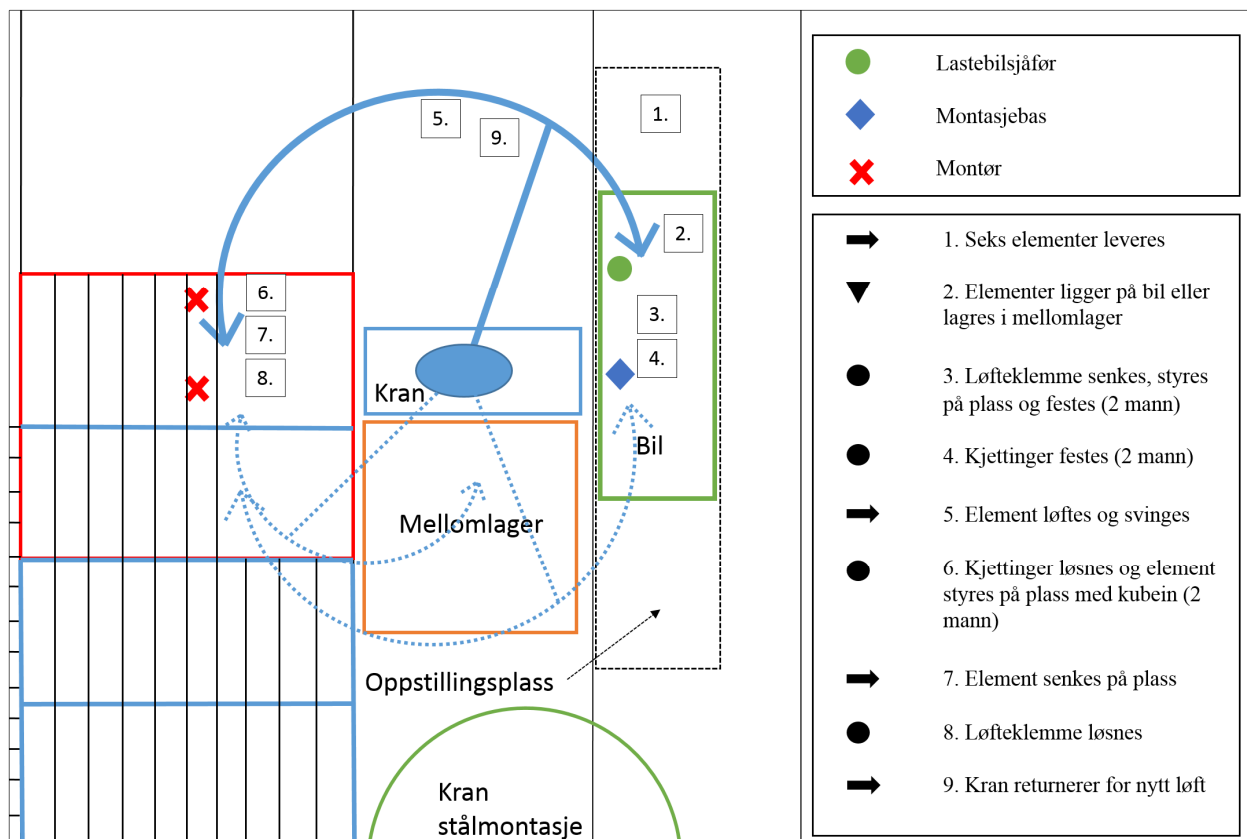
Mannskapsdiagrammet ble utarbeidet på grunnlag av videomaterialet og den identifiserte gjennomsnittssyklusen. Det ble besluttet å redusere detaljeringsgraden til kategoriene *produserende*, *støttende* og *ikke-produserende*. Den valgte syklusen hadde en varighet på 446 sekunder, eller syv minutter og 26 sekunder. Som det fremkommer av diagrammet medførte arbeidsoperasjonen en stor andel ikke-produserende tidsbruk, og montasjelederen (basen) arbeidet i tilnærmet en fjerdedel av tiden. Diagrammet viser også at det var kranen som var den bestemende faktoren for syklustiden, og dette begrenset mulighetene for tidsbesparende tiltak noe. Til tross for den høye andelen av ikke-produserende tidsbruk ble ikke selve gjennomføringen av arbeidsoperasjonen sett på som det viktigste fokusområdet, og dette diskuteres nærmere i de påfølgende avsnittene.



Figur 32: Mannskapsdiagram

5.3.4 Flytdiagram og prosessdiagram

Flyt- og prosessdiagrammet ble utarbeidet på grunnlag av videomaterialet og direkte observasjoner i arbeidsområdet. Som tidligere nevnt ble observasjonene avgrenset til Pir-området, som var en avlang bygningsdel. Da elementmontasjen gjentok seg med noenlunde samme fremgangsmåte etter hvert som den forflyttet seg bortover Pir-bygget, dannet flytdiagrammet også et godt bilde av hvordan arbeidsområdet vil se ut fremover. Prosessdiagrammet er stegvis beskrevet med nummererte trinn, og det fremkommer at operasjonen var svært enkel, standardisert og sekvensiell. Det var derfor få åpenbare problemområder internt i operasjonen som kunne blitt løst med eksempelvis omrokking av aktiviteter eller lignende tiltak.



Figur 33: Flyt- og prosessdiagram for hulldekkemontasjen

De eneste elementene i flytdiagrammet som innebar variasjoner var plasseringen av lastebilen i forhold til veien og kranens svingretning. Enkelte ganger plasserte lastebiler seg inntil arbeidsområdet, altså mot venstre på figuren. Andre ganger stilte disse seg på motsatt side av veien, slik at passerende personer eller biler måtte krysse gjennom arbeidsområdet. Arbeidsrekkefølgen fremstilt i diagrammet er basert på en syklus uten avbrudd. Det viste seg imidlertid at avbrudd utgjorde det største problemet for arbeidsflyten, og dette er diskutert nærmere i neste avsnitt.

5.3.5 Avbruddskartlegging

Fra videoopptakene ble avbrudd i produksjonsflyten registrert for videre analyse og diskusjon. Det ble tidlig klart at slike avbrudd var blant de største utfordringene for produktiviteten, og dermed fremdriften. Under gjennomgang av videomaterialet ble det klart at variabiliteten for isolerte montasjesykluser var svært lav. I perioder uten avbrudd gikk produksjonen som et samlebånd, og det ble kalkulert en gjennomsnittlig teoretisk produksjonskapasitet på 7,8 hulldekkeelementer i timen (7 minutter og 42 sekunder per element), som var mer enn godt nok for å holde fremdriften. Det var imidlertid ofte avbrudd i arbeidsflyten, og det ble derfor tydelig at det største forbedringspotensialet lå her. Noen av de mest gjentakende avbruddene var som følger:

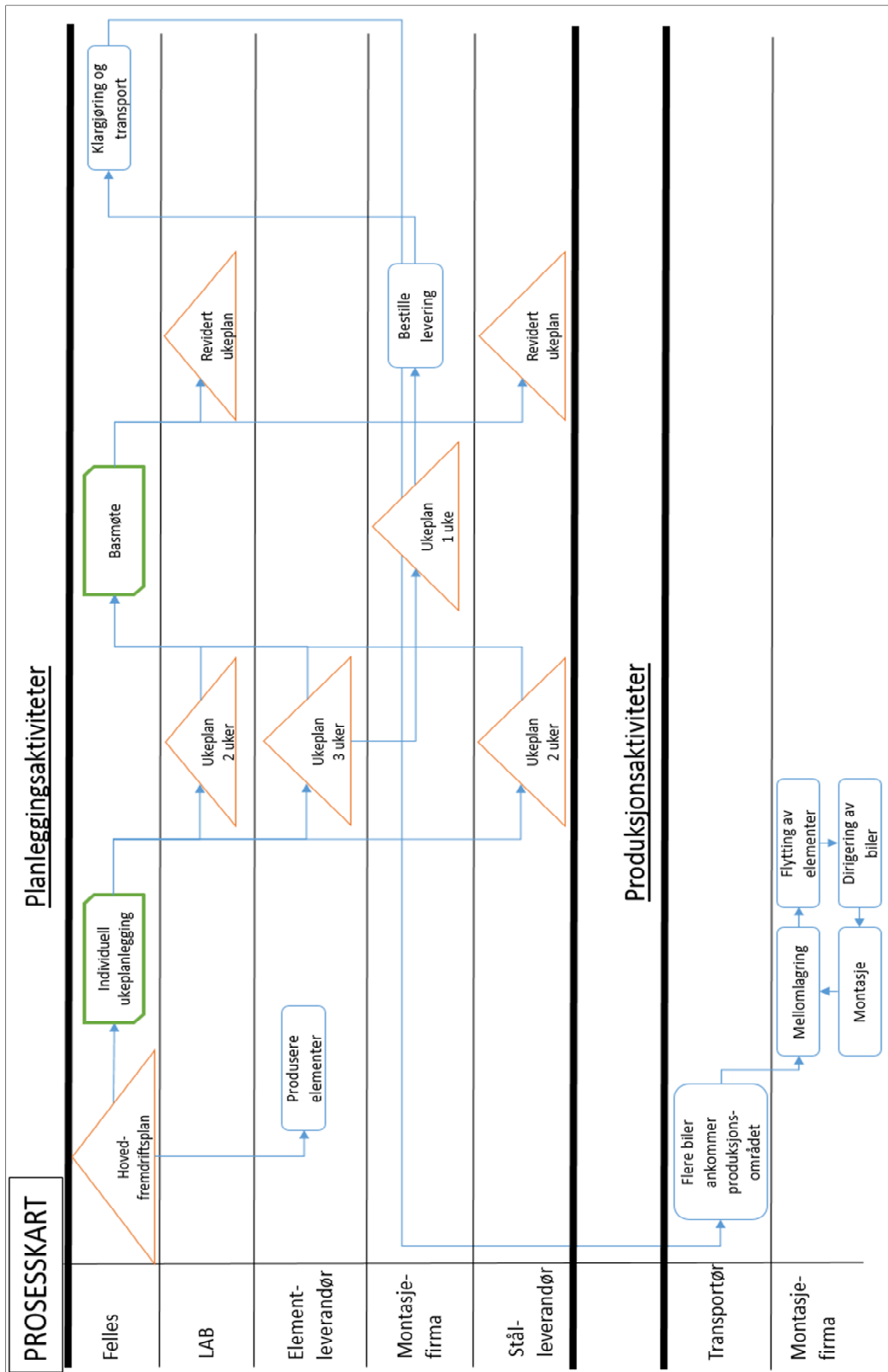
- Flytting av mellomlagrede elementer
- Logistikkhåndtering i forbindelse med levering av elementer
- Tilrigging av lastebil
- Venting på leveranse av elementer

- Flytting av materiell som hindret arbeidet (kran)

5.3.6 Prosesskart

Prosesskartet ble utviklet på bakgrunn av informasjonen som fremkom gjennom de uformelle samtaler med forskjellige personer i prosjektorganisasjonen (se Figur 34 på neste side). Fremstillingen som svømmebanediagram var mest hensiktsmessig da den viste involveringen fra de ulike aktørene på best måte, og dermed avdekket mange av svakhetene ved dagens planleggings- og koordineringsaktiviteter. Det fremkommer av prosesskartet at de fire aktørene, som hadde mange avhengigheter mellom produksjonsaktivitetene, utarbeidet og ferdigstilte ukeplanene sine individuelt, og hovedsakelig på bakgrunn av hovedfremdriftsplanen. Montasjefirmaet ble heller ikke involvert i utarbeidelsen av betongelementleverandørens ukeplan, og fikk kun tilsendt denne ukeplanen i ettertid. I en samtale med en bas fra montasjefirmaet ble det uttrykt misnøye med dette, og ukeplanene de fikk tilsendt ble som regel ikke fulgt grunnet lav grad av overenstemmelse med de faktiske forholdene på byggeplassen.

Etter at ukeplanene var ferdigstilt ble disse gjennomgått i det felles basmøtet som involverte LAB, betongelementleverandør og stålleverandør (ekskluderte altså montasjefirmaet), og uoverensstemmelser mellom planene ble diskutert. Dette førte som regel til at stålleverandøren, som utførte arbeid *etter* betongelementleverandøren og montasjefirmaet, måtte tilpasse og justere sin ukeplan etter betongelementleverandørens ukeplan. Prosesskartet viser også at levering av elementer ble gjort i henhold til ukeplanen, og det var lite eller ingen kommunikasjon mellom lastebil og montasjebasen før lastebilen var på byggeplassen. Flere ganger kjørte lastebiler helt inn til arbeidsområdet før kommunikasjon ble opprettet med basen, og oppdaget at det var mer hensiktsmessig å snu bilen. Bilen måtte da rygge 150-200 meter for å snu og komme tilbake.



