

# Forbedring av arbeid på byggeplass ved operasjonsanalyse og Lean Construction

**Roar Fosse**

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: juni 2014

Hovedveileder: Frode Olav Drevland, BAT

Medveileder: John Skaar, Skanska Norge  
Amund Bruland, BAT

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





NORGES TEKNISK- NATURVITENSKAPELIGE UNIVERSITET

INSTITUTT FOR BYGG, ANLEGG OG TRANSPORT

Oppgavens tittel: <b>Forbedring av arbeid på byggeplass ved operasjonsanalyse og Lean Construction</b>	Dato: <b>6. juni, 2014</b>
	Antall sider (inkl. bilag): <b>123</b>
	<b>TBA 4910 Prosjektledelse Masteroppgave</b>
Navn: <b>Roar Fosse</b>	
Faglærer/veileder: <b>Frode Drevland</b>	
Eventuelle eksterne faglige kontakter/veiledere: <b>John Skaar, Skanska Norge AS</b>	

**Ekstrakt:**

Byggebransjen har stort forbedringspotensial på flere viktige områder, blant annet produktivitet, kvalitet, læring av feil og andelen tid som brukes til verdiskapende arbeid. Disse forholdene kan knyttes til gjennomføringsmodellen og den grunnleggende tenke- og væremåten i prosjektene.

Lean Construction, byggebransjens svar på Lean Production er en alternativ tilnærming til byggeprosjekter og har sitt opphav fra Toyota. For å overleve i en presset japansk bilbransje på midten av 1900-tallet skapte Toyota et svært suksessfullt produksjonssystem nesten fritt for sløsing (lean er slank på norsk). Lean var likevel ikke et sett med regler, men en dyptgripende tenke- og væremåte; en filosofi. Man har lenge ønsket å få liknende effektivitet som Toyota i byggsammenheng, men å implementere Lean har vist seg å være tid- og ressurskrevende grunnet en konservativ bransje.

Denne masteroppgaven undersøker i hvor stor grad arbeidsoperasjoner kan forbedres med operasjonsanalyse og tiltak basert på Lean-Construction-prinsipper. I en case studie implementeres Lean Construction kun på én operasjon (ett arbeidslags arbeid), som analyseres med analyseverktøy og mulige forbedringer foreslås av fagarbeiderne i laget. Forslag med rot i Lean Construction-teori inkluderes i en revidert utgave av operasjonen som testes i case studiens siste uke.

Tidsbruken ble redusert med 47,4% fra 71,25 til 37,5 timer og kostnadene med 20% fra 150 til 120 timeverk per produserte etasje. I tillegg ble akkordbeløpet redusert ved å fjerne unødvendige oppgaver og bevegelser. Fagarbeiderne vil likevel tjene mer siden de produserer mer per tidsenhet enn opprinnelig. Noe kvalitative forbedringer var bedre ergonomi, jevnere fremdrift på de enkelte oppgaver og mer klarhet i forhold til andre fag ved fysisk visualisering av arbeidsområde.

Opgavens hensikt er at fremgangsmåten fra case studien skal inngå i Skanskas standardiseringsarbeid. Man vil bruke kartleggingen fra analysene av den standardiserte operasjonen som basis for samarbeid mellom arbeidslag ved andre prosjekter og regioner for å etablere en god felles praksis og deretter bruke hverandres kompetanse til å stadig forbedre denne standard praksisen.

**Stikkord:**

1. Lean Construction
2. TFV-modellen
3. Operasjonsanalyse



## FORORD

Denne masteroppgaven er det avsluttende arbeidet ved masterstudiet Bygg- og miljøteknikk ved NTNU. Oppgaven er skrevet for Skanska Norge etter forespørsel fra deres Lean Construction-avdeling og ser på hvordan operasjonsanalyse og Lean Construction-prinsipper kan brukes for å forbedre en arbeidsoperasjon. Et viktig aspekt ved det empiriske forskningsarbeidet var organisasjonskultur og mulig motstand mot både analyser og endring, og implementering generelt er derfor også naturlig tematikk for oppgaven.

Fremgangsmåten som brukes i den empiriske case studien er første trinn i å standardisere operasjoner med høy produktivitet. Lean Construction-avdelingen i Skanska Norge er i stadig utvikling, og denne oppgavens hensikt er å bidra til å skape bevissthet om Lean Constructions plass i det pågående arbeidet med å forbedre og standardisere arbeidsoperasjoner.

Jeg vil takke mine rådgivere for særdeles god oppfølging. Frode Drevland ved NTNU har bidratt med konstruktiv problemløsning og god dialog, samt vært medforfatter på et vitenskapelig paper til IGLC22 basert på forskningen i denne masteroppgaven. Amund Bruland har hjulpet med gode refleksjoner omkring resultatene fra operasjonsanalysene.

Flere personer må anerkjennes som viktige for å få til case studien i denne masteroppgaven. Prosjektleder for Trimmet Bygging i Skanska, John Skaar, har bidratt både med solid kunnskap om den bakenforliggende teorien, samt å stille nødvendige ressurser til disposisjon i Skanska. Per Ivar Mathiassen, prosjektsjef i Skanska Rogaland skal også ha takk for god tilrettelegging. Even Kvan Frøland og Odd Knutsen fra prosjektadministrasjonen ved Indre Vågen Atrium var svært hjelpelige og gode ressurspersoner på byggeplassen. Også arbeidslaget som ble studert takkes for deres imøtekommenhet og positive innstilling.

Dr. Thais Alves ved San Diego State University må anerkjennes som personen som introduserte meg for Lean Construction. Hun har en enorm teoretisk kompetanse, en eksepsjonell formidlingsevne og relevant erfaring fra bransjen. Både da jeg var student ved SDSU og i etterkant har hun vært en særdeles viktig støttespiller med høy tilgjengelighet.

Roar Fosse

Trondheim,

6. juni 2014



## SAMMENDRAG

Flere studier har vist at det finnes et stort forbedringspotensial i dagens byggebransje på en rekke viktige områder. Det antydes at den nåværende tilnærmingen til byggeprosjekter i for stor grad medfører upålitelig planlegging, lite produksjonskontroll, lav produktivitet, mye sløsing og lite helhetstenkning av aktørene.

Lean Construction er byggebransjens svar på Lean (ofte kalt Lean Manufacturing), som stammer fra Toyotas suksessfulle produksjonsfilosofi. Lean retter seg mot å redusere sløsing, øke produktiviteten og å optimalisere produksjonssystemet. Men i en konservative byggebransje kan det være kan både være tid- og ressurskrevende å skape endring fra tradisjonell prosjekttilnærming til Lean. Det kan derfor være nyttig å starte med deler av systemet, gjerne én enkelt produksjonsenhet, for å ufarliggjøre filosofien og forhåpentligvis skape positive, overbevisende resultater.

Denne masteroppgaven undersøker effekten av Lean Construction på én enkelt operasjon, gjennom en case studie på Indre Vågen Atrium, et prosjekt av Skanska Norge. Et arbeidslags arbeidsoperasjon; produksjon av innervegger, ble analysert med velkjente verktøy, og utfra resultatene ble endringer foreslått av fag-arbeiderne i laget. Forslag i tråd med Lean Construction ble inkludert i en revidert utgave av operasjonen som ble gjennomført og analysert i case studiens siste uke.

Masteroppgaven omhandler derfor en redusert implementering og har problemstillingen: "I hvor stor grad kan arbeidsoperasjoner forbedres med operasjonsanalyse og tiltak basert på Lean Construction-prinsipper?" Det er utviklet fire forskningsspørsmål til å støtte opp om problemstillingen: Hvilke kvantitative og kvalitative resultater som kan forventes, hvilke insentiver entreprenøren har for denne type forbedringsarbeid, hvilke typer arbeidsoperasjoner forbedringsarbeidet er egner seg til og hvilke utfordringer som finnes ved denne type forbedringsarbeid.

Standardisering av prosesser var sentralt i å gjøre Toyotas produksjon pålitelig, og case studiens hensikt er å etablere en velfungerende praksis av operasjonen som den standardiserte måten å jobbe på. Dette er utgangspunkt for den repetitive, iterative standardiseringsprosessen SDCA (standardize-do-check-act). Man bør ifølge Moore (2011) starte på *D* i prosessen, med å gjennomføre den nåværende måten å gjøre arbeidet på og analysere for å etablere en god praksis som operasjonens standard. Praksis bør diskuteres på tvers av både prosjektet og regioner i entreprenøren for å lære av hverandre og finne en *felles* standard praksis.

Operasjonen ved case studien ble merkbart forbedret fra opprinnelig til revidert tilstand. Tiden for å produsere én etasje ble redusert med 47,4% fra 71,25 til 37,5 timer og timeverkene redusert med 20% fra 150 til 120. Produktiviteten økte med hensyn på ressurser fra 5,12 til 6,41 kvadratmeter vegg produsert per timeverk, og med hensyn på tid fra 10,79 til 20,50 kvadratmeter vegg produsert per time. Akkordbeløpet per etasje, en kostnad for entreprenøren overfor arbeiderne, ble redusert ved eliminering av unødvendige oppgaver og bevegelser. Denne var dessverre langt vanskeligere å kvantifisere, grunnet hvordan en forskjell i hvordan

akkorden angis og operasjonens avgrensning. Også en del kvalitative effekter ble oppnådd, som bedre ergonomi, jevnere produksjon og mer klarhet mot andre fag ved visualisering av arbeidsområde. Både entreprenørens sentraladministrasjon, administrasjonen på byggeplass og fagarbeiderne har interesse av forbedringene, da de alle tjener penger og har en mer pålitelig produksjon å forholde seg til.

Koskelas (1992) TFV-modell ser på produksjon med hensyn på transformasjon, flyt og verdi. Man har ifølge Koskela (1992) tradisjonelt fokusert på transformasjon og det finnes derfor mest forbedringspotensial relatert til flyt. Dette samsvarer godt med operasjonsanalysene ved case studien. Det ble identifisert lite transformasjonsrelatert forbedringspotensial. Flere forbedringer ble derimot gjort med hensyn på flyt av materialer, mannskap og oppgaver gjennom produksjonsprosessen. Spesielt endringene i materialsystemet bidro til gode resultater i forbedringsarbeidet.

Forståelsen av verdi, det tredje elementet i TFV-modellen, var også sentralt i case studien. Spesielt utpekte kappingen av stålstenderne seg i så måte. Disse ble først kappet av leverandøren med cirka 5cm ekstramargin i forhold til takhøyden, og deretter kappet igjen av arbeidslaget på byggeplass. Kelly et al. (2008) definerer verdi av et arbeid som hvor mye funksjon det tilfører produktet delt på kostnaden av arbeidet. Funksjonen av begge kappingene kunne oppnås allerede ved den første, hvilket eliminerer kostnaden av den andre kappingen, og dermed øker verdien.

Konklusjonen for masteroppgaven er at arbeidsoperasjoner på byggeplass kan forbedres betydelig ved operasjonsanalyse og tiltak basert på Lean Construction-prinsipper. Dette er med forbehold om at operasjonen har samme egenskaper som ved case studien: Den har flere lagmedlemmer, kan deles inn i flere deloperasjoner, beveger seg bortover et areal og er repetitiv. Ulike analyseverktøy kan brukes, men må ha ulike perspektiv og fokusområder for å beskrive operasjonen helhetlig.

Man kan forvente raske resultater fra Lean-prinsipper som påvirker operasjonens konfigurasjon fremfor å utfordre fagarbeidernes være- og tenkemåte. Men selv om implementering i én produksjonsenhet er mindre kulturelt utfordrende enn tiltak på høyere nivå (som for eksempel å innføre Last Planner System), fantes utvilsomt skepsis og motstand mot for mye endring og man må ta hensyn til organisatoriske og menneskelige elementer uansett ved implementering av noe nytt.



## ENGLISH SUMMARY

Several studies have shown that there is a severe improvement potential in the contemporary construction industry. It is implied that that the current approach to construction projects is a cause for unreliable planning, little production control, low productivity, much waste and little holistic thinking by project participants.