Figur 34: Prosesskart for opprinnelig situasjon

5.3.7 Sammenfatning av funn

På bakgrunn av funnene fra observasjonsfasen og resultatene presentert i avsnittene over ble de største problemene identifisert og sammenfattet.

Produksjonskontroll

- Montasjebaser involveres ikke i utarbeidelsen av ukeplanene
- Ukeplaner utarbeides hovedsakelig kun fra hovedfremdriftsplan
- Informasjon i basmøtene utveksles muntlig og elementer går tapt
- Restarbeid utelates tidvis fra ukeplan
- Lav grad av visualisering av aktiviteter og avhengigheter
- Ukeplan oppdateres kun muntlig
- Svak logistikkplanlegging

Disse faktorene leder til lav pålitelighet i ukeplanen og dårlig flyt i arbeidet, noe som ble observert i produksjonsområdet. Lav pålitelighet fører videre til dårlig stabilitet i produksjonssystemet og defensive holdninger i prosjektgruppen.

Montasje/produksjon

- Dårlig logistikkhåndtering i produksjonsområdet
- Smal adkomstvei og dårlig plass for lastebiler
- Gjentatte avbrudd og dårlig arbeidsflyt grunnet uforutsette faktorer
- Arbeid påbegynt uten alle nødvendige ressurser og informasjon (suboptimale arbeidsforhold)

Disse faktorene leder til dårlig flyt på byggeplassen, med påfølgende sløsing og lav produktivitet. De to siste faktorene kunne observeres i forbindelse med produksjonen, men var i realiteten symptomer på problemer i produksjonskontrollen.

5.4 FORSLAG TIL FORBEDRINGER

Funnene fra observasjons- og analysefasen ledet til en rekke forslag til forbedringer, og den generelle oppfatningen var at det største potensialet var relatert til produksjonskontrollen, i form av påliteligheten til planene og produksjonsflyten. Noen av forbedringene ble foreslått av studenten, mens andre fremkom etter fremlegging av materialet og diskusjon i møtet med prosjektgruppen. I de påfølgende avsnittene er de foreslåtte forbedringene presentert for henholdsvis produksjonskontrollen og logistikkplanlegging og -håndtering, deres forankring i lean-teori samt referanse til sidenummer i det teoretiske rammeverket. Noen av de foreslåtte forbedringene ble fullstendig implementert, andre delvis. Resultater fra implementasjonen beskrives i delkapittel 5.5.

5.4.1 Produksjonskontroll

Gjennom observasjonene og det innsamlede materialet, ble det klart at fokuset på forbedring i første omgang burde rettes mot produksjonskontrollen. Begrunnelsen for dette var å bedre stabiliteten i produksjonssystemet før eventuelle endringer ble tilført selve montasjen/produksjonen, da produksjonsflyt og pålitelighet bør prioriteres høyere enn lokale og isolerte forbedringer i transformasjoner.

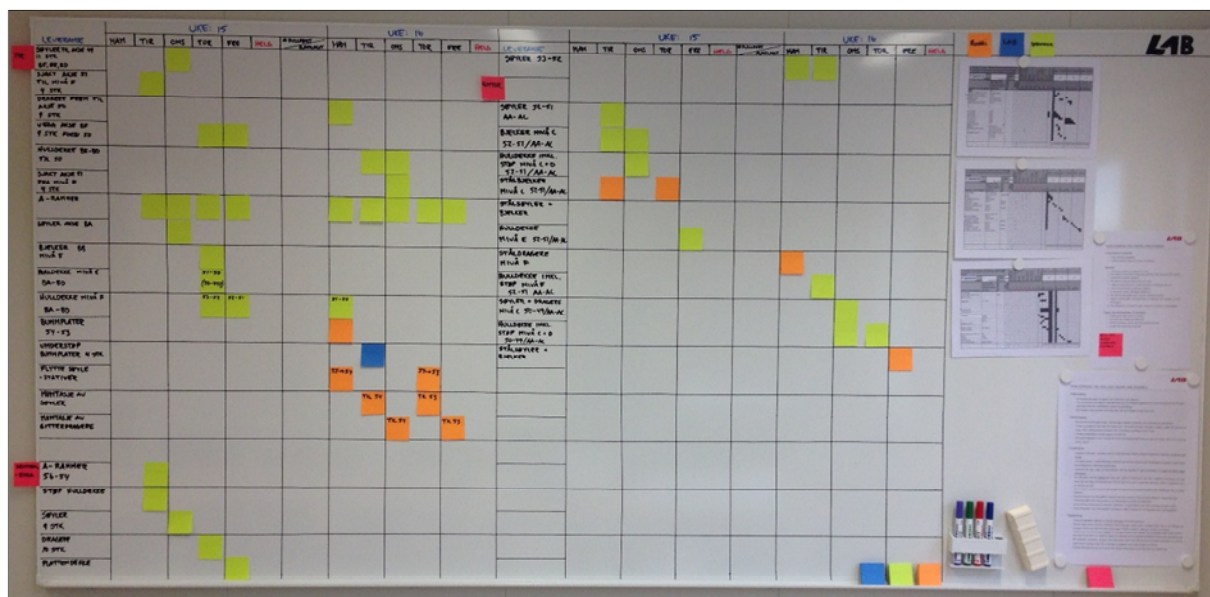
Kontrollaktiviteter baserer seg som regel på godt innarbeidete rutiner som de involverte har brukt over lang tid. I tillegg involverer slike prosesser flere aktører med ulike synspunkter og ambisjoner, noe som vanskeliggjør innføringen av endringer. For å øke sannsynligheten for suksessfull implementasjon, også med tanke på den begrensede tidsrammen for casestudien, ble et forslag til en ny rutine for ukeplanlegging utarbeidet basert på planen som allerede var i bruk. Dette forslaget ble diskutert, tilpasset og kunne eventuelt videreutvikles i etterkant av casestudien.

Ukeplan på whiteboard og nye rutiner for planlegging

Teoretisk forankring: Fokuser kontroll på hele prosessen (s. 21), Øk prosessers gjennomsiktighet/transparens (s. 21), Kontinuerlig forbedring (Transparente prosesser, s. 35 og s. 21)

Som et rammeverk for de nye planleggingsrutinene ble nytt ukeplansystem utviklet på basis av malen for den eksisterende toukersplanen og gjeldende møtестruktur, men med tilførte endringer basert på lean-prinsipper og verktøy. Ryggraden i det nye systemet ble en whiteboard med dimensjoner 120x250 cm og rutenett basert på den eksisterende ukeplanmalen (se Figur 35). Tavlen ble hengt på veggen i møterommet der basemøtene mellom LAB, betongelementleverandøren og stålleverandør ble avholdt.

Ved første øyekast ser tavlen ut som en pull-planleggingstavle fra Last Planner-systemet grunnet klistrelappene (som i Figur 18), men er i realiteten en videreutvikling av den opprinnelige ukeplanmalen basert på lean-teori. Begrunnelsen for å ta utgangspunkt i den eksisterende ukeplanmalen var å lage en overgangsmodell for å overkomme noen av implementasjonsutfordringene, blant annet nevnt under *Motstand mot endring*, avsnitt 3.6.1. Ved å ta utgangspunkt i et kjent format ville det kreves mindre trening og tilvenning til den nye ukeplanen.



Figur 35: Ny ukeplantavle

I likhet med den eksisterende ukeplanen (Figur 31) hadde ukeplantavlen en kolonne for aktiviteter, kolonner for ukedagene og helgene for to uker, i tillegg til en ny kolonne for måloppnåelse der PPU kunne noteres. Som det fremkommer av Figur 35 og Figur 36 (på neste side) var det plass til å føre på informasjon både direkte på klistrelappene, som var i formatet 51x51mm, og på selve tavlen. Dette økte informasjonskapasiteten i forhold til den eksisterende ukeplanen i A3-format, som kun hadde en kolonne for merknader. Hensikten var å fange opp all informasjonen og avtalene som ble utvekslet muntlig, der den opprinnelige planen kun fanget opp enkelte deler. Hver av aktørene fikk også tildelt egne farger på klistrelappene, for å synliggjøre grensesnittene ytterligere.

Under deltakelse i møter ble det ved flere anledninger observert at informasjon som hadde blitt utvekslet muntlig ved tidligere anledninger hadde gått tapt, og det ble diskutert hvorvidt denne informasjonen faktisk hadde blitt utvekslet. Ved å føre opp informasjon på tavlen etter hvert som den ble utvekslet i møtene kan dette problemet unngås. Det er også et steg i retning av å avgi mer pålitelige løfter, da lovnader som tidligere ble gitt muntlig føres opp på tavlen og blir synlige for alle. En annen viktig faktor for økt pålitelighet var involvering av baser og formenn i planleggingen, og dette diskuteres i et eget avsnitt.

De potensielle og ønskede effektene av å utvide ukeplanen fra A3-format til en større tavle var som følger:

- Økt visualiseringen av planene og interne kunde-leverandørforhold
- Økt informasjonskapasitet for å ivareta all informasjon som utveksles i møter
- Enklere samarbeid i gjennomgangen av planen
- Enklere oppdatering av ukeplanen underveis i uken
- Gode muligheter for videreutvikling og tilpassing av tavlen

Et mer detaljert utsnitt av den nye ukeplantavlen er vist i figuren på neste side. Denne viser hvordan tilleggsinformasjon om hvilke akser arbeidet utføres i er ført direkte på klistrelappene, og også hvordan to flyttede aktiviteter er markert med røde piler.

		UKE: 16						
LEVERANSE		MAN	TIR	ONS	TOR	FRE	HELG	# FULLFØRT PLANLAGT
SØYLER TIL AKSE 49 11 STK BF, BE, BD								
SJAKT AKSE 51 TIL NIVÅ F 4 STK								
DRAGERE FREM TIL AKSE 50 9 STK								
VEGG AKSE BF 9 STK FORBI 50								
HULLDERKE BF-BD TIL 50								
SJAKT AKSE 51 FRA NIVÅ F 4 STK								
A-RAMMER 52-51		51	51 50	50 49	50 49 48	49 48		
SØYLER AKSE BA	?							
BJELKER 88 NIVÅ F		6 →						
HULLDERKE NIVÅ E BA-BD		3 →			51-50 (50-49?)			
HULLDERKE NIVÅ F BA-BD					53-52 52-51			
BUNNPLATER 54-53								

Figur 36: Utsnitt av ukeplantavle (uke 16)

I tillegg til ukeplantavlen ble nye rutiner for ukeplanleggingen foreslått, og gjennomføringen ble delt inn i fire punkter med følgende beskrivelser:

- *Forberedelse*
Utarbeidelse av utkast til ukeplan fra LAB, betongelementleverandør og stålleverandør. Baser må involveres i planleggingen og forholdene på byggeplass må kontrolleres før planene legges. Utkastene oversendes LAB dagen før basmøtet. LAB sørger for at oversiktstegninger, logistikkplan og annet nødvendig utstyr er tilgjengelig til møtet.
- *Utarbeidelse*
Ukeplantavlen forberedes av LAB før basmøtet. Aktiviteter føres opp på tavlen basert på de tilsendte utkastene til ukeplan. Klistrelapper plasseres ut for å markere når arbeidet er planlagt utført (Figur 31).

- *Gjennomgang*
Ukeplanen gjennomgås i fellesskap mellom LAB, betongelementleverandør og stålleverandør i basemøtet. Eventuelt restarbeid fra inneværende uke føres først opp i planen. Hensikten med møtet er å identifisere potensielle problemer for gjennomføring, identifisere kritiske avhengigheter mellom aktiviteter og utveksle annen relevant informasjon. Informasjon om aktiviteter skrives på klistrelappene og avhengigheter markeres med piler på tavlen mellom klistrelappene. Ved slutten av møtet tas det et bilde av planen, som sendes til møtedeltakerne. Ukeplantavlen prioriteres foran egne ukeplaner, da den er gjennomgått og godtatt av alle involverte aktører.
- *Oppdatering*
For å opprettholde gyldigheten av planen, og dermed respekten for den, er det viktig med jevnlig oppdatering. Ideelt sett bør ukeplanen oppdateres daglig i et kort morgenmøte. Disse møtene bør ikke vare mer enn 10 minutter, og gjennomføres stående. Hensikten med møtet er å avdekke forhold som fører til endringer i planen, og se hvilke konsekvenser disse får for andre aktører. Det er derfor viktig at alle som påvirkes er tilstede. Fullførte aktiviteter krysses ut, slik at status kan bestemmes, og planen fotograferes.

Elementene i planleggingsrutinene ble sammenfattet i en veiledning til felles ukeplanlegging, og er lagt ved oppgaven som vedlegg B. Noen av elementene i de nye planleggingsrutinene krever nærmere forklaring, og diskuteres i avsnittene under.