Lean Construction is construction's equivalent to Lean Procuction (often called Lean Manufacturing), originating from Toyota's successful production philosophy. Lean is aimed reducing waste, improving productivity and optimizing the production system. But in the conservative construction industry, it can be both time- and resource consuming to create the shift from traditional project culture to Lean. It can therefore be useful to start with parts of the system, maybe one production unit, to smoother introduce the philosophy and hopefully get positive, convincing results.

This master thesis investigates the effect of Lean Construction on one single work operation, through a case study at Indre Vågen Atrium, a project by Skanska Norway. One production crew's work; inner wall production, was analysed with well-known tools, and from the results changes were suggested by the crew. Suggestions according to Lean Construction were included in a revised edition of the operation, which was performed and analysed in the final week of the field study.

This master thesis therefore addresses the topic of such a limited implementation by attempting to answer the question: *"How can a work operation be improved by operation analysis and measures based on Lean Construction-principles?"* There are four research questions related to this main question: How the work operation in the case study was improved, what incentives the contractor has to do improvement work like in the case study, how the approach is applicable also to other work operations and what challenges there are related to this sort of improvement work.

Standardizing processes was essential in making Toyota's production reliable, and the aim of the case study is to establish a well-functioning practice of the operation as the standardized way to work. This is the basis for the repetitive, iterative standardizing process SDCA (standardize, do, check, act). One should, according to Moore (2011), start at D in the process, by performing the current way of doing the work and analyse it to establish a good practice as the standard. This should then be further improved in collaboration with other projects and regions of the contractor.

The operation in the case study was noticeably improved from the original to the revised edition. The time to produce one floor was reduced with 47,4% from 71,25 to 37,5 hours and the man hours reduced with 20% from 150 to 120. Productivity was increased in terms of resources from 5,12 to 6,41 square meter wall produced per man hour, and in terms of time from 10,79 to 20,50 square meter wall produced per work hour. The piece work payment per floor, a cost the contractor has towards the crew, was reduced by eliminating unnecessary tasks and movements. The piece work payment was, however, hard to quantify due to it being defined differently than how the operation is. Also several qualitative effects were achieved, such as

better ergonomics, smoother production, and more clarity towards other trades with physical visualisation of work area. Both the contractor's head office, on-site administration and the crew have interest in the improvements, as they all get increased profits and have a more reliable production to relate to.

Koskelas (1992) TFV-model views production with respect to transformation, flow and value. There has, according to Koskela (1992) traditionally been focused on transformation and there is therefore most improvement potential related to flow. This was also found in the operation analysis in the case study. Little improvement was found related to transformation. Much improvement was however found regarding to the flow of materials, crew and tasks through the production process, and especially the changes in the material system contributed to the good results.

The understanding of value, the third element of the TFV-model, was also central in the case study. Especially in terms of cutting the steel studs. These were first cut with approximately 5cm extra margin compared to the ceiling height by the manufacturer, and then cut again by the crew on-site. Kelly et al. (2008) define value of work as how much function it adds to the product divided by the cost of the work. The function of both cuttings could be achieved already by the first, which eliminates the cost of the second cutting, thus increasing the value.

The conclusion for the study is that work operations in construction can be greatly improved by operation analysis and measures based on Lean Construction-principles. This is given that the operation has certain properties like in the case study: It has several crew members, can be divided into several part-operations (tasks), moves across a space and is repetitive. Different analysis tools can be used, but they must have different perspectives and have a holistic view of the operation.

Quick results are expected from Lean-principles that address the operation's configuration, as they challenge the crew's way of thinking and acting less. But even though implementation on operation level seems to challenge the organizational culture less than on implementation on a higher level (for example introducing Last Planner System), there was undoubtedly a scepticism and clear resistant against too much change. It seems like organizational and human elements always have to be considered when implementing something new.

# INNHOLDSFORTEGNELSE

<b>FORORD</b>	<b>I</b>
<b>SAMMENDRAG</b>	<b>III</b>
<b>ENGLISH SUMMARY</b>	<b>V</b>
<b>1. INNLEDNING</b>	<b>1</b>
1.1. INNFØRING I TEMA	1
1.2. PROBLEMSTILLING OG FORSKNINGSPØRSMÅL	3
1.3. BAKGRUNN FOR VALG AV TEMA	4
1.4. BEGREPSAVKLARING	4
1.5. MÅL	6
1.6. AVGRENSNING	7
1.7. OPPBYGNING I FORHOLD TIL FORSKNINGSMETODIKK	7
<b>2. METODE</b>	<b>9</b>
2.1. VALG AV FORSKNINGSMETODE	9
2.2. TEORETISK FORSKNING (LITTERATUR)	10
2.2.1. FORDYPNINGSSTUDIUM	10
2.2.2. SPESIALTEMA OG KILDEKRITIKK	11
2.3. EMPIRISK FORSKNING	12
2.3.1. KONSTRUKTIV FORSKNINGSMETODE	12
2.4. PÅLITELIGHET OG GYLDIGHET AV RESULTATER	14
2.4.1. RELIABILITET	14
2.4.2. VALIDITET	15
2.5. KVANTITATIV OG KVALITATIV METODE	16
2.6. KRITIKK AV FORSKNINGSMETODE	16
2.7. ØVRIG ARBEID MED LEAN CONSTRUCTION-MILJØET	17
2.7.1. INTERVJUER AV DR. GLENN BALLARD	17
2.7.2. PAPER IGLC22	17
<b>3. OPERASJONSANALYSE</b>	<b>19</b>
3.1. OPPTAK AV VIDEO	20
3.2. MANSKAPSDIAGRAM (CREW BALANCE CHART)	20
3.3. FLYTDIAGRAM (FLOW DIAGRAM) KOMBINERT MED PROSESSDIAGRAM (PROCESS CHART)	22
3.4. PROSESSKART (PROCESS MAP)	24
3.5. TRAPPEDIAGRAM OG BEMANNINGSDIAGRAM	26
<b>4. TEORETISK RAMMEVERK</b>	<b>27</b>
4.1. LEAN CONSTRUCTION GENERELT	27
4.1.1. HVA ER LEAN?	27
4.1.2. LEAN CONSTRUCTION VS LEAN PRODUCTION	29
4.1.3. LEAN CONSTRUCTIONS SVAR PÅ BYGGEBRANSJENS TRADISJONELLE UTFORDRINGER	30
4.2. IMPLEMENTERING AV LEAN CONSTRUCTION	34
4.2.1. TEORI FØR PRAKSIS	34
4.2.2. FORANKRING I ORGANISASJONEN	35
4.2.3. RAMMEVERKET BAK SUKSESSFULLT ENDRINGSARBEID	35
4.2.4. ORGANISATORISKE UTFORDRINGER VED IMPLEMENTERING	36

4.2.5.	LANGSIKTIGHET	36
4.2.6.	FAGARBEIDERNE SOM RESSURS	37
<b>4.3.</b>	<b>LEAN CONSTRUCTION I PRODUKSJONSSYSTEMET (VED TFV-MODELLEN)</b>	<b>39</b>
4.3.1.	TRANSFORMASJON	39
4.3.2.	FLYT	40
4.3.3.	VERDI	51
<b>5.</b>	<b>CASE STUDIE: INDRE VÅGEN ATRIUM</b>	<b>55</b>
<b>5.1.</b>	<b>BAKGRUNN</b>	<b>55</b>
<b>5.2.</b>	<b>OM OPERASJONEN</b>	<b>56</b>
5.2.1.	GENERELT	56
5.2.2.	BESKRIVELSE AV LAGET	57
5.2.3.	BESKRIVELSE AV DE ULIKE OPPGAVENE	58
5.2.4.	AVHENGIGHETER MELLOM OPPGAVENE	59
5.2.5.	VARIGHETER	60
<b>5.3.</b>	<b>FORBEDRINGER FRA OPPRINNELIG TIL REVIDERT OPERASJON</b>	<b>61</b>
5.3.1	ELIMINERE KAPPING AV STÅLSTENDERE PÅ BYGGEPLASS	61
5.3.1.	BEMANNING	62
5.3.2.	ARBEIDSSEKVENSS	63
5.3.3.	HÅNDBTERING AV KVALITETSFEIL	65
5.3.4.	MATERIALSYSTEM	65
5.3.5.	FYSISK VISUALISERING	67
5.3.6.	BUKKER VED KAPPING AV SVILLER	67
5.3.7.	GENERELL LEAN-TANKEGANG	68
<b>5.4.</b>	<b>REVIDERT ARBEIDSOPERASJON</b>	<b>68</b>
<b>5.5.</b>	<b>OPERASJONSANALYSE</b>	<b>69</b>
5.5.1.	DATAINNSAMLING	69
5.5.2.	MANNKAPSDIAGRAM	70
5.5.3.	FLYTDIAGRAM KOMBINERT MED PROSESSDIAGRAM	71
5.5.4.	PROSESSKART (UTARBEIDET FRA VERDISTRØMKART)	74
5.5.5.	TRAPPEDIAGRAM OG BEMANNINGSDIAGRAM	76
<b>5.6.</b>	<b>KVANTITATIVE RESULTATER</b>	<b>77</b>
<b>6.</b>	<b>DRØFTING</b>	<b>81</b>
<b>7.</b>	<b>KONKLUSJON</b>	<b>89</b>
<b>8.</b>	<b>VIDERE ARBEID</b>	<b>91</b>
<b>9.</b>	<b>BIBLIOGRAFI</b>	<b>93</b>

---

**VEDLEGG A: LEAN-ORDLISTE**

---

**VEDLEGG B: PAPER TIL IGLC 2014**

## FIGURLISTE

FIGUR 1: KONSUMPRISINDEKS OG BYGGEKOSTNADER (SSB)	1
FIGUR 2: PRODUKTET FRA INNERVEGGOPERASJONEN VED CASE STUDIEN	5
FIGUR 3: DE SENTRALE ELEMENTENE I KONSTRUKTIV FORSKNINGSMETODE (LUKKA, 2003)	8
FIGUR 4: ARBEIDSMETODE FOR TEORETISK OPPGAVE PÅ EKSISTERENDE GRUNNLAG (SAMSET 2004)	11
FIGUR 5: POSISJONERING AV KONSTRUKTIV FORSKNING (KASANEN ET AL. 1993)	13
FIGUR 6: EKSEMPEL PÅ MANSKAPSDIAGRAM (OGLESBY ET AL. 1989)	21
FIGUR 7: EKSEMPEL PÅ FLYTDIAGRAM (OGLESBY ET AL. 1989)	22
FIGUR 8: SYMBOLENE SOM BRUKES I PROSESSDIAGRAMMER (FRITT ETTER OGLESBY ET AL (1989))	22
FIGUR 9: FORBEDRING AV OPERASJON MED FLYT- OG PROSESSDIAGRAM (OGLESBY ET AL. 1989)	23
FIGUR 10: PROSESSKART AV BETONGSTØPEOPERASJON (DUNLOP OG SMITH 2004)	24
FIGUR 11: EKSEMPEL PÅ VERDISTRØMKART (ALVES ET AL. 2005)	25
FIGUR 12: NETTVERKMETODIKK HVOR ULIKE AKTIVITETER FORDELER SEG ELLER KULMINERER I ETTERKOMMENDE AKTIVITETER (PROJECT MANAGEMENT KNOWLEDGE 2010)	25
FIGUR 13: TRAPPEDIAGRAMMET VISER AKKUMULERT FREMDRIFT FOR DE ULIKE OPPGAVENE VED EN OPERASJON. MERK AT HØYRE AKSE ER FOR KATEGORIEN ANNET/BUFFER, MARKERT VED (*).	26
FIGUR 14: BEMANNINGSDIAGRAMMET VISER HVILKE OPPGAVER DE ULIKE FAGARBEIDERNE GJØR. MERK AT DET ER GITT EN ÅRSÅK (ANGITT MED *) NÅR ANNET/BUFFER-KATEGORIEN OPPTRER.	26
FIGUR 15: AKTØRENE'S NÆRHET TIL ARBEIDET (OGLESBY ET AL 1989)	32
FIGUR 16: KONSEPTER, PRINSIPPER OG VERKTØY (ALVES 2012D)	34
FIGUR 17: RIKTIG MÅTE Å SKAPE ENDRING PÅ (LARSON 2003)	35
FIGUR 18: ØKONOMISK UTBYTTE AV IDEER (MOORE 2011)	37
FIGUR 19: TRANSFORMASJON (DREVLAND 2012)	39
FIGUR 20: FLYT (DREVLAND 2012)	40
FIGUR 21: ET HAV AV INVENTAR (MOORE 2011)	41
FIGUR 22: PRODUKSJONSENHETENE I PARADE OF TRADES (TOMMELEIN 1999)	43
FIGUR 23: PUSH-SYSTEM (BALLARD 2000)	45
FIGUR 24: 7 FORUTSETNINGER FOR SUNNE AKTIVITETER (VEIDЕКKE 2014)	46
FIGUR 25: PULL-SYSTEM VED LAST PLANNER SYSTEM (BALLARD 2000)	46
FIGUR 26: STANDARDIZE-DO-CHECK-ACT (KAIZEN INSTITUTE INDIA 2014)	49
FIGUR 27: SKANSKAS OG INDUSTRIALISERT OG SYSTEMATISERT BYGGEPRODUKSJON (BERG 2008)	51
FIGUR 28: VERDI (DREVLAND 2012)	52
FIGUR 29: OVERSIKT VED OPPSTART AV OPERASJONEN, HORISONTALSNITT AV ETASJE	56
FIGUR 30: INNERVEGGER	57
FIGUR 31: TOPP OG BUNN AV 267CM HØY STENDER VED TO ULIKE TAKHØYDER PÅ SAMME ETASJE.	61
FIGUR 32: VERDISKAPNING VED STENDERKAPPING	62
FIGUR 33: STOR (OVER) OG LITEN (UNDER) STREKK I ARBEIDSLAGET	64
FIGUR 34: EKSEMPEL PÅ UTFYLT LOGGSKJEMA, INDRE VÅGEN	69