Involvere baser i planleggingen

Teoretisk forankring: Basere produksjon på behov, pull-produksjon (s. 27), Involverende planlegging i Last Planner-systemet (s. 37), Skjerme produksjon fra usikkerhet (s. 29)

Gjennom å involvere personer med direkte kjennskap til arbeidet og de rådende forholdene på byggeplass i ukeplanleggingen, kan mye av usikkerheten rundt gjennomføringen reduseres. Dette vil også dreie produksjonssystemet mer i retningen av pull-produksjon, da aktiviteter planlegges på bakgrunn av behov og med målsetning om å frigjøre arbeid nedstrøms i produksjonskjeden, fremfor å utelukkende basere ukeplaner på hovedfremdriftsplanen.

I det studerte prosjektet ble ikke basene fra montasjefirmaet inkludert da betongelementleverandøren utarbeidet ukeplanene, og et konkret forslag til forbedring var derfor å involvere disse. Etter innføring av Last Planner-systemet på et prosjekt og studie av gjennomføringen trakk Kalsaas et al. (2010) frem slik involvering som en av de viktigere faktorene for suksess.

En annen viktig del av forbedringsforslaget var å gi basene muligheten til å avslå oppgaver som ikke var mulige å gjennomføre med gitte ressurser innenfor den gitte tidsrammen. Målet var å øke basenes eierskap til planene, da de kunne avslå «umulige» oppgaver, og dermed fikk økt ansvarsfølelse når de først forpliktet seg til å gjennomføre oppgaver.

Ideelt sett burde utarbeidelsen av ukeplanene foregå i fellesskap mellom LAB, betongelementleverandører, montasjefirmaet og stålleverandøren, men dette var ikke mulig å gjennomføre innenfor casestudiens rammer. Den etablerte møtestrukturen og andre rutineforhold ga ikke nok fleksibilitet til å gjøre en slik omfattende endring i planleggingsrutinene.

Klargjøre arbeid før utførelse

Teoretisk forankring: Skjerme produksjon fra usikkerhet (s. 29)

Anvendelse av produksjonsskjerming gjennom å innføre kvalitetskriterier for aktiviteter som skal føres inn i ukeplanen er det første steget i retning av produksjonskontroll (Ballard & Howell, 1998). Gjennom å klargjøre aktiviteter for utførelse kan hindringer for god arbeidsflyt fjernes, og risikoen for avbrudd i produksjonen minimeres.

En av de identifiserte problemene i det studerte prosjektet var arbeid under suboptimale forhold (å *klare seg* med det man har), som er en bidragsyter til økt variabilitet og lav pålitelighet i ukeplanen. Et annet resultat er økning av inventar i form av pågående arbeid (WIP), som skaper en uoversiktlig situasjon. Arbeid på oppgaver uten alle nødvendige ressurser fører til avbrudd i produksjonen, som igjen leder til at flere arbeidsoppgaver uten nødvendige ressurser påbegynnes for å sysselsette arbeidslagene.

Et konkret forslag til et steg i retning av produksjonsskjerming var å klargjøre arbeidsoppgaver før de skulle påbegynnes. Dette skulle oppnås gjennom økt bevissthet hos baser, og gjennom å oppfordre til å aktivt søke etter forhold som kunne hindre produksjonen før den ble påbegynt. Det faktum at ukeplanen strakk seg to uker frem i tid ga én ukes handlingsrom for å fjerne hindringer, før aktivitetene ble sluppet inn i kommende uke i planen. Det ideelle tiltaket ville være å innføre utkikkspanlegging for seks til åtte uker frem for å forutse og fjerne hindringer som krever mer tid, men dette var ikke mulig å gjennomføre innenfor casestudiens tidsramme.

Jevnlig oppdatering av ukeplan

Teoretisk forankring: Gi pålitelige løfter, Skjerming av produksjon (s. 29), Oppfølging og læring fra feil (s. 37)

Kontinuerlig oppdatering er viktig for å opprettholde ukeplanens funksjon og verdi. En av årsakene til den dårlige arbeidsflyten som ble observert i casestudien var mangel på oppdatering når endringer inntraff, som førte til at de ulike aktørene gjorde individuelle tilpasninger uten å klarere dette med andre påvirkete parter. På denne måten kunne en enkelt endring føre til en kjede av problemer, da det var mangel på overordnet koordinering og tilpasning av planene. Kalsaas et al. (2010) nevnte kontinuerlig tilpasning og oppdatering av planene underveis i gjennomføringen som én av de konkrete anbefalingene etter innføringen av LPS på et studert prosjekt.

5.4.2 Logistikkplanlegging og -håndtering

Forbedringer til produksjonsaktivitetene ble foreslått i et møte med representanter fra LAB, betongelementleverandøren, montasjefirmaet og stålleverandøren. Forbedringene fokuserte utelukkende på flytprosesser i form av ikke-verdiskapende, støttende aktiviteter. Disse ble ansett å ha størst forbedringspotensial og kunne påvirke arbeidsoperasjonen positivt gjennom færre avbrudd. Å tilføre forbedringer i flyt før transformasjoner er også i tråd med anbefalingene fra Koskela (1992). Forslagene til forbedringer er beskrevet i avsnittene under.

Innføre logistikkplan

Teoretisk forankring: Øke prosessers transparens (s. 35), Kontroll av flytaktiviteter for å minimere sløsing (s. 20)

Som svar på logistikkutfordringene avdekket i analysefasen ble det foreslått å innføre en logistikkplan. Utgangspunktet ble en mal som hadde blitt utarbeidet av LAB i tidligere prosjekter, og denne ble tilpasset de gjeldende forholdene i prosjektet. Byggeplassen ble delt inn 14 soner, der hver sone kunne brukes til lossing og kranoppstilling. Registrering av hvilke soner som ble brukt til midlertidig lagring ble også innlemmet i logistikkplanen etter diskusjon med prosjektgruppen, da mellomlagrede materialer og elementer stadig skapte problemer på byggeplassen grunnet mangel på et overordnet system for å koordinere lagringen. Logistikkplanen hadde en uketabell for hver sone, og hver dag var delt inn i timer. Dersom en aktør skulle anvende en sone, måtte dette registreres fysisk på logistikkplanen, som hang i LAB sin brakkerigg. Her måtte både sone og tidsrom for bruk presiseres.

Et viktig tiltak for å sikre gyldigheten av logistikkplanen var å holde den oppdatert i forhold til hvilke soner som var utilgjengelige grunnet andre forhold. Det hendte tidvis at soner var utilgjengelige grunnet graving eller andre hindringer som ikke var relatert til leveranser eller vanlig arbeid, og dette måtte registreres i planen. Det måtte også presiseres dersom en sone hadde begrenset tilkomst, eller dersom deler av sonen var utilgjengelig. På denne måten kunne overraskelser og påfølgende improviserte løsninger forhindres.

Som nevnt ble en sammenfatning av de foreslåtte forbedringene utarbeidet, og denne er vedlagt oppgaven som Vedlegg B.

Bedre logistikkhåndtering i produksjonsområdet

Teoretisk forankring: Basere leveranser på behov/pull (s. 27)

Utfordringene knyttet til logistikk hadde høy prioritet, da presset på byggeplassen ville øke i takt med økende mengde aktører, og dermed kraner, inntransport og lignende. Selv om prosjektgruppen var kjent med de logistiske problemene, virket det ikke som alle var klare over konsekvensene disse kunne ha for arbeidsflyten i produksjonen, og dermed fremdrift. Gjennom å synliggjøre denne sammenhengen økte motivasjonen for å prioritere logistikk.

Forbedring av logistikkhåndtering i produksjonsområdet besto av tre konkrete punkter, og målet var å bedre logistikkflyten i forbindelse med leveranser. De foreslåtte forbedringene var relativt åpenbare, og krevde lite diskusjon for å avdekkes. Forslagene var som følger:

- Ikke slippe lastebiler inn på byggeplassen før de skal losses. Baser må kommunisere med bilene for å unngå kaos på byggeplassen
- Plassering av biler for lossing må standardiseres. Biler bør stå inntil bygg eller i veien for å unngå løft over veien (av HMS-hensyn)

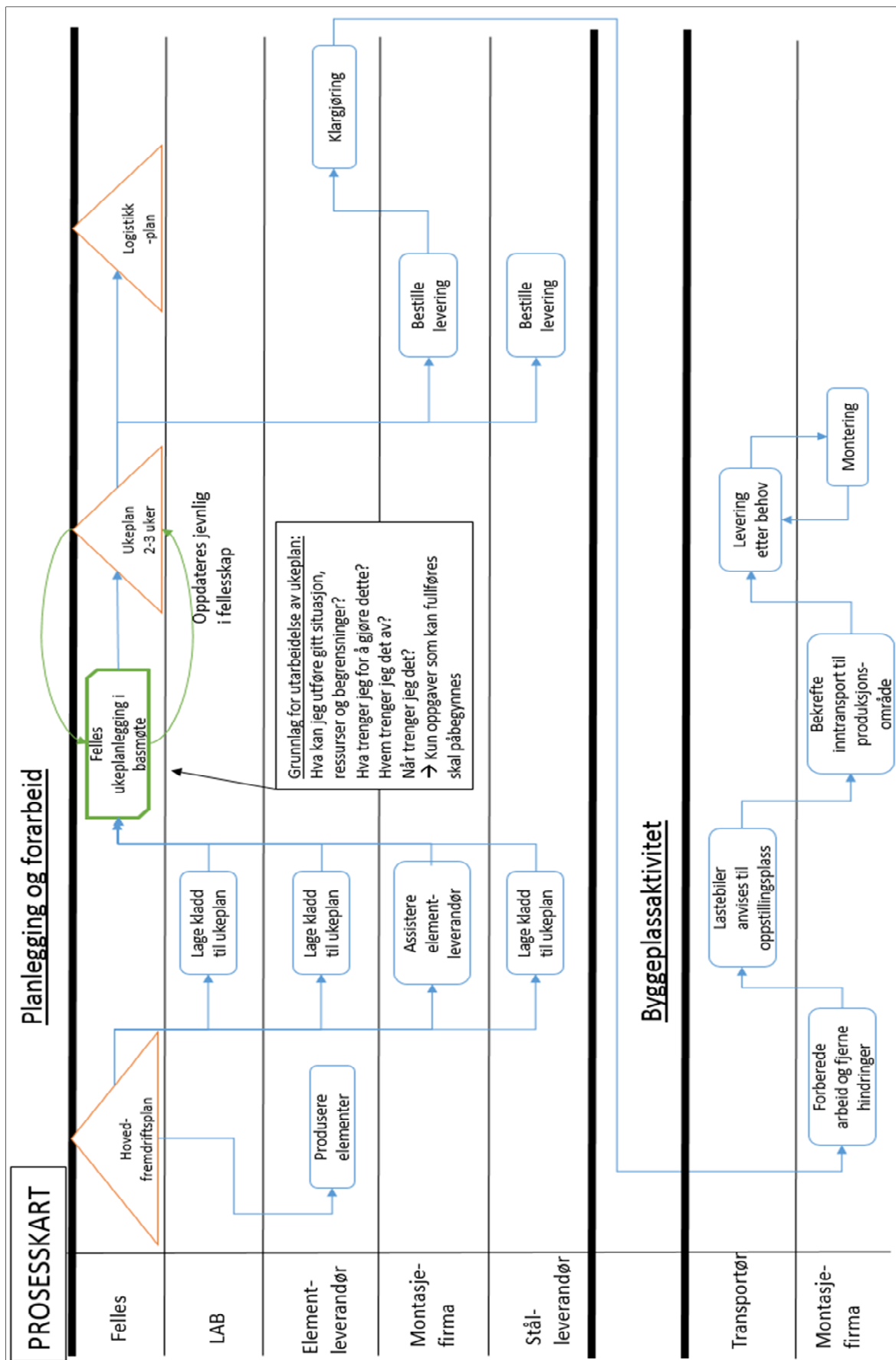
- Baser må gi instruksjoner til lastebiler før de kommer inn på området, for eksempel presisere om bilene må rygge inn

Bedre adkomstvei

Denne forbedringen var relatert til selve riggutformingen, da denne var en kilde til problemer med logistikkavviklingen. Veien var relativt smal, og det var kun enkelte områder som tillot at biler kunne passere hverandre. Den smale veien gjorde det også vanskelig for lange lastebiler å snu, som medførte at disse måtte rygge 150-200 meter. Dette var både tidkrevende og innebar en potensiell sikkerhetsrisiko. De foreslåtte forbedringene var som følger:

- Utvide bredden på adkomstveien der det er mulig for å lette tilkomsten og muliggjøre forbikjøring
- Etablere gjennomkjøringsvei for å unngå at lastebiler må rygge ut samme vei de kommer inn

Som en sammenfatning av de foreslåtte forbedringene ble et nytt prosesskart utarbeidet, og dette er vist i figuren på neste side. Dette må ses i sammenheng med kartet på s. 71.



Figur 37: Foreslått prosesskart

5.5 RESULTATER FRA IMPLEMENTERTE FORBEDRINGER

Av de foreslåtte forbedringene ble enkelte fullstendig implementert og andre delvis implementert. Etter seks ukers bruk av de innførte forbedringene ble et møte avholdt av de involverte aktørene i prosjektet, og endringene ble gjennomgått, vurdert og rapportert med utgangspunkt i en liste med vurderingskriterier. Resultatene av implementering med tilbakemeldinger fra prosjektgruppen gjennomgås i avsnittene under.

5.5.1 Produksjonskontroll

Ukeplan på whiteboard og nye planleggingsrutiner

Innføringen av ukeplan på whiteboard med nye planleggingsrutiner hadde trolig de største implementasjonsutfordringene av de foreslåtte forbedringene, da disse medførte endringer i etablerte rutiner og krevde involvering fra flere parter. Ukeplanen på whiteboard ble tatt i bruk for Pir-området, mens ukeplanene for elementmontasjen i Sentralbygg og Kontor fremdeles kun var i tradisjonelt format. Da man fremdeles benyttet seg av det gamle ukeplansystemet i tillegg til tavlen, ble tavlen i praksis brukt som et verktøy og hjelpemiddel under gjennomføringen av basmøtet, og fungerte ikke som en fullverdig og selvstendig ukeplan. Årsaken til dette var ifølge prosjektgruppen behovet for å dele informasjonen i ukeplanen med andre aktører i avtalte formater, og til dette var det ikke tilstrekkelig med kun fotografering av ukeplantavlen.

I forbindelse med synliggjøring av avhengigheter fant prosjektgruppen at det var hensiktsmessig å kun markere de spesielle og kritiske på tavlen. Mange avhengigheter var selvsagte for de involverte med kjennskap til arbeidet, og ved å utelate disse fremkom de viktige avhengighetene bedre. Synliggjøringen av avhengigheter ledet ifølge prosjektgruppen til økt bevissthet rundt overleveringer mellom fag.

I forhold til tavlens evne til ivaretagelse av informasjon, rapporterte prosjektleder at ukeplantavlen fungerte godt, og at avtaler som ble inngått i basmøtene ble synliggjort på tavlen. Dette fungerte også som dokumentasjon på avtaler inngått i møtene. Han nevnte imidlertid at gruppen hadde stort forbedringspotensial hva gjaldt påføring av informasjon, og at tavlens muligheter kunne utnyttes bedre. Ofte ble informasjon ført inn på tavlen *etter* basmøtene basert på informasjon fra de ulike aktørenes egne ukeplaner.

I tillegg til bruk i basmøtene hadde ukeplantavlen også god effekt i interne møter med LAB eller i møter med aktører uten direkte kjennskap til arbeidet, da den ga rask oversikt over produksjonsaktivitetene og dannet et godt utgangspunkt for å løse praktiske utfordringer. Bruken av tavlen hadde altså blitt utvidet fra basmøtene til å også inkludere andre møter.

Som nevnt i forrige delkapittel hadde også ukeplantavlen en kolonne for registrering av måloppnåelse (PPU), der fullført og ikke-fullførte oppgaver kunne telles opp og registreres. Denne formen for måling av produksjonen hadde ikke blitt innført.

Involvere baser i planleggingen

Etter casestudien ble ukeplanene fortsatt utarbeidet individuelt av hver aktør før basmøtet, men baser ble nå involvert i planleggingen. Dette medførte at ukeplanen som ble gjennomgått og sammenflettet i basmøtet var basert på innspill fra personer med direkte kjennskap til situasjonen i arbeidsområdet og arbeidslagets kapasitet. Ifølge prosjektgruppen hadde

involveringen gitt ukeplanen langt større presisjon i forhold til aktiviteters varigheter og rekkefølge. Den hadde også ledet til mer presise leveranser og bedre kommunikasjon, og endringen ble oppfattet som positiv av alle parter.

Klargjøre arbeid for utførelse

I forbindelse med bruk av ukeplantavlen i basmøtene ble økt fokus på klargjøring av arbeid for utførelse også innført. Neste ukes aktiviteter ble gjennomgått systematisk i møtet, slik at potensielle hindringer for utførelse kunne diskuteres. Ifølge prosjektgruppen var dette punktet et av de mest effektfulle, og det ble rapportert at flere hindringer ble avdekket enn tidligere, og diskusjonen rundt disse gikk lettere ved bruk av ukeplantavlen. I tillegg økte bevissthet på klargjøring av arbeidsoppgaver og fjerning av hindringer, og slike hindringer for gjennomføring ble lettere avdekket. Prosjektgruppen opplevde bedre presisjon i aktiviteters rekkefølge og varighet, som igjen ledet til mer presise leveranser og bedre kommunikasjon.

Det ble imidlertid også gjort interne tiltak hos elementleverandøren for preventiv problemløsning, som innføring av ny, intern ukeplanmal og oppbemanning i administrasjonen, og disse forholdene kan også ha innvirket på situasjonen.

Jevnlig oppdatering av ukeplan

Da daglige oppdateringsmøter foregikk ute på byggeplassen, viste seg å være vanskelig å gjennomføre regelmessig oppdatering av ukeplantavlen, og dette foregikk derfor med ujevne mellomrom. Det viste seg også at det ved omfattende endringer i ukeplanen var tidkrevende å oppdatere tavlen, da den i praksis måtte tømmes og utarbeides fra bunnen. Dette medførte at større endringer ikke ble oppført på tavlen, men kun i de tradisjonelle ukeplanene. Prosjektgruppen rapporterte imidlertid at for mindre endringer var ukeplanen et effektivt verktøy.

5.5.2 Logistikkplanlegging og -håndtering

Innføre logistikkplan

Forslaget til logistikkplan ble fullstendig implementert, og den overordnede planen ble oppført i LABs brakkerigg. Denne inneholdt standardiserte lossesoner (som beskrevet i forrige delkapittel), og hver aktør måtte registrere/bestille bruk av disse sonene fysisk på logistikkplanen. Ifølge prosjektgruppen bidro innføringen av logistikkplanen til betydelig bedring av situasjonen på byggeplass, til tross for økt hyppighet av leveranser, og ble opplevd som positiv av alle aktører.

Prosjektleder nevnte også ambisjoner om å overføre logistikkplanen til et format lignende ukeplantavlen (whiteboard) for å gjøre den mer oversiktlig og lettere å oppdatere, men dette var ennå ikke gjort.

Bedre logistikkhåndtering i produksjonsområdet

I forbindelse med logistikkhåndteringen i produksjonsområdet ble flere endringer gjort basert på de tre punktene til forbedring. For transport til byggeplass ble innmelding før ankomst innført, og en oppstillingsplass for ventende lastebiler etablert. Under inntransport til produksjonsområdene ble også instruksjer fra både mottaker og portvakt til transportører innført,

i tillegg til bruk av følgemenn ved rygging. Prosjektgruppen rapporterte at kommunikasjonen mellom mottakere og transportører hadde hatt en positiv effekt i forhold til opprinnelig situasjon. Mangel på slik kommunikasjon hadde tidligere ført til avbrudd i produksjon og improviserte løsninger i forbindelse med mellomlagring. Slike problemer ble i høyere grad unngått, da sjansene for at uanmeldte lastebiler dukket opp i produksjonsområdet ble redusert. Plassering for lossing i produksjonsområdene ble også standardisert gjennom innføringen av soner i logistikkplanen. Dette forhindrede løfting over veien, og hadde dermed en positiv effekt på HMS.

Bedre adkomstvei

Tiltak ble iverksatt basert på de foreslåtte forbedringene, og adkomstveien langs Pir-området ble utvidet og vesentlig bedre planert. I tillegg ble gjennomkjøringsvei etablert, og denne kunne som regel holdes åpen og dermed muliggjøre innføring av enveiskjøring. Etter utbedringen av veien, med økt bredde og bedre planering, ble ifølge prosjektgruppen trafikkavviklingen langt lettere. I forhold til gjennomkjøringsveien hadde denne en positiv effekt på HMS (unngikk risikoen ved rygging over langt strekk), riggplass og ventetid for lastebiler. Hovedutfordringen var å holde denne åpen, men dette var i de fleste tilfeller mulig.

Som en oppsummering av de kvalitative resultatene av implementasjonen rapporterte prosjektleder et inntrykk av bedre oversikt gjennom økt visualisering og transparens. I forhold til videre forbedring ble utvidelse av ukeplanens virkeområde til Sentralbygg- og Kontorområdene ansett som for krevende i forhold til gruppens erfaring og situasjonen i prosjektet. Anleggsleder rapporterte en bedring av arbeidsflyten, men presiserte at arbeidsoperasjonen fremdeles ikke «gikk på skinner», og at det fortsatt var stort forbedringspotensial.

5.5.3 Kvantitative resultater

Som grunnlag for de kvantitative resultatene ble ukeplaner for uke 15 til 21 gjennomgått på samme måte som beskrevet i delkapittel 5.3.2 (s.66), og gjennomsnittlig PPU ble beregnet. Da den implementerte ukeplantavlen kun dekket ukeplanen for PIR-området, ble aktivitetene for Kontor og Sentralbygg utelatt fra statistikken (disse var inkludert i PPU fra operasjonsanalysen) med den hensikt å isolere resultatene til de innførte tiltakene. Kalkulering av PPU ble gjort av studenten selv, da prosjektgruppen som nevnt ikke hadde implementert noen rutiner for dette. Som i operasjonsanalysen ble arbeidsoppgaver som ble fullført innenfor planlagt uke talt opp, og sammenlignet med totalt antall planlagte oppgaver.

Av totalt 57 aktiviteter var kun 18 fullført innenfor planlagt uke, hvilket resulterte i PPU på 31,6 %. Dette var nær halvparten av det som ble observert i casestudien, da PPU lå på 63,4 %. Under gjennomgangen av aktivitetene viste det seg at uforutsette problemer i uke 14 førte til at ingen av de planlagte aktivitetene ble fullført i uke 15. Dette hadde en stor innvirkning på statistikken, da disse aktivitetene utgjorde 24,5 % av det totale antallet studerte aktiviteter.

I forbindelse med produksjonen rapporterte prosjektleder at flere aktører på byggeplass økte sjansene for driftsforstyrrelser i forhold til den opprinnelige situasjonen. For å ta igjen tapt tid hadde også tiltak blitt innført, som økt overlapp og redusert gjennomføringstid for aktiviteter.

6. DISKUSJON

I dette kapittelet diskuteres resultatene fra casestudien med utgangspunkt i forskningsspørsmålene og det teoretiske rammeverket. Forskningsspørsmålene må ses i sammenheng med problemstillingen: «Hvilke forbedringer kan tilføres produksjonskontroll og montasje av hulldekker ved bruk av operasjonsanalyse og Lean Construction-prinsipper?»

Hvilke praktiske forhold og utfordringer må tas hensyn til under gjennomføring av operasjonsanalyser?

Hensikten med dette forskningsspørsmålet var å bidra til å fylle gapet mellom teori og praksis for gjennomføring av operasjonsanalyser gjennom å påpeke praktiske forhold og utfordringer som oppsto under gjennomføringen av casestudien.

At et slikt gap eksisterer ble bekreftet under gjennomføringen av operasjonsanalysen, og flere praktiske forhold måtte håndteres etter hvert som de oppsto. De fleste av disse medførte å tilpasse analysen til forholdene i det studerte prosjektet, og påvirket eksempelvis valg av analyseverktøy, gjennomføringen av videoopptak, deltakelse i aktuelle møter og sammensetning av prosjektgruppen. Dette kan tyde på at gapet mellom teori og praksis nettopp skyldes dette behovet for tilpasning til det aktuelle prosjektet, hvilket også medfører at disse forholdene er vanskelige å generalisere til gjennomføring av operasjonsanalyser generelt.

Da de fleste av tilpasningene var spesifikke for dette prosjektet, er de dermed vanskelige å generalisere. Et eksempel på en slik tilpasning var den overordnede fremgangsmåten. Da det ble det tydelig at den sekvensielle fremgangsmåten som var planlagt ikke var hensiktsmessig grunnet det todelte fokuset på både produksjonsaktiviteter og produksjonskontroll, og analysen ble delt i to sykluser. Det er med andre ord visse forhold som ikke kan tas stilling til før man har kjennskap til praktiske forhold ved prosjektet som skal studeres, noe som stiller krav til nøye planlegging før slike analyser skal gjennomføres og tilpasning av planene underveis. Dersom prosjekter lignende denne oppgavens studerte prosjekt er aktuelle for operasjonsanalyse kan imidlertid de spesifikke erfaringene beskrevet i delkapittel 5.3 være nyttige, og på denne måten har denne oppgaven bidratt til å dekke noe av informasjonsgapet.