FIGUR 35: MANNSKAPSDIAGRAM	70
FIGUR 36: FLYTDIAGRAM KOMBINERT MED PROSESSDIAGRAM, OPPRINNELIG OPERASJON.	72
FIGUR 37: FLYTDIAGRAM KOMBINERT MED PROSESSDIAGRAM AV REVIDERT OPERASJON	73
FIGUR 38: PROSESSKART AV MATERIALSYSTEMET VED OPPRINNELIG OPERASJON	75
FIGUR 39: PROSESSKART AV MATERIALSYSTEMET VED REVIDERT OPERASJON	75
FIGUR 40: TRAPPEDIAGRAMMET VISER AKKUMULERT FREMDRIFT FOR OPPGAVENE VED OPPRINNELIG (OVER) OG REVIDERT (UNDER) OPERASJON. MERK AT HØYRE AKSE ER FOR KATEGORIEN ANNET/BUFFER, MARKERT VED (*).	76
FIGUR 41: BEMANNINGSDIAGRAM FOR OPPRINNELIG (OVER) OG REVIDERT (UNDER) OPERASJON	76
FIGUR 42: PRODUKSJONENS STATUS VED START (1) OG SLUTT (2) AV KVANTITATIVE MÅLINGER AV OPPRINNELIG (OVER) OG REVIDERT (UNDER) OPERASJON.	78
FIGUR 43: ÅRSAKSANALYSE (4 UKER, PPC=81,4%, 16 UOPPNÅDDE FORPLIKTELSER AV 86 TOTALT)	79

## TABELLISTE

TABELL 1: OVERSIKT OVER VERKTØY OG DERES VIRKEOMRÅDE	19
TABELL 2: DE ULIKE OPPGAVENES VARIGHETER	60
TABELL 3: RESULTAT AV FLYT- OG PROSESSDIAGRAM	74
TABELL 4: LENGSTE STOPP (I ANTALL ARBEIDSØKTER) VED DE ULIKE OPPGAVENE PRODUSERES TIL NESTE REPETISJON AV OPERASJONEN.	77
TABELL 5: OPERASJONENS KVANTITATIVE RESULTATER	78

# 1. INNLEDNING

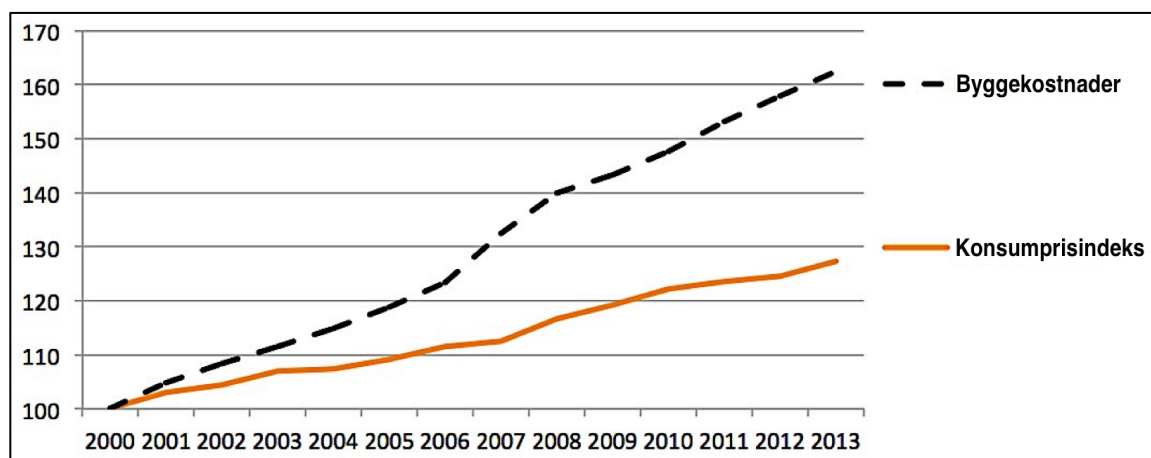
## 1.1. Innføring i tema

*"The construction model is actually a model of project control, not production control. Direct control of production itself is conceived as occurring only within the production unit [...] Construction can thus be said to have no theory of production control proper."*

- Ballard og Howell (1998)

Det er en etablert sannhet at byggebransjen, både nasjonalt og internasjonalt, har stort forbedringspotensial på en rekke viktige områder. Forskning viser at vi ukentlig kun utfører halvparten av de planlagte oppgavene (Ballard 2000), har et effektivitetstap på 20-30% grunnet heft på byggeplass (Byggekostnadsprogrammet 2010) og kostnader for endringsarbeid er 10-20% av total prosjektkostnad (Cnudde 1991; Jonsson 1996). SINTEF Byggforsk estimerte i 1994 at det årlig etterlates feil for 5% av totalkostnaden i bygg ved overlevering, samt at det rettes byggefeil i samme størrelsesorden før overlevering (Thune-Holm 2009). Det oppleves merkbar mangel på tillit i prosjekter i form av materialer som ikke kommer som bestilt, ansvar som ikke blir tatt og løfter som ikke blir holdt (Ballard 2013). Ifølge Kalsaas et al. (2010) er byggeprosjekter i for stor grad preget av elementer som motvirker samhandling og det felles gode, som opportuniste og økonomisk vinning.

Flere forskningsrapporter viser at gjennomføringsmodellen til byggeprosjekter i dag er en direkte årsak til flere av disse forholdene, da den fokuserer på koordinering av organisasjonen fremfor kontroll av prosjektets produksjonssystem, hvilket derfor overlates til de utførende selv (Ballard & Howell 1998; Sacks & Partouche 2009). Det er videre motivasjon til å gjøre dette ved at indeksen til byggekostnader stiger raskere enn konsumprisindeksen, hvilket indikerer at å bygge blir stadig dyrere i forhold til øvrige kostnader i samfunnet (SSB 2014).



Figur 1: Konsumprisindeks og byggekostnader (SSB)

En ny gjennomføringsmodell, som blant annet gjør kontroll av produksjonssystemet til en større del av prosjektkoordineringen, virker nødvendig for å gjøre byggeprosjekter dem kostnadseffektive (Ballard 2000; Byggekostnadsprogrammet 2010). Lean Construction kan være en reell løsning på en del av utfordringene i dagens byggebransje (Byggekostnadsprogrammet 2010; Koskela 1992). Den er byggebransjens svar på Lean Production (også ofte kalt Lean Manufacturing), som er produksjonsfilosofien bak Toyota-systemet som ble utviklet på slutten av 40-tallet for å overleve i en presset japansk bilbransje og skilte seg tydelig fra den ledende produksjonsmåten, Fords masseproduksjonssystem (Womack et al. 1990).

Toyota-systemet var ulikt bransjens vanlige praksis på flere måter: Man produserte heller små partier av hvert produkt enn å serieprodusere og skape store varebeholdninger uferdig arbeid (work in progress), da dette ble ansett som sløsing fremfor "verdi som ennå ikke var realisert". Man så alltid etter forbedringer i arbeidsmetodikk og all sløsing skulle identifiseres og fjernes. Hver arbeider rundt samlebåndet kunne stoppe det ved å dra i en snor, hvorpå produkter med feil ble sendt tilbake til forrige produksjonsledd til man fant feilens kilde og årsakene til feil ble så grundig undersøkt og håndtert at samme feil aldri skulle skje igjen. Ansatte ble heller ansett som ressurser enn kostnader. Og fabrikken skulle være organisert uten noe overflødig (Koskela 1992; Womack et al. 1990).

Bilbransjens radikale endring ble observert av blant annet byggebransjen. Men å tilegne seg Lean-filosofien tok tid på grunn av fundamentale forskjeller mellom fabrikkproduksjon og bygg (Jonsson 1996). Fabrikkproduksjon er forutsigbar og repetitiv produksjon av et stort antall av det samme produktet, mens byggeprosjekter ofte er unike og kompliserte: *"Manufacturers make parts that go into projects but the design and construction of unique and complex projects in highly uncertain environments under great time and schedule pressure is fundamentally different from making tin cans,"* (Howell 1999).

Howell (1999) påpeker likevel at tross ulikhetene mellom bransjene, foreligger det overordnede likheter innen å optimalisere produksjon og redusere sløsing. Gjennombruddet for Lean i byggsammenheng ble gjort i 1992 av Lauri Koskela i rapporten *Application of The New Production Philosophy to Construction*. Dette var det første dokumentet som brukte begrepet *Lean Construction* (Alves et al. 2012).

Koskela (1992) etablerte TFV-teorien, som ser produksjon utfra perspektiv på transformasjon (T), flyt (F) og verdi (V). Transformasjon er det fysiske arbeidet, flyt er materialer og arbeid som beveger seg mellom arbeidsoperasjoner (delprosesser) og verdi omfatter hvor mye funksjon det overleverte produktet har i kundens øyne, hvor kunden ikke bare refererer til den endelige kunden, men også mellom fag og produksjonseenheter i en leverandør-kunderelasjon (Kalsaas et al. 2010; Kelly et al. 2008). Der man i byggebransjen hadde for lite fokus på den totale verdiskapningen og for mye fokus på transformasjon, skulle denne produksjons-teorien beskrive byggeprosjekter på en helhetlig måte (Jørgensen & Emmitt 2008).



Et viktig element i Lean Construction for å optimalisere produksjonens ytelse og pålitelighet er å standardisere arbeidsoperasjoner. Dette kalles i Norge gjerne systematisert byggeproduksjon, og innebærer å sette en fast praksis for hvordan arbeid på byggeplass gjøres (Berg 2008). Dette skal fjerne gjentakende feil og sikre praksis av høy kvalitet og gjøres ved å standardisere, utføre, kontrollere og korrigere i en repetitiv iterasjon, for stadig forbedring av praksis (Moore 2011).

Standardisering er et av tre grunnprinsipper i Kaizen, Toyotas fremgangsmåte for kontinuerlig forbedring (Moore 2011; Womack et al. 1990). Standardiseringsprosessen starter ofte, som ved case studien i denne masteroppgaven, ved å utføre, for å først analysere operasjonen i sin opprinnelige tilstand før man endrer den.

Moore (2011) mener at for å kunne drive forbedringsarbeid, må man gjøre analyser: *"If you do measure it, you will manage it, and it will improve."* Flere gode analyseverktøy for byggsammenheng presenteres av Oglesby et al. (1989). Selv om flere av disse har endret utseende med årene, er grunnprinsippene de samme. I tillegg finnes velbrukte Lean-verktøy, som verdistrømkart (Value Stream Map). Da sløsing kan forekomme på flere måter, Toyota deler selv inn i 7 kategorier (Liker 2004; Ōno 1988), bør verktøyene som velges til analysene ha ulike fokusområder for å danne et helhetlig bilde av operasjonen.