Dersom generell lærdom for gjennomføring av operasjonsanalyser skal trekkes ut må dette være viktigheten av forhåndsplanlegging og tilpasning av disse planene til de rådende forholdene for å sikre godt utbytte. En annen anbefaling er å sette sammen en prosjektgruppe som kan samarbeide godt, og å opprettholde gruppens fokus på analysen gjennom hele gjennomføringen.

Som beskrevet i kapittel 3.6 er selve implementeringen av lean i produksjonssystemer også forbundet med flere utfordringer, både generelle knyttet til innføring av endringer i etablerte rutiner og tankesett, og spesielle knyttet til leans karakteristikk. Under gjennomføringen av casestudien var begge disse kategoriene representert. Utfordringene diskutert i avsnittene som følger kan også bidra til praktisk kunnskap rundt gjennomføring av operasjonsanalyser og innføring av endringer på prosjekter av lignende karakter.

Analysemøtene der materialet ble fremlagt for prosjektgruppen var et av områdene forbundet med utfordringer, og Oglesby et al. (1989) presiserer viktigheten av et godt og konstruktivt samarbeidsmiljø i slike møter. Klimaet i prosjektgruppen bar preg av at den studerte arbeidsoperasjonen hadde fremdriftsproblemer, og det var tidvis vanskelig å oppnå ønsket grad av samarbeid. Dette kan knyttes til avsnittet *Lokale faktorer* under delkapittel 3.6.1. Som nevnt fungerte prosjektleder fra LAB som møteleder for prosjektmøtene, men situasjonen hadde trolig

vært bedre dersom en ekstern person uten tilknytning til arbeidet hadde hatt denne rollen. Dette er også en konkret anbefaling fra Oglesby et al. (1989) for sammensetning av slike grupper. En objektiv person ville hatt bedre mulighet til å opprettholde gruppens fokus på konstruktiv problemløsning og styrt unna konfliktskapende diskusjoner.

I forbindelse med innføringen av endringene basert på de foreslåtte forbedringene var det som nevnt flere aktuelle utfordringer. Ifølge Arbulu & Zabelle (2006) (s. 45) foregår endringer i fire faser, hvorav første fase er fornektelse av at det eksisterer et problem, og dermed fornektelse av at endring er nødvendig. Dette ble bekreftet i casestudien da aktørene gjentatte ganger skyldte problemene på hverandre, i stedet for å erkjenne at problemene skyldtes svakheter i produksjonssystemet. Påstander om at situasjonen var på bedringens vei, og dermed at endringer ikke var nødvendig, var også vanlige. En måte å overkomme dette første stadiet av fornektelse er ifølge Arbulu & Zabelle (2006) gjennom informasjon, og mye tid ble brukt på å påpeke svakheter ved dagens modell, og gjennom å spore problemene med produksjonen tilbake til kilden. Dette viste seg å ha en effekt, og erfaringene fra casestudien understøtter dermed teorien på dette punktet.

I forbindelse med de fire fasene av endring ble også noen personer identifisert som kritiske ledd for implementeringen. Et slikt kritisk ledd var anleggsleder for LAB, da han var sentral under gjennomføring av basmøtet og utarbeidelsen av den felles ukeplanen. Utfra erfaringene i casestudien er identifisering av slike kritiske ledd og sikring av deres deltakelse en nøkkel til suksessfull implementering, og ukeplanen hadde neppe blitt innført i samme grad dersom anleggsleders rolle hadde blitt oversett.

I delkapittel 3.6.1 ble også leans basis i omfattende teori også knyttet til utfordringer, da dette kan virke fremmedgjørende på personer uten kjennskap til teorien. Dette ble bekreftet i casestudien, da forbedringene for økt produksjonskontroll basert på lean-teori og praksis møtte større motstand enn de enklere tiltakene utarbeidet i samarbeid med prosjektgruppen. Casestudien viste også at forbedringene som ble utarbeidet i samarbeid med prosjektdeltakerne møtte mindre implementasjonsmotstand enn forslagene som ble forberedt av studenten.

Det faktum at forbedringer i produksjonskontrollen medfører endringer i rutiner som fastsattes under oppstart av prosjektet (interne møter, eksterne møter, ukeplanlegging), gjorde trolig implementasjonen vanskeligere enn den hadde blitt på et tidligere tidspunkt i prosjektet. Da nettverket av rutiner var godt etablert og relativt komplekst, var det vanskelig å innføre omfattende endringer. Dette var også prosjektleders oppfatning, som hevdet at omfanget av implementasjonen trolig kunne vært mer omfattende dersom den kom på et tidligere tidspunkt.

Da implementasjonen av endringene skjedde først i slutten av casestudien, var suksessen avhengig av prosjektgruppens innsats da studenten ikke kunne assistere videre. Ifølge Arbulu & Zabelle (2006) er kontinuerlig oppfølging viktig for å unngå tilbakefall til gamle rutiner, og for å lede gruppen mot forpliktelse til de nye rutineene. I denne fasen var anleggsleder en nøkkelperson, da han var ansvarlig for gjennomføringen av basmøtet, og dermed hovedbruker av ukeplantavlen. Prosjektleders involvering var også svært viktig, da han inntok en overordnet rolle og overså implementeringen fra et mer objektivt ståsted, og dermed kunne allokere ressurser og koordinere aktivitetene. Dette bekrefter dermed anbefalingen fra litteraturen, som fremhever involvering fra ledelsen som en av hovedfaktorene for suksessfull implementasjon (delkapittel 3.6.2).

Som tidligere nevnt avdekket observasjonsfasen størst forbedringspotensial for produksjonskontrollen, og hovedfokus ble i første omgang rettet mot disse prosessene. Dette er også i tråd med litteraturen, som anbefaler å stabilisere produksjonssystemet og redusere variabiliteten før man prøver å tilføre lokale forbedringer (se 3.2.2). Hvorvidt operasjonsanalyser er egnet for forbedring av slike prosesser er imidlertid noe usikkert, og dette diskuteres videre under de øvrige forskningsspørsmålene og besvares i konklusjonen.

Hvilke kvalitative forbedringer kan tilføres produksjonskontrollen for den valgte arbeidsoperasjonen?

Alle de fem forslagene til forbedringer av produksjonskontroll ble helt eller delvis implementert på prosjektet, og det ble rapportert positive resultater fra prosjektgruppen. Prosjektgruppens tilbakemeldinger om økt synliggjøring av avhengigheter og lettere oversikt over produksjonsaktivitetene for eksterne tydet på en økt grad av transparens, hvilket var hovedmålet med innføringen av ukeplantavlen. Casestudien bekreftet altså at transparens kan økes gjennom visualisering av arbeidsoppgaver og avhengigheter på en ukeplan i stort format.

I forhold til skjerming av produksjonen fra usikkerhet bidro ukeplantavlen til økt bevissthet rundt klargjøring av arbeidsoppgaver, hvilket er et steg i retning av bedret produksjonsflyt gjennom reduksjon i variabilitet og økt stabilitet i produksjonssystemet. De innførte forbedringene var imidlertid begrensede grunnet oppgavens omfang, og man kunne trolig oppnådd betydelig større utbytte gjennom å implementere utkvikksplaner og en mer omfattende klargjøringsprosess med kvalitetskriteriene fra produksjonsskjermingsteorien (s. 29).

En annen faktor relatert til produksjonsskjerming var involvering av baser i utformingen av ukeplanene, og det ble rapportert bedre treffsikkerhet på varigheter og rekkefølge på aktiviteter. Dette er dermed i tråd med teorien beskrevet i blant annet Last Planner-systemet i delkapittel 3.5.1, som hevder at involvering av baser øker kvaliteten på planene, og dermed kan bidra til økt pålitelighet. Hvorvidt basene ble gitt muligheten til å avslå oppgaver uten nødvendige ressursene for uavbrutt gjennomføring er derimot noe usikkert. Dette gjennomgås nærmere under diskusjonen av de kvantitative resultatene.

I motsetning til involvering av baser, viste målet om jevnlig oppdatering av ukeplanen seg å være vanskelig å nå, da etablerte rutiner og andre faktorer vanskeliggjorde implementeringen. Blant de foreslåtte forbedringene ble jevnlig oppdatering trukket frem som et viktig punkt for å opprettholde gyldigheten og verdien av ukeplanen, og det faktum at dette ikke ble fullstendig innført som foreslått førte trolig til lavere reduksjon i variabilitet enn potensielt mulig. Dersom forslaget hadde kommet på et tidlig tidspunkt i prosjektet, helst under etableringen av planleggingsrutinene, kunne trolig daglig oppdatering i fellesskap blitt etablert som fast rutine.

Som et resultat av mangel på jevnlig oppdatering av ukeplanen ble heller ikke registrering av PPU innført, hvilket trolig førte til en betydelig lavere økning i produksjonskontroll enn ønsket. Mye av hensikten med lean produksjonskontroll er som nevnt i delkapittel 3.3 å innføre tiltak før budsjett eller fremdrift påvirkes, hvilket er vanskelig uten kontinuerlig oppdatering og måling/tallfesting av prosjektets ytelse. Som nevnt i de kvantitative resultatene sank PPU betraktelig i ukene etter casestudien ble avsluttet, uten at prosjektgruppen var klar over dette. Dette tydet på at den tradisjonelle og reaktive formen for produksjonskontroll hadde blitt videreført.

I forbindelse med de implementerte forbedringene knyttet til produksjonskontrollen er det også naturlig å diskutere overførbarhet til andre arbeidsoperasjoner og prosjekter. Da produksjonskontrollaktiviteter stort sett er like, uavhengig av hvilken arbeidsoperasjon de er

tilknyttet, er overføringspotensialet til de nevnte forbedringene stort, både internt i prosjektet og til andre prosjekter. Da forbedringene også baserte seg på standardisering og håndfaste, visuelle verktøy økte overføringspotensialet, da det ble lettere å overføre kunnskapen til nye personer.

Hvilke kvalitative forbedringer kan tilføres montasjen?

Etter observasjonsfasen for den opprinnelige tilstanden ble det tydelig at det største potensialet var knyttet til produksjonskontroll, og dette forskningsspørsmålet fikk derfor mindre fokus enn planlagt. Denne beslutningen er i tråd med litteraturen, som anbefaler å stabilisere produksjonssystemet før lokale forbedringer tilføres.

Under operasjonsanalysen ble det tydelig at arbeidsoperasjonens interne steg hadde relativt lite forbedringspotensial, og de foreslåtte forbedringene for produksjonen fokuserte derfor utelukkende på flytaktiviteter knyttet til operasjonen. Dette omfattet hovedsakelig logistikkhåndteringen på byggeplassen, og tiltak ble også gjort i forbindelse med riggutforming og adkomstvei. Forbedringen som ble gjort på adkomstveien var relativt omfattende, da den krevde maskiner og mannskap for å gjennomføres, men utbyttet rettferdiggjorde høyst sannsynlig denne investeringen.

Da de foreslåtte forbedringene knyttet til produksjonen fokuserte utelukkende på flytaktiviteter, er også disse overførbare til andre operasjoner og andre prosjekter. Effektiv logistikkhåndtering er en viktig del av å sikre god arbeidsflyt, og de foreslåtte forbedringene knyttet til logistikkontroll i produksjonsområdet kombinert med en ny logistikkplan bidro til bedre flyt for den studerte arbeidsoperasjonen. Også øvrige aktørers produksjon ble positivt påvirket, da forbedringene påvirket byggeplassen som helhet.

Hvilke kvantitative resultater leder disse forbedringene til?

Før de kvantitative resultatene diskuteres er det viktig å nevne de mange feilkildene som gjelder for det statistiske materialet. Som nevnt i resultatene ble PPU for revidert tilstand beregnet fra arbeidsoppgavene i Pir-området, mens PPU fra operasjonsanalysen (opprinnelig tilstand) omfattet alle de tre områdene (Pir, Kontor og Sentralbygg). Årsaken var at ukeplantavlen kun ble tatt i bruk for Pir-området, og det var dermed ønskelig å gjenspeile virkninger av ukeplanen gjennom å isolere PPU for revidert tilstand til Pir. Det er imidlertid god sannsynlighet for at PPU fra operasjonsanalysen også gjenspeilet et representativt bilde av den opprinnelige situasjonen i Pir-området, da arbeidet i de ulike områdene ble utført av samme montasjefirma, og planleggingen ble utført av samme personer.

En annen feilkilde å ta hensyn til er utelatelse av restarbeid fra ukeplanen, hvilket ble observert under casestudien. Dersom restarbeid ble utelatt fra de gjennomgåtte ukeplanene vil ikke PPU gjenspeile et korrekt bilde av de faktiske forholdene, da PPU er kalkulert utelukkende på informasjonen fra disse planene.