Tross gjentatte forskningsrapporter som viser Lean Constructions positive innvirkning på byggeprosjekter er bransjen konservativ og utviklingen går sakte (Alves 2012d). Mange i bransjen opplever Lean Construction som svært teoretisk og det finnes enkelte utfordringer for å skape god implementering (Alves et al. 2012):

- Det er for mange betydninger ved Lean anvendt i byggsammenheng.
- Akademikere burde jobbe tett med bransjen for å oversette/tilpasse konseptene fra fabrikkproduksjon til bygg, og for å promotere systematisk bruk av konseptene/systemene fremfor bare bruk av verktøyene.
- Uten en bærekraftig innsats i å engasjere folk i en lærerik opplevelse med en blanding av instruksjoner, idé- og meningsutveksling og veiledet trening, kan Lean Construction raskt bli et forbigående blaff i bransjen.

Spesielt de to siste punktene er sentrale for masteroppgaven. Det tas sikte på å finne et krysningpunkt mellom det akademiske miljøet og bransjen, hvor teorien kan implementeres praktisk på en måte som tilfredsstillende verdier til begge miljøer.

## **1.2. Problemstilling og forskningsspørsmål**

Problemstillingen for masteroppgaven er: "I hvor stor grad kan arbeidsoperasjoner forbedres med operasjonsanalyse og tiltak basert på Lean Construction-prinsipper?"

Forskningsspørsmål ble formulert for å støtte opp om problemstillingen og avhandlingen er vinklet for å vise relevansen mot disse:

- Hvilke kvantitative resultater kan oppnås ved denne type forbedringsarbeid?
- Hvilke kvalitative resultater kan oppnås?
- Hvilke insentiver har entreprenøren for denne type forbedringsarbeid?
- Hvilke typer arbeidsoperasjoner fungerer forbedringsarbeidet på?
- Hvilke utfordringer finnes ved denne type forbedringsarbeid?

Problemstillingen besvares i hovedsak av de to første forskningsspørsmålene, og de øvrige tre virker som relevante elementer som må drøftes omkring denne.

Videre er problemstillingen fortrinnsvis kvantitativ. Men det er ønskelig å også ta med kvalitative effekter i drøftingen av den. Dersom en arbeidsoperasjon ikke nødvendigvis forbedres merkbart med hensyn på tidsbruk eller timeverk, men derimot oppnår en rekke kvalitative effekter som bedre arbeidsflyt, ergonomi, pålitelighet og kommunikasjon, så blir det naturlig å svare at den er forbedret. Produktiviteten er riktignok den samme, men det finnes utvilsomt resultater av forbedringsarbeidet som har forbedret aspekter ved operasjonens praksis. Blir produktiviteten *lavere* ved arbeidet, blir selvsagt konklusjonen at operasjonen ikke er forbedret, uavhengig av kvalitative resultater.

### 1.3. Bakgrunn for valg av tema

Oppgaven er gitt av Skanska Norges avdeling for Trimmet Bygging (en norsk betegnelse på Lean Construction). Det erkjennes at mye arbeid på byggeplass ikke gjøres på en optimal måte, og en god tilnærming til å skape forbedring ønskes. Pålitelig i produksjon og logistikk, et helhetlig syn på prosjekter og kartlegging av arbeid er noen av avdelingens fokusområder. Avdelingen ønsker å sikre god praksis internt og på tvers av prosjekter og regioner, og ser på standardiseringen av arbeidsmetodikk som et stort bidrag i å øke produksjonens påliteligheten. Fokusområdene til avdelingen (og Lean Construction generelt) sammenfaller godt med kjerneverdiene til Skanska Norge: Åpenhet, ydmykhet og helhetstenkning.

Masteroppgaven ser derfor på hvordan operasjonsanalyser og Lean Construction som rammeverk kan brukes som til å forbedre en arbeidsoperasjon. Man vil så standardisere operasjonen etter denne forbedrede praksisen. Lean Construction, standardisering, implementering, produksjonens pålitelighet, analyser og forbedringsarbeid er alle viktige tema både for Skanska og denne masteroppgaven.

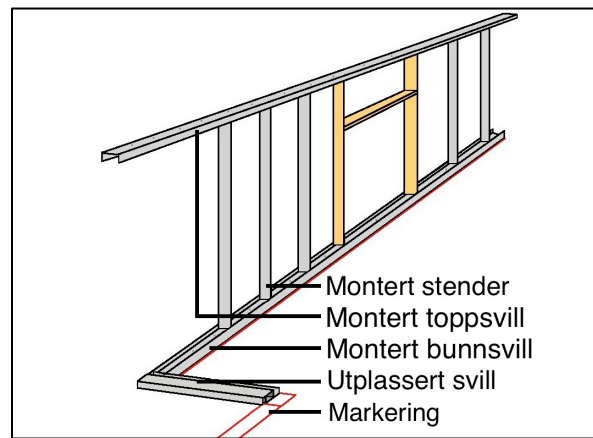
### 1.4. Begrepsavklaring

En del begreper som brukes grunnleggende i oppgaven bør avklares allerede innledningsvis for den videre forståelsen. Disse virker kanskje trivielle for noen lesere, men har gjennom arbeidet vist seg å ha ulik betydning hos ulike personer, og det bør derfor klargjøres hva som menes med disse i *denne* masteroppgaven.

### Arbeidsoperasjon

Et sett arbeidsoppgaver utgjør sammen en avgrenset operasjon. Én operasjon har gjerne ett arbeidslag, altså én produksjonsenhet som kun utfører disse oppgavene og som beveger seg med operasjonen gjennom bygget. Operasjonen kan produsere et helt produkt eller et delprodukt og har sin egen sin egen bar i Gantt-diagrammet. Et annet begrep for dette er aktivitet, men dette lyder mindre avgrenset til én bestemt produksjonsenhet. I bransjen brukes gjerne produksjonslinje.

Eksempelvis ble det i case studien sett på en operasjon som leverte et delprodukt i innerveggproduksjon. Operasjonen innebar å merke veggplassering utfra tegningene, kappe og montere sviller og kappe og montere stendere. Ved ferdig operasjon stod reisverket til veggen klart til spikerslag og deretter gipsing, og dette var delproduktet operasjonen leverte for hver enkelt leilighet i boligblokken.



Figur 2: Produktet fra innerveggoperasjonen ved case studien

### Operasjonsanalyse

Å bruke analyseverktøy til å se på arbeid og analysere de kvantitative og kvalitative resultatene av analysene. Dette er også relatert til hva som i denne oppgaven kalles produksjonskontroll. Andre begreper er arbeidsanalyse. På engelsk brukes gjerne *work studies*, *work operation analysis* eller *time studies*. Operasjonsanalyse velges i denne masteroppgaven grunnet dens tilknytning til operasjonsbegrepet.

### Produksjonskontroll

Dette begrepet brukes av Ballard og Howell (1998) og defineres enkelt og greit som kontroll av hvordan de produserende "får jobben gjort". Med dette menes at dersom produksjonskontroll er tilstede, som ved bruk av operasjonsanalyse, måling av PPC, føring av rotårsaker eller lignende, er det samhandling mellom administrasjonen og de fagarbeiderne i å evaluere hvorvidt produksjonen bør forbedres. Alternativet er, som ifølge Ballard og Howell (1998) er vanlig i tradisjonelle byggeprosjekter, at det er overlatt til fagarbeiderne selv å vurdere dette.

### *Produktivitet*

Hvor velfungerende en operasjon er kan måles på flere ulike måter, som effektivitet, ytelse og produktivitet (Jonsson 1996). Produktivitet defineres av Jonsson (1996) som forholdet mellom produsert mengde (output) og ressursbruk (input). I case studien måles derfor timeverk som brukes for hver av operasjonens to tilstander. En annen produktivitetsdefinisjon er produsert mengde per tidsenhet (Skagenfondene 2005), så tidsbruken per produsert mengde måles derfor også for begge tilstander.

Det er viktig å merke seg at det ved case studien produseres samme mengde, én etasje, for begge tilstander. Dermed blir forskjellen i tidsbruk og timeverk mellom opprinnelig og revidert operasjon et direkte mål på forskjellen i produktivitet. Med andre ord fanger begrepet produktivitet over to kvantitative mål i denne oppgaven, og begge er elementer i å svare på forskningsspørsmålet om hvilke kvantitative resultater som kan forventes av denne typen forbedringsarbeid.

### *Akkordlønn*

I stedet for timelønn brukes akkordlønn ofte i byggproduksjon, hvor fagarbeiderne lønnes for mengdene produsert. Akkordberegninger er omfattende og skal definere et beløp for det produserte arbeidets verdi. Man får lønn for hver kvadratmeter vegg produsert, definert av materialene, handlingene og bevegelsene i å produsere den.

Dessverre viste det seg særdeles vanskelig å finne akkordbeløpet per kvadratmeter ved operasjonen i case studien, da operasjonens arbeid var avgrenset annerledes enn avgrensningen i akkordberegningen. Etter å ha kontaktet flere personer i Skanska ble det avklart at det ikke var mulig for studenten å finne akkordbeløpet for kun denne delen av innerveggproduksjonen, og avdelingen selv hadde heller ikke tid eller ressurser til dette. Dette diskuteres nærmere i masteroppgavens drøfting.

### *Andre begreper*

I dette delkapittelet har grunnleggende begreper for oppgaven blitt avklart. Men det finnes en rekke andre ord og uttrykk i denne masteroppgaven, spesielt i teorikapittelet. I vedlegg A finnes derfor en omfattende ordliste hvor det er forsøkt å fange opp alle viktige begreper som nevnes i oppgaven med norsk, engelsk og japansk (grunnet Leans opphav) oversettelse, samt en kort definisjon.

## **1.5. Mål**

Hovedmålet for oppgaven var at operasjonsanalyse og forbedringer basert på Lean Construction-prinsipper ville forbedre arbeidsoperasjonen i case studien, slik at denne nye praksisen kunne etableres som standard praksis for hvordan dette arbeidslaget jobber. Dette er en sterk indikasjon på at forbedringsarbeidet fra case studien kan brukes som fremgangsmåte i forbedrings- og standardiseringsarbeidet også for andre operasjoner i Skanska Norge.

## 1.6. Avgrensning

Lean Construction er et svært omfattende fagområde og det ble dermed en viktig prosess å avgrense teoristoffet til hva som var relevant for case studien. Siden det her skulle jobbes med kun én arbeidsoperasjon (kan også kalles for ett arbeidslag, én produksjonsenhet eller én produksjonslinje), ble det fokusert på Lean-teori som kunne knyttes til operasjonsnivå fremfor høyere organisatorisk perspektiv.

Det hevdes av mange at for å få best resultat, bør Lean Construction implementeres på hele systemet for å gripe inn i viktige mekanismer som materialflyt, planlegging og analyse av arbeid (ved LPS-systemet) og hvordan deltakere samhandler (Ballard 2000; Hamzeh et al. 2008; Matthews et al. 2003). Et produksjonssystem i et byggeprosjekt er komplisert og ved å implementere filosofien på større skala kan mye spares i sjiktet mellom fag.

Men implementering av Lean Construction møter ofte skepsis og motstand fordi den utfordrer organisasjonskulturen og radikalt endrer sentrale prosjektmekanismer. Et moment blir dermed om implementering kun på operasjonsnivå er en fordelaktig måte å introdusere Lean Construction i organisasjonen.