Den siste aktuelle feilkilden er forbundet med det studerte utvalgets størrelse og påvirkning fra spesielle inntrufne hendelser. Da utvalget kun besto av 57 aktiviteter, var statistikken svært påvirkelig dersom spesielle hendelser førte til forsinkelse for flere aktiviteter. Dette var tilfellet for uke 15, der flere uforutsette problemer i uke 14 førte til at ingen av aktivitetene i uke 15 ble fullført som planlagt. Dette hadde stor påvirkning på statistikken, da denne uken sto for 24,5 % av det totale antallet studerte aktiviteter. Til tross for de nevnte feilkildene er det rimelig å anta

at PPU faktisk sank, da den observerte forskjellen fra opprinnelig til revidert situasjon var såpass stor.

De kvantitative resultatene hentet fra ukeplanene og de kvalitative resultatene rapportert fra prosjektgruppen var tilsynelatende svært motstridende. Gjennomsnittlig PPU for uke 15 til 21 ble kalkulert til 31,6 %, hvilket var nær halvparten av hva som ble registrert før og under gjennomføringen av casestudien (gjennomsnittlig PPU for uke seks til tretten var 63,4 %). Disse tallene viste altså en betydelig reduksjon i PPU, og dermed av påliteligheten i ukeplanen, hvilket var stikk i strid med målsetningen. Som nevnt under de kvalitative resultatene rapporterte prosjektgruppen at baser ble involvert i ukeplanleggingen, og at det ble opplevd en økt treffsikkerhet i aktiviteters varighet og rekkefølge. Nedgang i PPU trenger ikke nødvendigvis å være motstridende til disse oppfatningene, da både varighet og rekkefølge kan ha blitt mer presise, uten at dette medførte økt treffsikkerhet på *når* oppgavene faktisk ble fullført. Det ble imidlertid også rapportert en opplevelse av mer presise leveranser, men dette ser ikke ut til å kunne være tilfellet basert på PPU.

Det faktum at baser ble involvert i ukeplanleggingen virket ikke å ha særlig effekt på påliteligheten i planene, og det kan spekuleres i hvorvidt basene faktisk hadde mulighet til å avslå oppgaver som ikke var klargjorte og hadde nødvendige ressurser. Som nevnt i delkapittel 3.3.3 er muligheten til å avslå oppgaver en viktig faktor for å avgi pålitelige løfter, og dermed for å oppnå pålitelige planer. Under gjennomføringen av casestudien ble det observert et stort fokus på å basere ukeplanaktiviteter på hovedfremdriftsplanen, og dette lot til å ha blitt videreført og forsterket i perioden etter casestudiens slutt. Praksisen å basere ukeplanene på hovedfremdriftsplanen kan relateres til å basere produksjonen på hva som *burde* gjøres, uten å ta hensyn til kapasitet og hva som *kan* gjøres (beskrevet under avsnitt 3.3.2 og vist i Figur 11 på s. 28). Dette er dermed i kontrast til lean-teori og praksis beskrevet under *Pull* i samme avsnitt, og fører til reduksjon i planenes pålitelighet.

Ved å basere ukeplanen utelukkende på hovedfremdriftsplan kan PPU påvirkes kraftig av spesielle hendelser som påvirker flere aktiviteter, da en forskyvning av flere aktiviteter vil forplante seg fra uke til uke (dette ble nevnt ovenfor i forbindelse med uke 15). Til tross for mye restarbeid hentes stadig flere aktiviteter inn i ukeplanen for å tilfredsstille hovedfremdriftsplanen, hvilket fører til mer restarbeid og stadig lavere PPU.

Til tross for en betydelig reduksjon i PPU rapporterte anleggsleder en bedring i arbeidsflyten, hvilket kan oppfattes som en selvmotsigelse. Dette er derimot ikke nødvendigvis sant, til tross for at pålitelighet er en viktig faktor for god arbeidsflyt. Arbeidsflyten på byggeplass kan ha blitt forbedret til tross for nedgang i PPU, da PPU ble beregnet på bakgrunn av hovedfremdriftsplan, og dermed ikke arbeidslagenes reelle kapasitet og de gjeldende forholdene. PPU gjenspeilet derfor påliteligheten til hovedfremdriftsplanen, og ikke til arbeidet som faktisk foregikk på byggeplass. Dersom arbeid ble utført på restarbeid som ikke ble gjenspeilet i ukeplanen (som nevnt var dette ofte tilfellet), kan arbeidsflyten ha vært svært god uten at oppgaver i ukeplanen ble fullført, og dermed reflektert i PPU.

En årsak til at prosjektgruppen ikke klarte å frigjøre ukeplanene fra hovedfremdriftsplanen, og heller basere dem på kapasitet og gjeldende forhold, kan være behovet for å koordinere arbeidet med andre entrepriser som forholdt seg til hovedfremdriftsplanen. I tillegg brukte byggherre (Avinor) denne planen som utgangspunkt for å kontrollere fremdrift, hvilket også bidro til å vanskeliggjøre løsrivelse. Det antas at en slik omfattende endring i planleggingspraksis hadde vært lettere å innføre på et tidligere tidspunkt i prosjektet, helst før byggestart, og dermed sikret fullstendig implementering.

Hvilke muligheter har den aktuelle bedriften for videre forbedringsarbeid etter endt casestudie?

Som nevnt ble de foreslåtte endringene implementert mot slutten av casestudien, og hoveddelen av implementasjonen og testingen av de nye rutineforegikk i regi av prosjektgruppen. Målsetningen med det aktuelle forskningsspørsmålet var å undersøke prosjektgruppens muligheter for å tilføre ytterligere forbedringer utover de forbedringer som ble foreslått som en del av casestudien. Basert på de rapporterte resultatene fra implementasjon viste det seg at enkelte forbedringer hadde blitt utviklet i egen regi, og enkelte av de foreslåtte forbedringene var overført til andre områder.

Et eksempel på overføring av forbedringer til andre områder kom i forbindelse med ukeplantavlen. Den implementerte tavlen utforming var fleksibel, og denne ble valgt for å stimulere fokus på kontinuerlig forbedring i prosjektgruppen, da dette er en svært viktig del av å etablere lean tankegang i prosjekter (*kaizen*). Som nevnt i resultatene vurderte prosjektleder å videreutvikle logistikkplanen til et format lignende ukeplanen på whiteboard, hvilket var tegn på at innføringen av ukeplanen hadde økt prosjektgruppens fokus på å lete etter muligheter for forbedring.

Et annet område der ytterligere forbedringer ble gjort var i selve bruken av ukeplantavlen. Prosjektleder så muligheter knyttet til ukeplantavlens visuelle egenskaper, og tok planen i bruk i enkelte av LABs interne møter og i møter med eksterne aktører uten direkte tilknytning til arbeidet. Denne overføringen av bruksområde var et annet tegn på kontinuerlig forbedring i prosjektet.

I forbindelse med logistikkhåndtering innførte også prosjektgruppen en egen forbedring. Ved å etablere oppstillingsplass for ventende biler unngikk man inntransport av biler som ennå ikke kunne mottas i arbeidsområdet, og på denne måten ble trafikken inne på byggeplassen redusert. Dette bidro til å redusere sjansene for produksjonsavbrudd relatert til koordinering av biler inn på plassen, og var nok et tegn på forbedringsarbeid i egen regi.

Hvorvidt de nevnte momentene om overførte og forbedrete rutiner var et resultat av økt bevissthet på bakgrunn av casestudien er vanskelig å bevise, men holdningene i deler av gruppen ble opplevd som mer innovative og løsningsorienterte i forhold til den opprinnelige situasjonen. Det ble også opplevd en mer åpen holdning overfor endringer og et ønske om mer kunnskap innenfor lean-teori, spesielt fra prosjektleder, hvilket kan være et tegn på at denne typen forbedringsarbeid kan øke motivasjonen for ytterligere forbedringer, øke mottakeligheten for endringer og stimulere til utforskning av Lean Construction. Basert på prosjektleders ønske om videre utvikling ble et dokument med sentrale lean prinsipper for videre forbedring av produksjonssystemet utarbeidet og overlevert ved casestudiens slutt.

I forhold til prosjektgruppens muligheter for å gjenta en operasjonsanalyse av samme omfang som i casestudien i egen regi, er disse mulighetene begrensede. Det ble i denne casestudien klart at det trengtes en uavhengig person med fulltids fokus på analysen, i tillegg til god kjennskap til lean-teori. På tidspunktet da casestudien ble gjennomført hadde ikke prosjektgruppen medlemmer med tilstrekkelig kompetanse eller kapasitet til å kunne utføre en slik omfattende analyse, og det eneste reelle alternativet ville derfor vært å søke eksternt kompetanse.

7. KONKLUSJON

Lean Construction er en produksjonsfilosofi inspirert av konsepter fra Toyotas suksessfulle fabrikkproduksjon, med målsetning om å levere et produkt på kortest mulig tid, mens man underveis minimerer sløsing og maksimerer verdi. Et viktig element i Lean Construction er utforming av produksjonssystemer i byggeprosjekter for økt produksjonskontroll, som er en mangel ved dagens tradisjonelle prosjektmodell. En fullstendig transformasjon til et lean produksjonssystem er imidlertid ressurskrevende og assosiert med store utfordringer, da dette krever omfattende endring i etablerte rutiner og tankesett. En tilnærming til å gjøre prosjektorganisasjoner mer mottakelige for større endringer kan være å starte forbedringsarbeidet på mindre deler av produksjonssystemet, og på denne måten ufarliggjøre den teoretisk tungt forankrede produksjonsfilosofien gjennom praksis og tilvenning.

På bakgrunn av disse faktorene ble følgende problemstilling formulert: «Hvilke forbedringer kan tilføres produksjonskontroll og montasje av hulldekker ved bruk av operasjonsanalyse og Lean Construction-prinsipper?». En operasjonsanalyse med passende verktøy ble beskrevet og gjennomført i en casestudie av hulldekkemontasje på prosjektet T3 Flesland. Analysen resulterte i en rekke forslag til forbedringer forankret i lean-teori, hvorav noen ble fullstendig implementert, og andre delvis. De implementerte forbedringene ble testet, og etter seks uker ble resultater rapportert fra en sammensatt gruppe fra prosjektorganisasjonen.

En målsetning med oppgaven var å innføre forbedringer som kunne innføres som en del av prosjektets rutiner, og dermed standardiseres. Testing og videreutvikling av rutinene kunne deretter føre til en mulighet for overføring til andre prosjekter og resten av LAB Entreprenørs organisasjon.

Casestudiens operasjonsanalyse avdekket dårlig arbeidsflyt, med stadige avbrudd i produksjonen, som igjen førte til fremdriftsproblemer for hulldekkemontasjen (og betongelementmontasjen generelt). I tillegg var påliteligheten til ukeplanene lav, og gjennomsnittlig PPU ble kalkulert til 63,4 %. Problemene ble gjennom nærmere analyse sporet tilbake til stort fokus på prosjektstyring gjennom hovedfremdriftsplan, manglende fokus på produksjonskontroll og svak logistikkplanlegging og -håndtering. Dette er i tråd med Ballard (2000) sin påstand om fravær av overordnet produksjonskontroll i tradisjonelt styrte produksjonssystemer og Koskela (1992) sin påstand om ensrettet fokus på transformasjoner, og dermed ignorering av flytaktiviteter.

På bakgrunn av funnene i observasjonsfasen og med forankring i prinsipper og praksis beskrevet i det teoretiske rammeverket, ble en ny ukeplantavle utarbeidet (whiteboard på 120x250 cm) og nye rutiner for ukeplanlegging og logistikkplanlegging og -håndtering foreslått. Disse endringene ble helt eller delvis implementert, og omfattet i grove trekk økt samarbeid ved planlegging, økt fokus på klargjøring av arbeid og innføring av en logistikkplan.

De kvalitative resultatene rapportert fra prosjektgruppen tydet på en positiv utvikling i prosjektet, både med hensyn på transparens, arbeidsflyt og logistikkavvikling. De kvantitative resultatene vitnet derimot om en negativ utvikling i forbindelse med planpålitelighet, og PPU sank fra 63,4 til 31,6 % på åtte uker. Til tross for at arbeidsflyt og planpålitelighet har en viss relasjon, er ikke de kvalitative og kvantitative resultatene direkte motstridende. Da ukeplanene var basert nesten utelukkende på hovedfremdriftsplanen, reflekterte PPU påliteligheten til nettopp denne, og *ikke* arbeidet som faktisk ble utført på byggeplassen. På bakgrunn av denne observasjonen er det tydelig at det ved sporing av PPU er viktig å være klar over hva som faktisk måles, og at PPU ikke nødvendigvis gir et korrekt bilde av arbeidsflyt og produktivitet.

Det er også tydelig at endringer relatert til planleggingsrutiner og innføring av produksjonskontroll bør komme på et så tidlig tidspunkt som mulig, da det er svært vanskelig å påvirke disse underveis i prosjektet. Resultatene tyder på at mindre endringer relatert til logistikkplanlegging og –håndtering kan lede til gode resultater, og at forbedringer for å oppnå produksjonskontroll er langt mer omfattende. Da tiltak for økt produksjonskontroll baserer seg på en samling av prinsipper og teknikker/verktøy som må fungere i symbiose, er det sannsynligvis bedre muligheter for suksess gjennom fullstendig implementering av eksempelvis Last Planner-systemet. Det later til å være betydelig større motstand assosiert med implementering av lokale/isolerte forbedringer i forbindelse med produksjonskontroll enn med logistikk og produksjon, hvilket også stemmer overens med litteraturen.