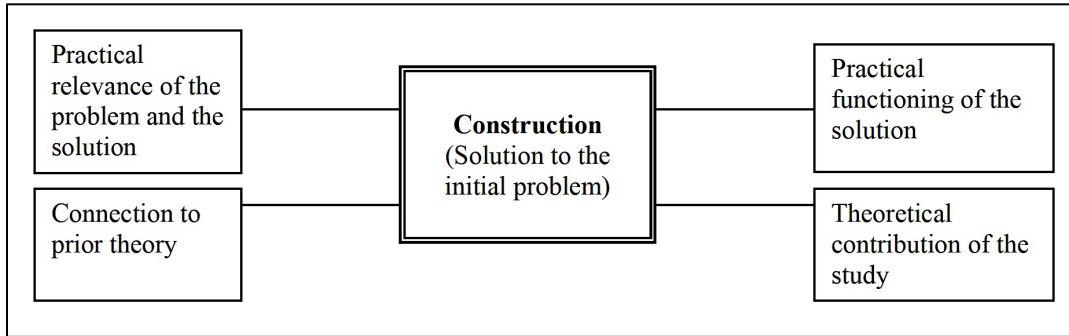
Implementeringen var også begrenset med hensyn på tidsaspektet. Man skal helst jobbe kontinuerlig med filosofien over lengre tid for å skape en kultur som videre vil gi positive resultater (Moore 2011; Womack et al. 1990). Denne masteroppgaven hadde dessverre kun fire uker til rådighet til empirisk studie på byggeplass, hvilket er kortere enn ønskelig, men forhåpentligvis nok til å gi overbevisende resultater.

Masteroppgaven fokuserer riktignok på én spesifikk operasjon, men begrenser seg ikke til denne. Et forskningsspørsmål er hvilke arbeidsoperasjoner denne typen forbedringsarbeid fungerer på, altså hvorvidt resultatene fra det empiriske studiet er overførbare også til andre arbeidsoperasjoner med lignende egenskaper.

## 1.7. Oppbygning i forhold til forskningsmetodikk

Case studien ble gjennomført med konstruktiv forskningsmetode (se metodekapittel), og oppbygningen av masteroppgaven sammenfaller godt med byggesteinene i metoden:

- **Praktisk relevans:** Innledning
- **Teoretisk forbindelse:** Teoretisk rammeverk-kapittel
- **Konstruksjon (av løsning på problemet):** Case studie-kapittel
- **Løsningens funksjon i praksis:** Resultatdel i case studie-kapittel og drøfting
- **Teoretisk bidrag:** Konklusjon og videre arbeid



*Figur 3: De sentrale elementene i konstruktiv forskningsmetode (Lukka, 2003)*

I tillegg inneholder masteroppgaven et metodekapittel som beskriver både arbeidet med teori og den empiriske case studien. Som vedlegg til masteroppgaven finnes også en ordliste hvor begreper fra oppgaven er samlet med oversettelser mellom norsk, engelsk og japansk (Toyota-begreper) og en kort forklaring til hvert av disse.

## 2. METODE

---

Forskningsmetoden i denne masteroppgaven kan deles i to hoveddeler: Teoretisk og empirisk forskning. Hensikten var at del én skulle utarbeide et teoretisk grunnlag for å bruke Lean Construction i en anvendt sammenheng på byggeplass. Del to skulle prøve teori i praksis.

### 2.1. Valg av forskningsmetode

Den valgte forskningsmetoden for teoristoff var litteraturstudium (her kalt fordypningsstudium). Da dette var på høsten i forkant av selve masteroppgaven, ble dette sett på som en god forskningsmetode for forberede forfatteren på det videre arbeidet. I tillegg var det et ønske fra Skanska at denne utredningen av Lean Construction kunne være en kilde til kunnskap for personer som ønsket en innføring i teorien. Teoristoff ble videre jobbet med gjennom hele masteroppgaven, også med litteraturstudie-tilnærming, hvor hensikten er å dedusere kunnskap og utfra den leste litteraturen til bruk i min egen empiriske forskning.

For den empiriske forskningen ble case studie i form av konstruktiv forskningsmetode valgt. Dette fordi det er i tråd med rådet til Alves at Lean best læres i samarbeid mellom akademikere og bransjerepresentatner. Denne forskningsmetoden virket også svært god til å svare på problemstillingen og forskningsspørsmålene:

- For å finne ut i hvor stor grad operasjonsanalyse og Lean Construction kan forbedre arbeidsoperasjoner (problemstilling), virket det hensiktsmessig å empirisk prøve denne fremgangsmåten på en operasjon og dokumentere resultatene.
- De kvantitative resultatene ved denne operasjonen kunne være en indikator på hvor store kvantitative resultater som generelt kan forventes (forskningsspørsmål).
- Omfanget av kvalitative resultater ved operasjonen i case studien kunne bidra til å drøfte omkring potensialet for kvalitative resultater som generelt kan forventes (forskningsspørsmål).
- Hvilke insentiver entreprenøren har for denne type forbedringsarbeid (forskningsspørsmål) trenger man ikke nødvendigvis en case studie for, men med hensyn på perspektivet til fagarbeiderne var det svært nyttig å være i nærheten av disse i lengre tid for.
- For å sjekke generaliteten til forbedringsarbeidet (forskningsspørsmål) var det verdifullt å se operasjonen gjennom en case studie, da man får en god forståelse for hvilke elementer ved den som kanskje er spesifikke for laget, prosjektet eller regionen, fremfor hva som kan ansees som universelle forutsetninger.

- Case studien var utvilsomt en overlegen forskningsmetode på å dokumentere utfordringer ved forbedringsarbeidet (forsknings spørsmål). Å oppleve selv hvordan studien var avhengig av lagmedlemmenes humør og hvilke holdninger som er tilstede var uvurderlig for drøftingen i masteroppgaven.

Det finnes flere andre forskningsmetoder som kunne blitt brukt. Intervju ble for eksempel egentlig planlagt, men det viste seg overflødig utover case studien. Spørreundersøkelse til andre prosjekter om holdninger til implementering og standardisering ble også vurdert, men ble vurdert som utenfor oppgavens omfang.

En annen mulighet var å gjennomføre et litteraturstudie fremfor empirisk forskning, hvor man kunne sammenlignet suksessfaktorer hos ulike forsøk på å forbedre arbeidsoperasjoner med Lean Construction. Salem et al er et eksempel på en kilde som kunne blitt analysert. Denne forskningsmetoden ble vurdert som mindre relevant enn den empiriske case studien.

Foruten at det ble ønsket av både Skanska og studenten selv å gjøre et empirisk studie på en Skanska-byggeplass, var det en frykt for mangelen på å finne nok prosjekter i litteraturen som var sammenlignbare både med hverandre og spesielt mot norske rammebetingelser. Da disse sannsynligvis ville hatt ulike forutsetninger med hensyn på geografi, prosjektform, kultur og lignende, ville konklusjonen ikke vært overførbart til en norsk bransjesetting uten sterke forbehold.

## **2.2. Teoretisk forskning (litteratur)**

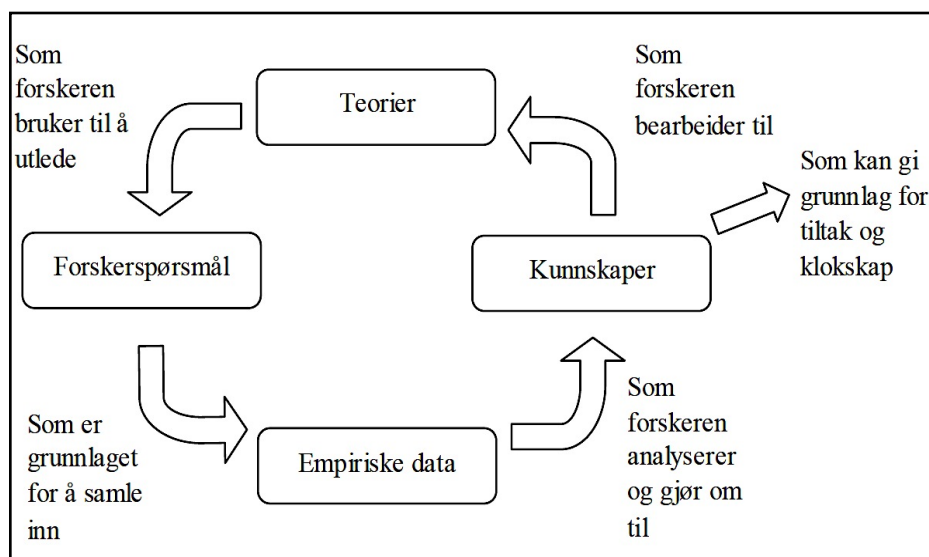
I forkant av de empiriske undersøkelsene ble det gjort et bredt arbeid med teoristoff. Dette var både for å kunne utrede teorien som lå til grunn, men også for å spisse inn den empiriske forskningens oppbygning og innfallsvinkel.

### **2.2.1. Fordypningsstudium**

I forkant av masteroppgaven ble det gjennomført et fordypningsstudium. Temaet for studiet var Lean Construction generelt og rettet mot implementering på operasjonsnivå. Operasjonsanalyse ble også behandlet, med hovedfokus på analyseverktøyene fra Oglesby et al. (1989).

Lean Construction er et bredt fagfelt og har et godt litterært grunnlag. Fordypningsstudiet skulle bygge på etablert teori fremfor å "finne opp kruttet på nytt", og arbeid hvor det foreligger et godt datagrunnlag, bør ifølge Samset (2004, referert i Olsen og Gjertsen (2010, s. 5) ha følgende arbeidsmetodikk:





Figur 4: Arbeidsmetode for teoretisk oppgave på eksisterende grunnlag (Samset 2004)

Figur 4 stemmer godt overens med arbeidsmetodikken i fordypningsstudiet. Utgangspunktet var kunnskaper fra å ha blitt introdusert for Lean Construction. Deretter ble det en kontinuerlig prosess av å lage teorier og spørsmål fra disse, søke etter mer litteratur som støttet opp om dette, tolkning av litteraturen, anse det som bekrefte som kunnskap samtidig som nye spørsmål stilles osv.

Forhåpningen var at oppgaven til slutt ville oppleves som helhetlig og uten mangler, hvor all teorien som var relevant for videre arbeid ble inkludert og ikke trengte videre utdypning for å kunne forstås av leseren. Kort fortalt var ønsket at oppgaven ikke skulle mangle noe, samtidig som den ikke skulle inneholde noe overflødig.

### 2.2.2. Spesialtema og kildekritikk

Grunnet det store litterære omfanget var det uproblematisk å oppsøke referanser til noen av temaene som beskrives i oppgaven. Det var likevel viktig å behandle kildene på korrekt måte. Mange av kildene kommer fra samme fagmiljø, og man frykter i så måte alltid for kildens kvalitet. Det blir litt som å dra i kirken for å lære seg om religion generelt. Derfor var det et svært nyttig bidrag i forskningsprosessen i forbindelse med fordypningsstudiet å kunne gjennomføre et spesialtema på 7,5 studiepoeng hvor det ble gjort kildekritikk av litteraturen anvendt.

Litteraturstudiet var særdeles god trening i kildekritikk og ga økte ferdigheter innen kvalitetssikring av litteratur. Treningen i å bruke ulike databaser og søke ulike fagmiljø for litteratur var svært verdifull og sikret et mer differensiert litteraturgrunnlag.

Gjennom hele prosessen har også rådgiverne bidratt svært godt med litteratur og henvisning til informasjon for å løse problemer som har oppstått underveis. Dette har påvirket prosjektet på en særdeles positiv måte.

## 2.3. Empirisk forskning

Innsamling av empirisk data var nødvendig for å vise hvorvidt teori stemte i praksis, og ble gjort ved case studie med konstruktiv forskningsmetode.

Yin (2014) definerer case studie som: *"an empirical inquiry that*

- *investigates a contemporary phenomenon (the "case") in depth and within its real-world context, especially when*
- *the boundaries between phenomenon and context may not be clearly evident."*

Store Norske Leksikon definerer case studie som *"en studie av én enhet."*

Definisjonene egner seg med andre ord til å prøve ut en teori, eller et fenomen (phenomenon), og dens påvirkning på en avgrenset enhet i en situasjon med denne enhetens realistiske rammebetingelser (real world context). Dette samsvarer godt med formålet til denne masteroppgaven, hvor en bestemt teori (hvorvidt operasjonsanalyse og Lean Construction-prinsipper kan forbedre en arbeidsoperasjons praksis) med realistiske rammebetingelser (på byggeplassen i en ekte jobbsituasjon på et vanlig boligprosjekt).

Case studien ble gjennomført på Indre Vågen Atrium i Sandnes, en av Skanskas byggeplasser. I samarbeid med arbeidslaget ble det jobbet med å forbedre en arbeidsoperasjon gjennom bruk av analyseverktøyene og Lean-teorien omtalt i denne masteroppgaven. Gjennomføringen av case studien og resultatene er nærmere beskrevet i et eget case-kapittel.