En annen slutning som kan dras fra utarbeidelsen av forslag til forbedringer var at tiltak relatert til logistikk og produksjon kunne komme fra prosjektdeltakerne selv, og at det krevdes lav grad av forberedelse av slike forslag. I prosjektmøtet for logistikk og produksjonsforbedring ble kun analyse materialet fra operasjonsanalysen (mannskapsdiagram, flytdiagram/prosessdiagram, avbruddskartlegging og prosesskart) lagt frem, og dette dannet grunnlaget for de fleste forbedringene på dette området. I forbindelse med produksjonskontroll krevdes derimot langt mer forarbeid av studenten, og før prosjektmøtet var et nesten komplett ukeplansystem utarbeidet som grunnlag for diskusjon. Årsaken var behovet for kjennskap til lean-teori for å kunne foreslå endringer på dette området. Større involvering fra studenten i forbindelse med utforming av sistnevnte forbedringer kan også ha bidratt til den økte motstanden mot endring i forhold til forslagene som kom fra prosjektdeltakerne selv.

I forbindelse med oppgavens problemstilling er konklusjonen for forbedringer av produksjon at flytaktiviteter for hulldekkemontasje kan forbedres gjennom bruk av operasjonsanalyse og Lean Construction-prinsipper. Slike forbedringer kan også sannsynligvis oppnås for arbeidsoperasjoner generelt, da flytaktiviteter ofte er relativt like fra operasjon til operasjon og fra prosjekt til prosjekt.

Som konklusjon i forbindelse med produksjonskontroll kan visse kvalitative forbedringer oppnås, som økt transparens og økt samhandling. Det er imidlertid knyttet langt større utfordringer til endring av produksjonskontrollprosesser enn til endring av produksjonsprosesser. For å oppnå en betydelig økning i produksjonskontroll vil det være mer hensiktsmessig med utforming og innføring av endringer i kontrollerte omgivelser før prosjektet starter. Denne casestudien har vist at operasjonsanalyser er velegnet for å tilføre forbedringer til etablerte rutiner og gjøre mindre endringer, men er i forbindelse med utforming av nye rutiner og mer omfattende endringer ikke alltid egnet. Dersom produksjonssystemet hadde blitt utformet for økt produksjonskontroll før byggestart, kunne eksempelvis operasjonsanalyse blitt brukt for å forbedre de allerede etablerte rutinene. Hvorvidt resultatene av implementasjon av slike endringer lar seg kvantifisere er avhengig av korrekt grunnlag for kalkulering av PPU.

8. VIDERE ARBEID

Implementasjonen av forbedringer i denne casestudien var delt i to kategorier: produksjonsrelaterte og produksjonskontrollrelaterte. Dette todelte fokuset førte til redusert tidsbruk for hver av kategoriene, og dermed potensielt lavere utbytte. Ved å fokusere utelukkende på én av kategoriene kunne man potensielt oppnådd grundigere og mer omfattende endringer, og dette kan være et område for videre studier.

I forbindelse med tiltak for økt produksjonskontroll ble resultatene trolig preget av flere faktorer, deriblant sen involvering i prosjektet og fremdriftsproblemer for den studerte operasjonen. Det ville vært interessant å undersøke resultatene av tidligere involvering i et prosjekt uten fremdriftsproblemer, der mer tid og fokus kunne blitt viet til operasjonsanalysen. Dersom endringene hadde blitt foreslått på et tidligere tidspunkt i prosjektet, helst før byggestart, kunne man trolig oppnådd mer omfattende endringer med et mer komplett og helhetlig fokus.

Et annet område for videre studie er bedre kvantifisering av resultater gjennom innføring av rutiner for PPU-måling på korrekt grunnlag, da resultatene i denne studien hadde forholdsvis lav grad av relevans i forhold til de implementerte forbedringene.

9. REFERANSELISTE

- Alves, T. D. C. L. (2012). *Project Production Systems Design (Presentasjon)*. San Diego State University.
- Alves, T. D. C. L., De Barros Neto, J. P., Heineck, L. F. M., Kemmer, S. L. og Pereira, P. E. (2009). 'Incentives and innovation to sustain lean construction implementation'. *17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC17, July 13, 2009 - July 19, 2009*. s. 583-592.
- Arbulu, R. og Zabelle, T. (2006). 'Implementing Lean in construction: How to succeed'. *Proceedings International Group for Lean Construction (IGLC)-14, (Santiago, Chile)*. s. 553-565.
- Ballard, G. (1999). 'Improving work flow reliability', i (red.) *Proceedings of the 7th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*: s. 275-286.
- Ballard, G. (2000). *The last planner system of production control*. Avhandling, The University of Birmingham.
- Ballard, G. (2012). 'Should Project budgets be based on worth or cost', i (red.) *Proceeding of the 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, San Diego, CA*: s. 761-770.
- Ballard, G. og Arbulu, R. (2004). 'Making prefabrication lean', i (red.) *Proc. 12th Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Constr.*: s. 3-5.
- Ballard, G. og Howell, G. (1998). 'Shielding Production: Essential Step in Production Control'. *Journal of Construction Engineering and Management*. 124 (1), s. 11-17.
- Ballard, G. og Howell, G. (2012). 'Introduction to lean construction', i (red.) *Lean Construction in Public Sector Conference, Tampere, 10 September*: s.
- Ballard, G. og Howell, G. A. (2003). 'An update on last planner', i (red.) *Proc., 11th Annual Conf., International Group for Lean Construction, Blacksburg, VA*: s.
- Ballard, G., Kim, Y., Jang, J. og Liu, M. (2007). 'Roadmap for lean implementation at the project level'. *The Construction Industry Institute*. s.
- Ballard, G., Koskela, L., Howell, G. og Zabelle, T. (2001). 'Production system design in construction', i (red.) *Proceedings of the 9th annual conference of the International Group for Lean Construction*: Citeseer, s.
- Berg, B. L., Lune, H. og Lune, H. (2004). *Qualitative research methods for the social sciences*. 5. utg.: Pearson Boston, MA.
- Bertelsen, S. (2004). 'Lean Construction: Where are we and how to proceed'. *Lean Construction Journal*. 1 (1), s. 46-69.
- Björnfot, A. og Sardén, Y. (2006). 'Prefabrication: a lean strategy for value generation in construction', i (red.) *Proceedings of the 14th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Santiago de Chile*: s.
- Crnkovic, G. D. (2010). Constructive research and info-computational knowledge generation *Model-Based Reasoning in Science and Technology* (pp. 359-380): Springer.
- Damelio, R. (2011). *The basics of process mapping*. utg.: CRC Press.
- Diekmann, J. E. K., Mark; Balonick, Joshua; Stewart, Travis; Won, Spencer. (2004). Application of lean manufacturing principles to construction. The Construction Industry Insitute: The University of Texas Austin.
- Direktoratet for byggkvalitet. (2015). Høringsnotat Nye energikrav til bygg.
- Drevland, F. (2012). 'Prosjekteringsprosessen som et produksjonsmiddel (Presentasjon)'. *Trondheim, Norge: NTNU*. s.
- Dunlop, P. og Smith, S. D. (2004). 'Planning, estimation and productivity in the lean concrete pour'. *Engineering, Construction and Architectural Management*. 11 (1), s. 55-64.

- Eikeland, P. T. (2001). *Teoretisk analyse av byggeprosesser*. utg. Energi- og miljøkomiteen. (2012). Innstilling fra energi- og miljøkomiteen om norsk klimapolitikk, Innst. 390 S.
- Fauchier, D. (2013). 'Last Planner System (Presentasjon)'. s.
- Fauchier, D. og Alves, T. D. C. L. (2013). 'Last Planner system is the gateway to lean behaviors', i (red.) *21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction 2013, IGLC 2013, July 29, 2013 - August 2, 2013*. Fortaleza, Brazil: The International Group for Lean Construction, s. 496-505.
- Formoso, C. T., Santos, A. D. og Powell, J. A. (2002). 'An exploratory study on the applicability of process transparency in construction sites'. *Journal of construction Research*. 3 (01), s. 35-54.
- Gunnarsson, R. (2002, 17/4). *Validitet och reliabilitet*. Tilgjengelig fra: <http://infovoice.se/fou/bok/10000035.shtml> [Hentet: 10.04.2015]
- Halpin, D. W. (1992). *Planning and analysis of construction operations*. utg.: John Wiley & Sons.
- Hamzeh, F. og Bergstrom, E. (2010). 'The Lean Transformation: A Framework for Successful Implementation of the Last Planner TM System in Construction', i (red.) *International Proceedings of the 46th Annual Conference. Associated Schools of Construction*: s.
- Hamzeh, F. R. (2009). *Improving construction workflow-The role of production planning and control*. Avhandling, University of California, Berkeley.
- Hopp, W. og Spearman, M. (2000). 'Factory physics'. *International edition. McGraw Hill*. s.
- Howell, G. og Ballard, G. (1998). 'Implementing lean construction: understanding and action', i (red.) *Proc. 6 th Ann. Conf. Intl. Group for Lean Constr*: s.
- Howell, G. A. (1999). 'What is lean construction-1999', i (red.) *Proceedings IGLC*: Citeseer, s. 1.
- Ingvaldsen, T. og Edvardsen, D. F. (2007). 'Effektivitetsanalyse av byggeprosjekter'. *Måle-og analysemetode basert på referansetesting av*. 122 s. 2000-2005.
- Jones, S. R. (1992). 'Was there a Hawthorne effect?'. *American Journal of Sociology*. s. 451-468.
- Jong, M. og Schellens, P. J. (2000). 'Toward a document evaluation methodology: What does research tell us about the validity and reliability of evaluation methods?'. *IEEE Transactions on professional communication*. 43 (3), s. 242-260.
- Josephson, P.-E. og Saukkoriipi, L. (2007). Waste in construction projects: Call for a new approach: Chalmers University of Technology.
- Kaizen Insitute - India (2013). *Change requires a sustained process*. Tilgjengelig fra: <https://kaizeninstituteindia.wordpress.com/2013/08/> [Hentet: 07.05.2015]
- Kalsaas, B. T. (2010). 'Work-time waste in construction', i (red.) *Proceedings of the 18th Annual Conference of the IGLC, Technion, Haifa, Israel*: s.
- Kalsaas, B. T., Skaar, J. og Thorstensen, R. T. (2010). *System og resultater fra utprøving av planleggingsmetoden "Last Planner" (Lean Construction) på Havlimyra oppvekstsenter i Kristiansand kommune*. Tilgjengelig fra: <http://www.byggekostnader.no/getfile.php/Filer/PDF%27er%20fra%20prosjekter/Byggkost%20LEAN%20sluttrapport%20UiA-Skanska-%20endelig.pdf> [Hentet: 28.04.2015]
- Kasanen, E. og Lukka, K. (1993). 'The constructive approach in management accounting research'. *Journal of management accounting research*. (5), s. 243-264.
- Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction*. utg.: Stanford University (Technical Report No. 72, Center for Integrated Facility Engineering, Department of Civil Engineering). Stanford, CA.