### 2.3.1. Konstruktiv forskningsmetode

En underkategori av case studie er konstruktiv forskningsmetode, og det kan gjerne kalles en gjennomføringsmodell for case studien. Man studerer fremdeles én enhet med sine naturlige rammebetingelser, men man konstruktiv forskningsmetode gir helt spesifikke føringer for *hvordan* case studien skal gjennomføres.

Konstruktiv forskningsmetode innebærer at forskeren i samråd med organisasjonen analyserer den nåværende tilstanden til et problem for så å konstruere en løsning og undersøke dennes evne til å løse problemet (Lukka 2003).

Det er ifølge Kasanen og Lukka (1993) spesielt to elementer som skiller forskningsmetoder: Hvorvidt metoden gjennomføres teoretisk eller empirisk og deskriptivt eller normativt. Med teoretisk eller empirisk menes hvorvidt dataen kommer fra fysiske forsøk eller teori. Deskriptivt innebærer at forskningen kun beskriver noe som observeres, og normativt betyr at forskningen påvirker objektet for å forbedre det og promotere videre utvikling.

	Theoretical	Empirical
Descriptive	Conceptual approach	Nomothetical approach Action-oriented approach
Normative	Decision-oriented approach	Constructive approach

Figur 5: Posisjonering av konstruktiv forskning (Kasanen et al. 1993)

Konstruktiv forskningsmetode har følgende fremgangsmåte (Lukka 2003):

1. *Finne et praktisk relevant problem som har potensial for teoretisk bidrag*

Problemet er i dette tilfellet mangel på fremgangsmåte for å kartlegge og forbedre operasjoner og den foreslåtte løsningen fra forskeren da er å bruke operasjonsanalyse og prinsipper hentet fra Lean-filosofien.

2. *Utforske potensialet for langtidssamarbeid med organisasjonen studert*

Oppgaven var gitt fra Skanskas Lean Construction-avdeling, og lærdommene fra studiet brukes i videre arbeid. Også på byggeprosjektet studert ville erfaringene brukes i videre arbeid dersom erfaringene var positive. Studenten er i ansatt i Skanska og skal fortsette samarbeidet med Lean-avdelingen etter endt studie.

3. *Tilegne seg forståelse for det studerte fagområdet både teoretisk og praktisk*

Lean Construction og operasjonsanalyse ble studert i 1,5 år før feltstudiet. I forbindelse med skolegang ble operasjoner studert på byggeplass i dette tidsrommet på tilsvarende måte som ved case studien. Den praktiske forståelsen av den operasjonen ble tilegnet gjennom de første tre ukene av oppholdet på byggeplass.

4. *Utvikle en idé for løsning som både løser problemet og har potensial for teoretisk bidrag*

Den foreslåtte løsningen var å analysere operasjonen med velkjent operasjonsanalyse blant annet fra Oglesby et al. (1989), arbeiderne foreslår forbedringer i tråd med Lean Constructions tro på arbeiderne som ressurser og at tiltak knyttet til Lean Construction-prinsipper blir implementert som den reviderte måten for å gjennomføre operasjonen.

5. *Implementere løsningen og teste hvordan den fungerer*

Operasjonsanalyse ble gjort under hele case studien. I den fjerde uken ble operasjonen utført i revidert tilstand og analysert. Denne reviderte operasjonen er

selve manifestasjonen av fremgangsmåten i case studien, og dens suksess er derfor direkte knyttet til den generelle fremgangsmåtens suksess.

#### *6. Drøfte løsningens virkning og bruksområde*

Resultatene fra den reviderte operasjonen ble analysert og drøftet i denne masteroppgaven. Hvorvidt disse resultatene var positive var en avgjørende i å antyde om fremgangsmåten fungerte. Positive empiriske resultater ville ikke direkte bety at fremgangsmåten virket, da det kunne være andre faktorer inni bildet, men det var likevel en god indikator.

#### *7. Identifisere og analysere det teoretiske bidraget*

Det teoretiske bidraget fra resultatene og drøftingen tar for seg potensialet for å analysere arbeidsoperasjoner med verktøy av denne typen og virkningen av Lean Construction på operasjonsnivå.

Ifølge Lukka (2003) er kjernefunksjonene til konstruktiv forskningsmetode at den

- fokuserer på virkelige problemer som føles relevante å løse i praksis
- skaper en innovativ konstruksjon (løsning) med hensikt å løse problemet
- innebærer et forsøk på implementering av konstruksjonen og derfor tester dens praktiske nytte
- medfører tett involvering og samarbeid mellom forskeren og praktiserende på en laglignende måte, hvor erfaringsbyggende læring forventes å finne sted
- er eksplisitt knyttet til eksisterende teoretisk kunnskap
- er spesielt rettet mot å reflektere over de empiriske funnene tilbake mot teorien

Det skal likevel understrekes at konstruktiv forskningsmetode kan bli kritisert for nettopp forskerens innblanding i det observerte objektet. Lukka (2003) påpeker at dersom forskeren blir for tett innblandet kan det bli krevende å analysere systemet kritisk fremfor å skryte av enhver minste forbedring. I case studien ble det dermed fokusert på å håndtere dette innblandingsaspektet på en god måte.

## **2.4. Pålitelighet og gyldighet av resultater**

### **2.4.1. Reliabilitet**

Med reliabilitet menes påliteligheten til resultatene i form av i hvor stor grad andre forskere ved andre tidspunkt kunne fått samme resultat (Olsen & Gjertsen 2010). Reliabiliteten av resultatene fra masteroppgaven virker å være god og i tråd med funn fra lignende studier. Det er også godt samsvar mellom teorien og de oppnådde resultater. Analyseverktøyene og datagrunnlaget er preget av stor nøyaktighet, hvilket åpner for gode muligheter for leseren selv å identifisere hva som har skapt resultatene.

Dette studiet undersøkte potensialet for å forbedre arbeidsoperasjoner med en bestemt fremgangsmåte, og case studiens suksess åpner for videre arbeid på også andre arbeidsoperasjoner for å sjekke fremgangsmåtens generalitet.

Analyseresultatene og -metodene ved case studien er kontinuerlig delt og diskutert med både deltakere fra det observerte prosjektet samt øvrige fagpersoner. Prosjektdeltakernes hovedrolle har vært å verifisere hvorvidt observasjonene stemmer med operasjonens reelle oppførsel, mens fagpersonene hovedsakelig har verifisert bruken av metoder og drøftingene omkring resultatene. Dette har vært viktige bidrag i det pågående arbeidet da dette var undertegnedes første individuelle case studie.

To mulige effekter i denne type studie, hvor man bevisst påvirker det observerte objektet, måtte tas hensyn til:

- **Hawthorne-effekten:** Moore (2011) viser at en risiko i forbedringsarbeid er at uansett hvilken endring man påfører systemet, vil dets ytelse øke. Det betyr ikke nødvendigvis at man har endret systemet til det bedre, men som Moore (2011) sier: *"To summarize [...] in my words, if you give people a little attention, and they know you are expecting them to do better, they will."*
- **Fagarbeidernes generelle arbeidstempo:** Et relevant spørsmål for case studien var hvorvidt arbeiderne ville *ønske* at revidert operasjon skulle være mer effektiv enn den opprinnelige, da endringene var foreslått av dem selv.

I dette studiet ble det konkludert med at ingen av disse effektene var tilstede. Hawthorne-effekten har langt mer grobunn dersom endringene er foreslått av en leder eller annen autoritet arbeiderne respekterer og ønsker å yte for fremfor en student som jobber med en masteroppgave. I forhold til den andre effekten foreligger en grundig logg som viser at de uendrede elementene ved operasjonen (for eksempel montering av sviller) holdt samme tempo som før, hvilket kan indikere at arbeiderne ikke jobbet med høyere intensitet.

#### 2.4.2. Validitet

Ofte skilles det mellom tre ulike typer validitet: Begrepsvaliditet, intern validitet og ytre validitet, som også blir kalt generaliserbarhet. Av disse bør spesielt begrepsvariabilitet fremheves, som omhandler hvorvidt den valgte metoden er velegnet for det man undersøker (Olsen & Gjertsen 2010).

En kjent utfordring er ifølge Johnson (1991) og Osborne (1996) at forskning ofte kan være for akademisk og mangler praktisk relevans. Lukka (2003) mener at konstruktiv metode er svært velegnet i å minske denne avstanden mellom teori og praksis bedre enn mange andre forskningsmetoder, da den fordrer samhandling mellom forskeren og de praktiserende. Målet er å finne krysningspunktet mellom det akademiske miljøet og bransjen, hvor teorien i samarbeid kan implementeres praktisk på en måte som tilfredsstillende verdier til begge miljøer (Alves et al. 2012).

## 2.5. Kvantitativ og kvalitativ metode

Fordypningsstudiet i forkant av masteroppgaven baserte seg gjennomgående på kvalitativ metode, som innebærer at forskningen skal bekrefte hvorvidt noe virker å stemme som en ja/nei-vurdering. Intervju er et eksempel på en kvalitativ forskningsmetode.

Alternativet er en kvantitativ metode. Her brukes gjerne metoder som spørreundersøkelse eller målinger (som ved case studien) som forskningsmiddel med det mål å undersøke *i hvor stor grad* noe kan bekreftes.

Case-studien brukte *både* kvantitativ og kvalitativ metode. Operasjonens ytelser ble målt kvantitativt både før og etter revisjon med hensyn på tidsbruk og timeverk. Dette skulle svare på forskningsspørsmålet om hvilke kvantitative resultater som kan forventes av denne typen forbedringsarbeid. Kvalitative effekter av endringene ved operasjonen skulle også identifiseres for å svare på forskningsspørsmålet om hvilke kvantitative resultater som kan forventes.

Problemstillingen er riktignok "*i hvor stor grad* kan arbeidsoperasjoner forbedres med operasjonsanalyse og Lean Construction-prinsipper", og fremstår således som kvantitativ. Men aspekter som for eksempel produksjonens arbeidsflyt, jevnhet og ergonomi er kvalitative, og er også naturlige elementer i å svare på problemstillingen.

## 2.6. Kritikk av forskningsmetode

Case studie gjennomført med konstruktiv forskningsmetode ble funnet som en forskningsmetode med høy reliabilitet. Dette fordi den akademiske tilnærmingen var svært velegnet til masteroppgavens hensikt. Det finnes likevel flere faktorer ved forskningsmetoden som må trekkes frem.

Den mest sentrale er det mest kritiske punktet som nevnes av Lukka (2003), at forskerens samhandling med objektet påvirker resultatet for mye. Ved denne masteroppgaven ble dette forsøkt håndtert ved at alle forslag til forbedring ved arbeidsoperasjonen skulle foreslås av arbeiderne selv, ikke av studenten. Også påvirkning av produktiviteten ble forsøkt unngått i så stor grad som mulig, hvilket også ble dekket under diskusjonen om reliabilitet.

Et annet element er hvorvidt omfanget av case studien var stort nok. Flere arbeidslag, enten med ulike operasjoner eller som utførte samme operasjon på andre prosjekter, kunne gitt sikrere resultater. Dette krever likevel langt mer koordinering av studenten, at entreprenøren faktisk har tilsvarende arbeid som foregår samtidig og at flere prosjekter er åpne for å la seg studere. Ved denne case studien var det de to første elementene som avgjorde avgrensningen.

## 2.7. Øvrig arbeid med Lean Construction-miljøet

### 2.7.1. Intervjuer av dr. Glenn Ballard

Dr. Glenn Ballard har både akademisk ekspertise og lang erfaring i byggebransjen. Han er svært anerkjent innen Lean Construction-miljøet og regnes som en av nøkkelpersonene i utviklingen av fagområdet. Han er med-grunnlegger og forskningsdirektør ved Lean Construction Institute (LCI), verdens ledende organisasjon for Lean Construction. Ballard er også professor ved UC Berkley og Stanford innen byggingeniør- og ledelsesprogrammene der, og han har nær tilknytning til store aktører i bransjen.

Onsdag 3. desember intervjuet undertegnede dr. Ballard via videolink (Skype). På forhånd hadde han mottatt spørsmålene. Disse hadde flere formål: Noen spørsmål skulle avklare uklarheter, mens andre var godt besvart av litteraturen (men det var ønskelig å få en videre utdypning eller refleksjon om disse). Intervjuet varte omtrent en time og fortonet seg i stor grad som en flytende samtale hvor spørsmålene ble fylldig og reflekterende besvart. Dette ble et solid bidrag til teoriarbeidet på flere måter: Både som referanse til fakta og som et kompass på at den grunnleggende tankegangen og hensikten bak oppgaven var korrekt. I tillegg var det et personlig møte med dr. Ballard i Berkeley mandag 24. mars for å diskutere resultatene fra case studien og deres relasjon til teorien.

### 2.7.2. Paper IGLC22

I tillegg til masteroppgaven har forskningsarbeidet bidratt til et konferansepaper til årets verdenskonferanse for Lean Construction, IGLC22, som avholdes i Oslo i juni. Tittelen på paperet er "*Constructions Site Operations Made Leaner and Standardized: A Case Study*". Lengden på avhandlingen er kortere, men kjernen; problemstilling, resultater, konklusjon, er likevel den samme i begge dokumentene. Paperet har tre forfattere, men det var undertegnedes masteroppgave og forskning som la grunnlaget for innholdet.





### 3. OPERASJONSANALYSE

For å identifisere sløsing og forbedringspotensial ble operasjonen analysert både i opprinnelig og revidert tilstand. Oglesby et al. (1989) omtaler flere verktøy og grafiske fremstillinger for å dokumentere og analysere produktivitet i byggeoperasjoner. Mannskapsdiagram og flytdiagram kombinert med prosessdiagram er brukt i denne masteroppgaven. Med årenes løp har disse gjerne endret utforming, men grunnprinsippene forblir de samme og er anerkjent i fagmiljøet.

Kartleggingsverktøyet prosesskart er beslektet til det vanlige Lean Construction-verktøyet verdistrømskart (Value Stream Map). I tillegg ble to egne verktøy utviklet for dette studiet, trappediagram og bemanningsdiagram, med hensikt å i form av akkumulerte produserte enheter (leiligheter i denne masteroppgavens case studie) å visualisere hvordan de ulike oppgavene i operasjonen skred frem i samme tidsrom i sammenheng med hvordan de ulike fagarbeiderne bemannet oppgavene.

De ulike verktøyene har ulike styrker. Siden sløsing forekommer i mange former, blant annet opererer Toyota med 7 ulike former, er det ønskelig at analyseverktøyene håndterer dette ved å betrakte operasjonen fra ulike perspektiv og fokusområder. I tabellen under gis en oversikt over verktøyene og deres egnethet.

*Tabell 1: Oversikt over case studiens verktøy og deres virkeområde*

Tidsperspektiv	Verktøy	Fokusområde	Hensikt
Minutter	Mannskapsdiagram	Mannskap ved transformasjon	Identifisere sløsing i nærhet av transformasjonen (utførelsen av den fysiske oppgaven), ved venting på materialer, utstyr eller andre oppgavers fremdrift.
Dager/ uker	Flytdiagram kombinert med prosessdiagram	Flyt av materialer og mannskap	Identifisere sløsing, suboptimal flyt, dobbelhåndtering av materialer og unødvendige trinn og ledd når oppgavene kommer sammen og utgjør den helhetlige operasjonen.
	Trappediagram og bemanningsdiagram	De ulike oppgavers fremdrift og	Identifisere løsninger med forbedringspotensial i den generelle koordineringen av operasjonen, med hensyn på materialer, mannskap og oppgaver.
Uker/ måneder	Prosesskart	Materialflyt gjennom hele produksjonssystemet, fra leverandør til ferdig produkt	

Det må nevnes at det ofte brukes ulike navn på analyseverktøy. Dette kan være et resultat av endring i utforming med årene og at andre navn da kanskje virker mer dekkende, eller bare ulik navnebruk i ulike akademiske miljøer. Verktøyenes navn i denne masteroppgaven er fra Oglesby et al. (1989) og Lean Construction-miljøet. Trappediagram og bemanningsdiagram er navngitt av studenten selv. I tillegg til gjennom analysene fra verktøyene ble mye, som også påpekes av Oglesby et al. (1989), lært av generelle observasjoner og spørsmål.

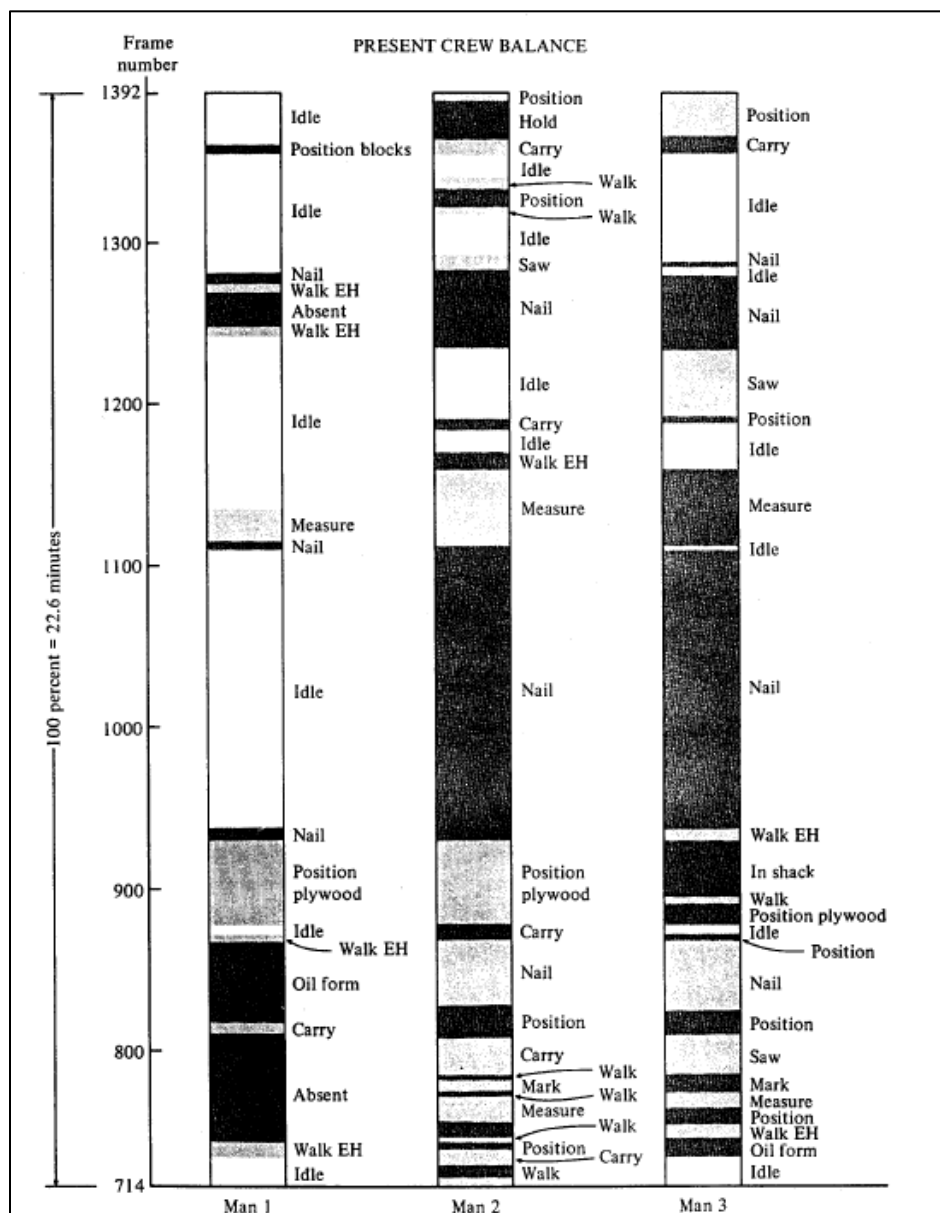
### **3.1. Opptak av video**

Ved analyse av arbeidsoperasjoner, er det fordelaktig å dokumentere noe av arbeidet på film for å sikre at man kan se på det samme utførte arbeidet flere ganger og måle ulike ting eller fremstille ulike data (Su 2010). I tillegg til aspektet ved å kunne se opptakene om igjen, fokusere på en bestemt arbeider, deloperasjon eller spesielle detaljer, medfører videoanalyse at man har dokumentasjon av operasjonen arkivert. Man kan da gå tilbake senere for læring eller erfaringsoverføring (Oglesby et al. 1989).

Det finnes naturligvis et juridisk aspekt ved at fagarbeiderne som filmes har rett til å vite dette. Dessverre er det også slik at de som filmes selvsagt kan prestere deretter og resultatene forringes: Man vil neppe få samme frekvensen av dødtid, pauser og småprat på byggeplassen av arbeidere som vet de observeres. Løsningen er kanskje et kompromiss, hvor arbeiderne samtykker til at ukens arbeid filmes, men ikke når og i hvor stort omfang. En respektfull tone hvor man redegjør for hensikten, samt åpner for å svare på spørsmål og bekymringer arbeiderne har om dokumenteringen, kan være nøkkelen til å lykkes med videoanalyser (Oglesby et al. 1989).

### **3.2. Mannskapsdiagram (Crew Balance Chart)**

Dette diagrammet har sitt opphav fra såkalte man-machine charts fra fabrikkproduksjon, hvor man ønsket å grafisk fremstille forholdet mellom operatør og maskin. Man observere en repetitiv operasjon over en viss tid, og så hvordan disse to brukte tiden sin. Dette konseptet viste seg kanskje *enda* mer relevant for byggebransjen enn i fabrikkproduksjon, da man kunne fremstille flere samarbeidende bygningsarbeideres tidsbruk og analysere sammenhengen mellom disse (Oglesby et al. 1989).



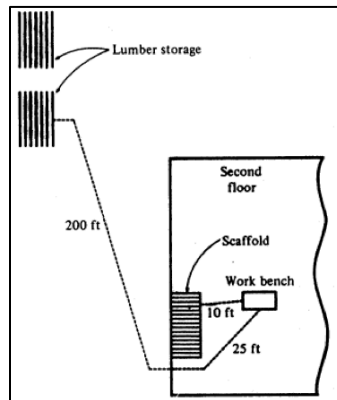
Figur 6: Eksempel på mannskapsdiagram (Oglesby et al. 1989)

Oglesby et al (1989) presiserer at man ikke nødvendigvis må beskrive arbeidet så spesifikt som teksten ved siden av søylene i diagrammet over og en nyansert nok inndeling kan være å skille mellom *utførende arbeid*, *støttende arbeid* og *ikke-arbeidende*. Disse tre kategoriene er merket med henholdsvis svart, grå og hvit søylefarge i diagrammet over.

Mannskapsdiagrammets fokus er svært nære den faktiske transformasjonen fra råmaterialer til produkt (Oglesby et al. 1989). Hvordan materialer, mannskap og oppgaver flyter gjennom systemet i det store bildet fanges dermed ikke opp, men diagrammet avslører hvorvidt det fysiske arbeidet utført er preget av sløsing .

### 3.3. Flytdiagram (flow diagram) kombinert med prosessdiagram (process chart)

Et flytdiagram viser hvordan arbeidet flyter gjennom en prosess ved å illustrere arbeidsområdet ovenfra. Hensikten er å beskrive operasjonen analytisk for å kunne finne forbedringer som kan gjøres (Oglesby et al. 1989).