- Koskela, L. (2000). *An exploration towards a production theory and its application to construction*. utg.: VTT Technical Research Centre of Finland.
- Koskela, L. (2004a). 'Moving on-beyond lean thinking'. *Lean Construction Journal*. 1 (1), s. 24-37.
- Koskela, L., Ballard, G., Howell, G. og Tommelein, I. (2002). 'The foundations of lean construction'. s.
- Koskela, L. J. (2004b). 'Making do-the eighth category of waste', i (red.) *Proceedings of the 12th annual conference of the International Group for Lean Construction*: s.
- Kothari, C. R. (2004). *Research methodology: methods and techniques*. utg.: New Age International.
- Larson, A. (2003). *Demystifying Six Sigma: a company-wide approach to continuous improvement*. utg.: AMACOM Div American Mgmt Assn.
- Lean-Master (2013). *SDCA before you PDCA*. Tilgjengelig fra: <http://lean-master.com/1/post/2013/08/sdca-before-you-pdca.html> [Hentet: 08.05.2015]
- Lean Construction Institute (2014). *LCI Lean Project Delivery Glossary*. Tilgjengelig fra: <http://www.leanconstruction.org/training/glossary/> [Hentet: 12.05.2015]
- Liker, J. K. og Morgan, J. M. (2006). 'The Toyota way in services: the case of lean product development'. *The Academy of Management Perspectives*. 20 (2), s. 5-20.
- Liu, M., Ballard, G. og Ibbs, W. (2010). 'Work flow variation and labor productivity: case study'. *Journal of Management in Engineering*. 27 (4), s. 236-242.
- Lukka, K. (2003). 'The constructive research approach'. *Case study research in logistics. Publications of the Turku School of Economics and Business Administration, Series B*. 1 (2003), s. 83-101.
- Luo, Y., Riley, D. R. og Horman, M. J. (2005). 'Lean principles for pre-fabrication in green design-build (GDB) projects'. s.
- Macomber, H., Howell P.e, G. A. og Reed, D. (2005). 'Managing promises with the last planner system: Closing in on uninterrupted flow', i (red.) *13th International Group for Lean Construction Conference, IGLC 13, July 19, 2005 - July 21, 2005*. Sydney, NSW, Australia: The International Group for Lean Construction, s. 13-18.
- Marchwinski, C. og Shook, J. (2003). *Lean lexicon: a graphical glossary for lean thinkers*. utg.: Lean Enterprise Institute.
- McGill, M. E. og Slocum, J. W. (1993). 'Unlearning the organization'. *Organizational Dynamics*. 22 (2), s. 67-79.
- Middleton, P. og Sutton, J. (2005). *Lean software strategies: proven techniques for managers and developers*. utg.: Productivity Press.
- Miles, L. (1962). 'VALUE ANALYSIS AND ENGINEERING'. s.
- Moody, D. (2002). *Empirical Research Methods*. Tilgjengelig fra: <http://folk.uio.no/patrickr/refdoc/methods.pdf> [Hentet: 15.04.2015]
- Moore, R. (2011). *Selecting the right manufacturing improvement tools: what tool? when?* utg.: Butterworth-Heinemann.
- Moser, L. og Dos Santos, A. (2003). 'Exploring the role of visual controls on mobile cell manufacturing: a case study on drywall technology', i (red.) *Proceeding International Group for Lean Construction 11th Annual Conference (IGLC-11), IGLC, Blacksburg*: Engineering and Management Press, s. 11-23.
- Mulenburg, G. (2008). 'Rainbows & Ratholes: Best Practices for Managing Successful Projects by Dhanu Kothari'. *Journal of Product Innovation Management*. 25 (2), s. 207-209.
- Nordic - Office of Architecture. *Bergen Lufthavn Flesland - Slik blir det*. Tilgjengelig fra: <https://avinor.no/konsern/flyplass/bergen/utbygging/slik-blir-det/#!illustrasjoner-8649> [Hentet: 13.03.2015]

- Oglesby, C. H., Parker, H. W. og Howell, G. A. (1989). *Productivity improvement in construction*. utg.: Mcgraw-Hill College.
- Pontoppidan, M. (2013). *Spørgeskemaer og psykologiske test*. Tilgjengelig fra: <http://www.slideshare.net/SFI-slides/sprgeskemaer-og-psykologiske-test> [Hentet: 17.04.2015]
- Rooney, J. J. og Heuvel, L. N. V. (2004). 'Root cause analysis for beginners'. *Quality progress*. 37 (7), s. 45-56.
- Salem, O., Solomon, J., Genaidy, A. og Luegring, M. (2005). 'Site implementation and assessment of lean construction techniques'. *Lean Construction Journal*. 2 (2), s. 1-21.
- Salem, O., Solomon, J., Genaidy, A. og Minkarah, I. (2006). 'Lean construction: From theory to implementation'. *Journal of Management in Engineering*. 22 (4), s. 168-175.
- Samudio, M., Alves, T. og Chambers, D. (2011). 'Employing the principle of “going and seeing” to construction'. *Lean Construction 2011*. s.
- Schonberger, R. (1986). *World class manufacturing: the lessons of simplicity applied*: Free Press: New York, NY.
- Shaughnessy, J. og Zechmeister, E. (1990). 'Research Methods in Psychology'. *New York*. s.
- Shimbu, N. K. (1988). *Poka-yoke: Improving product quality by preventing defects*. utg. Factory Magazine: Productivity Press.
- Simboli, A., Taddeo, R. og Morgante, A. (2014). 'Value and Wastes in Manufacturing. An Overview and a New Perspective Based on Eco-Efficiency'. *Administrative Sciences*. 4 (3), s. 173-191.
- Thomas, H. R., Horman, M. J., Minchin Jr, R. E. og Chen, D. (2003). 'Improving labor flow reliability for better productivity as lean construction principle'. *Journal of Construction Engineering and Management*. 129 (3), s. 251-261.
- Thune-Holm, E. C. og Johansen, K. (2006). *Produktivitetsmålinger i Skanska*. Intern Rapport Skanska, Oslo.
- VIKO (2014). *Evaluating information*. Tilgjengelig fra: <http://www.ntnu.no/viko/english/evaluating> [Hentet: 12.11.2014]
- Wenger, E. C. og Snyder, W. M. (2000). 'Communities of practice: The organizational frontier'. *Harvard business review*. 78 (1), s. 139-146.
- Womack, J. P. og Jones, D. T. (2010). *Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation*. utg.: Simon and Schuster.
- Yin, R. K. (2013). *Case study research: Design and methods*. utg.: Sage publications.
- Østby-Deglum, E., Svalestuen, F. og Drevland, F. (2013). TBA4127/AAR4951 Prosjekteringsledelse.

VEDLEGG A: LEAN ORDLISTE

Den følgende ordlisten er utarbeidet på bakgrunn av Marchwinski & Shook (2003) og ordboken fra Lean Construction Institute (2014).

Norsk begrep	Internasjonalt begrep	Forklaring
5S	5S	Fem faktorer for å organisere arbeidsplassen og fremme transparente prosesser: <i>sortere, systematisere, skinne, standardisere og sikre</i>
Arbeidsoperasjon	Operation	Arbeid utført av en produksjonsenhet, består av flere aktiviteter. Omfatter som regel transformasjon av materialer/ressurser til et ferdig eller delvis ferdig produkt
Buffer	Buffer	Ekstra kapasitet, tid (slakk), inventar (lagrede materialer) eller penger som beskyttelse mot usikkerhet
Flyt	Flow	Alt som foregår mellom transformasjoner, som bevegelse av materialer, mannskap, informasjon etc. Omfatter ikke-verdiskapende og støttende aktiviteter
Flytdiagram	Flow diagram	Grafisk fremstilling av arbeidsområdet for å synliggjøre arbeidsflyt
Førstegangsstudier	First run studies	Grundig planlegging, analyse og forbedring av kritiske/gjentakende arbeidsoperasjoner for å spare ressurser under gjentakende gjennomføring
Inventar	Inventory	Kommer i form av pågående arbeid (work in process), lagrede materialer og lagrede ferdigstilte produkter
Kontinuerlig forbedring	Continuous improvement/kaizen	Kontinuerlig søken etter forbedringer på jakt etter leanidealet
Kvalitetsoppgaver	Quality assignments	Oppgaver som tilfredsstill kriteriene for definisjon, sunnhet, sekvens og størrelse

Last Planner-systemet	Last Planner System	Planleggingssystem for økt produksjonskontroll basert på pull-produksjon og involvering av baser/formenn i planlegging
Lean Construction/ Trimmet bygging/ Involverende planlegging	Lean Construction	Lean produksjonsfilosofi anvendt i byggenæringen
Lean produksjon	Lean production	Lean-teori anvendt i produksjonssystemer generelt
Mannskapsdiagram	Crew balance chart	Fremstiller tidsbruken til et arbeidslag som utfører arbeid fordelt i kategorier (eks. <i>produktivt arbeid, støttende arbeid og venting</i>)
PUKK: planlegg, utfør, kontroller, korriger	PDCA: plan, do, check, act	Metodisk fremgangsmåte for planlegging, gjennomføring, analysering og forbedring av utvalgte operasjoner. Kan gjennomføres i flere sykluser
Pågående arbeid	Work in process/WIP	Arbeid som er påbegynt, men ikke ferdigstilt
	Poka-yoke	Feilsikker innretning som skal varsle arbeideren når en feil er i ferd med å begås
PPU: prosent av planer utført	PPC: percent of plans/promises completed	Mål på hvor mange av de planlagte aktivitetene i ukeplanen som er fullført ved ukeslutt
Produksjonsskjede	Production chain	Rekke av produksjonsenheter som utfører arbeid på et produkt som sendes nedover kjeden
Produksjonsskjerming	Shielding production	Skjerming av produksjon fra usikkerhet ved å innføre kvalitetskrav (se <i>Kvalitetsoppgaver</i>)
Produksjonssystem	Production system	System som omfatter alle prosesser involvert i en prosjektleveranse
Prosesskart	Process map	Trinnvis fremstilling av stegene involvert i gjennomføringen av en arbeidsoperasjon

Pull-system	Pull-system	Produksjonssystem som baserer produksjon på behov fra nedstrøms aktiviteter/konkrete etterspørsler og der arbeidet dras nedover produksjonskjeden. Aktiviteter planlegges for å frigjøre nye aktiviteter
Push-system	Push-system	Produksjon baseres på fremdriftsplan og arbeidet <i>skyves</i> gjennom produksjonskjeden
Rotårsak	Root cause	Den grunnleggende årsaken til et problem/problemets kilde.
Rotårsaksanalyse	Root cause analysis	For å finne rotårsaken kan rotårsaksanalyse brukes ved å spørre <i>hvorfor</i> fem ganger, og slik komme til problemets kilde (<i>5Why</i>)
Svømmebanediagram	Swimlane diagram	Grafisk fremstilling av hvordan oppgaver og informasjon beveger seg mellom aktører
Sløsing	Waste	Alle former for ikke-verdiskapende aktiviteter som ikke er nødvendige for gjennomføring av arbeidet. Deles i syv kategorier
TFV-modellen	TFV-model	Produksjonsmodell utviklet av Koskela basert på prinsippene om transformasjon, flyt og verdi
Transformasjon	Transformation	Omdannelse av ressurser og informasjon til et produkt
Variabilitet	Variability	Usikkerhet forbundet med variasjon i ulike prosesser og faktorer

VEDLEGG B: VEILEDNING TIL FELLES UKEPLANLEGGING

Forberedelse

- Før basmøtet må utkast til ukeplan være forberedt av alle deltakere, og baser må gi innspill til planen
- Ukeplaner må oversendes LAB dagen før møtet
- Alle må kontrollere de faktiske forholdene/status på sitt arbeid på byggeplass slik at all informasjon er klar til møtet
- Aktiviteter deles inn i områdene Pir, Kontor og Sentralbygg
- Oversiktstegninger på være tilgjengelige (LAB)
- Logistikkplanen må være tilgjengelig (LAB)
- Klistrelapper, tusjer og annet nødvendig utstyr må være klargjort (LAB)

Utarbeidelse

- LAB forbereder ukeplanen dagen før møtet
- Aktiviteter skrives på planen med utgangspunkt i de tilsendte ukeplanene fra stålleverandør og betongelementleverandør
- Klistrelapper plasseres på de aktuelle dagene med aktørenes respektive farger

Gjennomgang

- Ukeplanen gjennomgås i samarbeid mellom LAB, betongelementleverandør og stålleverandør i basmøtet, og alle må være tilstede
- Restarbeid fra inneværende uke føres opp på planen og eventuelle konsekvenser/endringer diskuteres
- Hensikten med gjennomgangen er å fange opp all informasjon som utveksles i basmøtet (lovnader, presiseringer, endringer etc.)
- Aktiviteter som krever umiddelbart tilsyn eller som kan bli et potensielt problem kan markeres med rød lapp
- Kritiske avhengigheter må identifiseres og markeres på tavlen, eksempelvis med piler
- Forberedelsesaktiviteter kan plasseres ut der forberedelser er kritiske for fremdriften
- Annen relevant informasjon kan føres på. Ukeplanen er en god plattform for videre utvikling og kreative ideer
- Planen fotograferes som dokumentasjon på slutten av møtet, og distribueres til alle (LAB). Det anbefales også at alle tar egne bilder av planen

Oppdatering

- Ukeplanen oppdateres løpende, men helst i fellesskap ved avtalte tidspunkter
- Dersom lapper flyttes uten alle deltakerne tilstede må disse varsles, ellers vil planen miste mye av sin funksjon og integritet. Husk at man ikke kan flytte andres lapper! Direkte berørte av endringer må altså være tilstede.
- Oppdateringsmøter bør ha kort varighet (10 min, gjennomføres helst stående) slik at deltakerne ikke vegrer seg for å møte opp. Eneste fokus er å oppdatere planen for endringer som har oppstått og håndtere kritiske saker som dukker opp
- Når ukeplanen oppdateres og lapper flyttes/aktiviteter endres skal dette markeres på planen (eksempelvis en pil fra opprinnelig til oppdatert dag) slik at endringer synliggjøres og kan gjennomgås
- Fullførte aktiviteter krysses over med én strek. Planen dokumenteres med bilde etter hver oppdatering