Figur 7: Eksempel på flytdiagram (Oglesby et al. 1989)

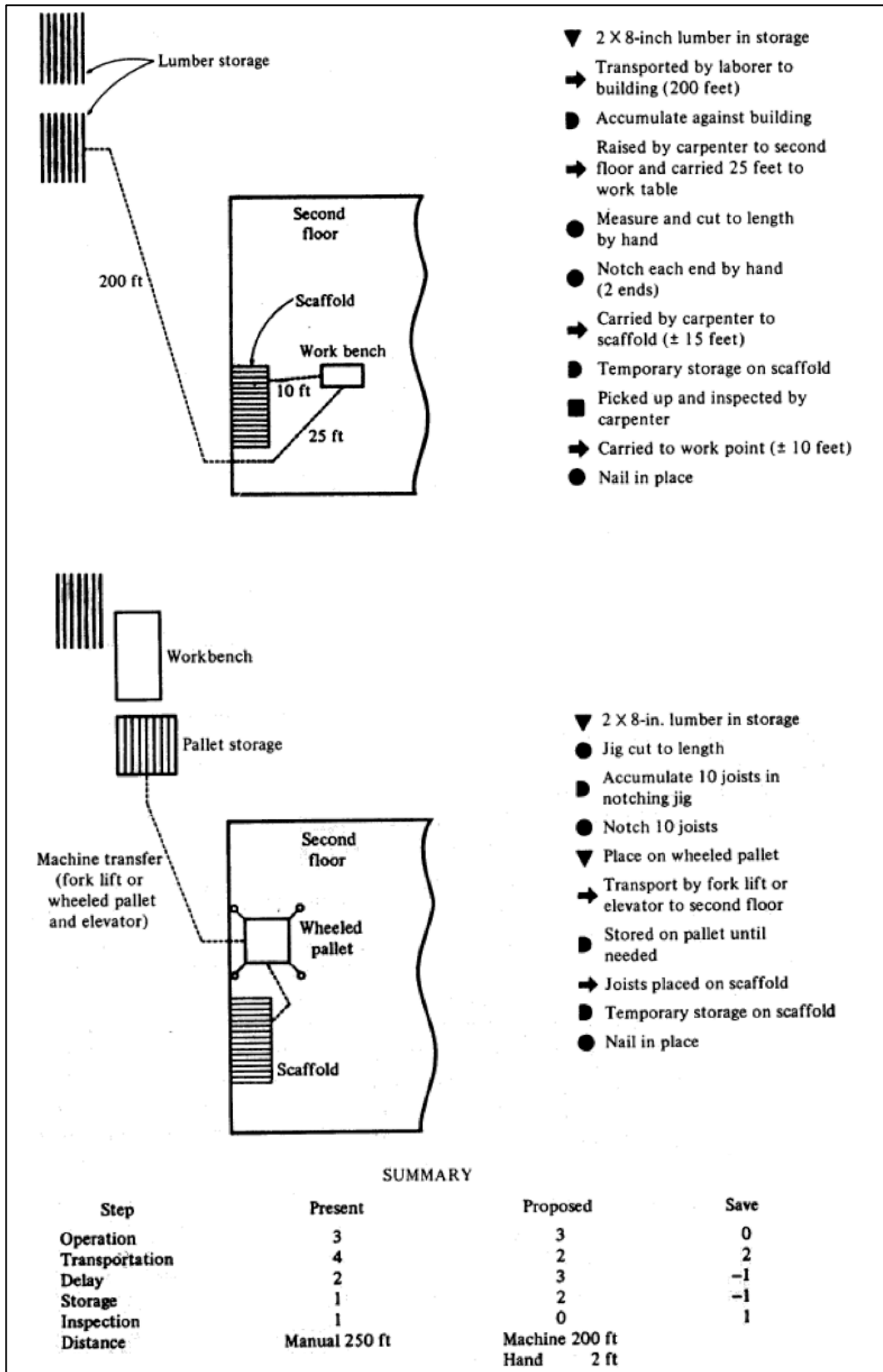
Et prosessdiagram bruker fem standard symboler til å beskrive arbeidsoperasjoner på en måte som tilrettelegger for analyse og forbedring.

Symbol	Navn	Resultat
●	Operasjon	Produseres, endres
→	Transport	Bevegelse
■	Inspeksjon	Bekreftelse, sjekk
D	Forsinkelse	Midlertidig lagring, forstyrrelse
▼	Lagring	Beholde

Figur 8: Symbolene som brukes i prosessdiagrammer (fritt etter Oglesby et al (1989))

De fleste forbedringene som finnes ved å analysere prosessdiagrammer er ifølge Oglesby et al (1989) unødvendig eller gjentakende transport. Å omorganisere de ulike handlingene ("operasjon" i figuren over) kan gi stor reduksjon i unødvendig bevegelse. Et gjennomgående problem er at ledelsen ofte er for fokusert på det pågående arbeidet til å se grundig nok fremover, fremfor å stadig vurdere hvordan arbeidet skal flyte for etterkommende operasjoner (Oglesby et al. 1989).

Det fremkommer en stor analytisk styrke ved å kombinere flyt- og prosessdiagrammer. De beskriver operasjonen på en utfyllende måte, som lettere gir leseren et inntrykk av hva som fysisk gjøres (Oglesby et al. 1989). Under finnes et eksempel fra Oglesby et al (1989) hvor disse er brukt først til å analysere en operasjon (a) og deretter foreslå en forbedret måte å utføre operasjonen på (b):

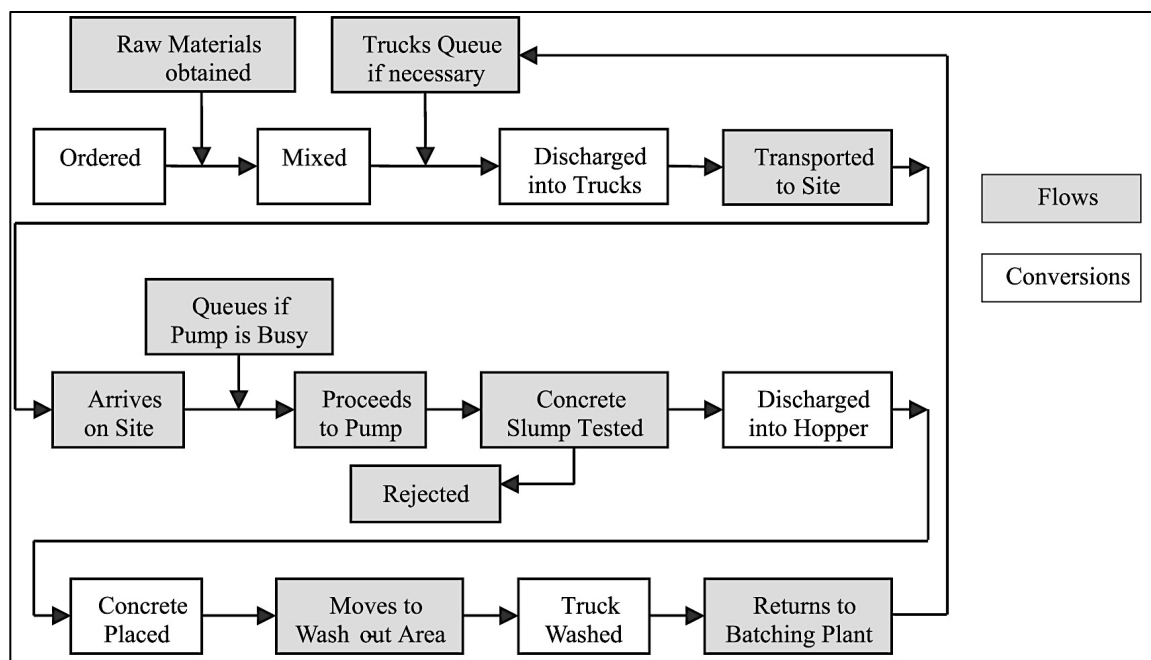


Figur 9: Forbedring av operasjon med flyt- og prosessdiagram (Oglesby et al. 1989)

### 3.4. Prosesskart (Process Map)

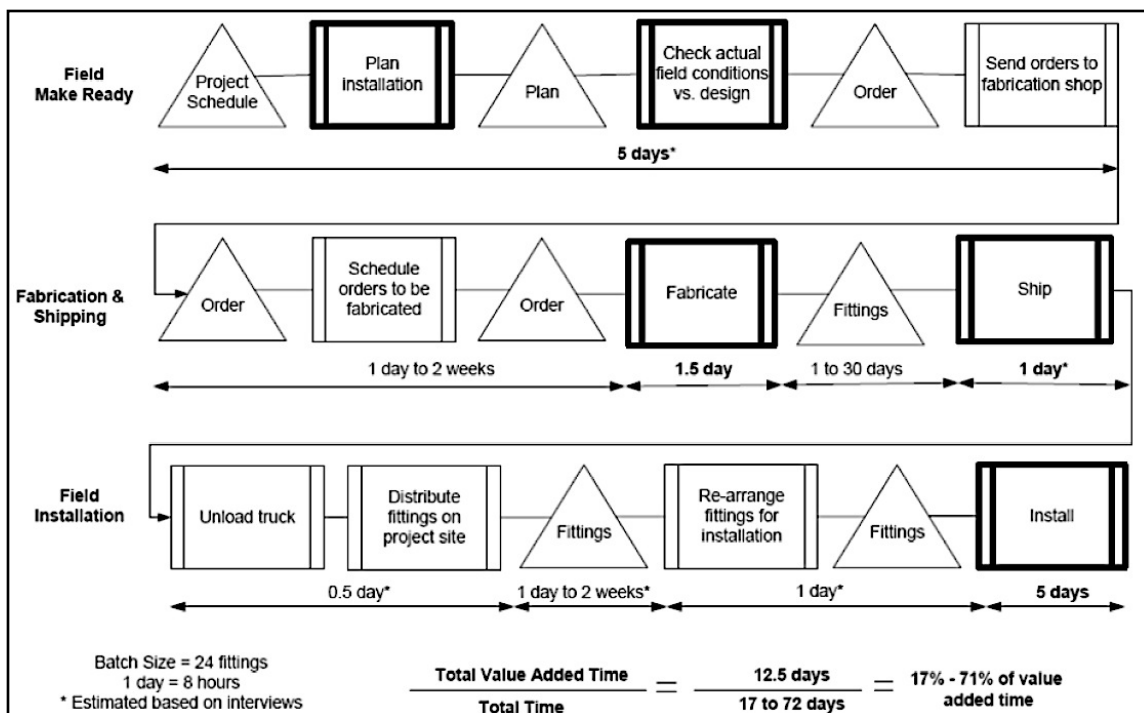
I tråd med Lean Constructions fokus på å identifisere sløsing i flytbildet, ønsker man å kartlegge materialflyten i et produksjonssystem. Et prosesskart viser behandlingen av materialene fra de entrer til de forlater systemet (ofte som ferdig produkt). ISO definerer prosesskart som: *"representation of the relevant characteristics of a process for a defined purpose."*

Man finner en rekke ulike måter å fremstille prosesskartet på med hensyn på symbolbruk og plassering av symbolene. I denne masteroppgaven er symbolbruken hentet fra Dunlop og Smith (2004), som gjennom kartlegger produksjonen med hensyn på transformasjon og flyt.



Figur 10: Prosesskart av betongstøpeoperasjon (Dunlop og Smith 2004)

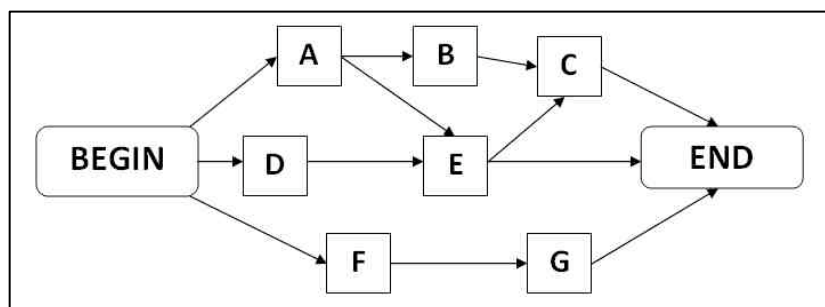
Et beslektet verktøy som er populært i Lean-sammenheng er verdistrømkart (Value Stream Map). Men dette innehar også en del annen informasjon: *"[...] VSM reveals the flow of work and information [...] reveals waste of time by displaying the cycle time for each operation and the total lead time for a process. The waste of resources such as materials, equipment, and space are easier to recognize than the waste of time, which is hidden behind unnecessary actions and movements,"*(Alves et al. 2005).



Figur 11: Eksempel på verdistrømkart (Alves et al. 2005)

All informasjon er derimot ikke alltid like enkel å fremstille. For eksempel ved veldig usikre og varierende varigheter, som ved denne masteroppgavens case studien.

Det velges kanskje også en annen layout enn den radvise horisontale fra figuren over, gjerne med inspirasjon av tradisjonell nettverksmetodikk, hvor aktiviteter går fra venstre mot høyre og piler angir hvordan de fordeler seg i ulike etterkommende aktiviteter eller flere aktiviteter kulminerer i en felles aktivitet.



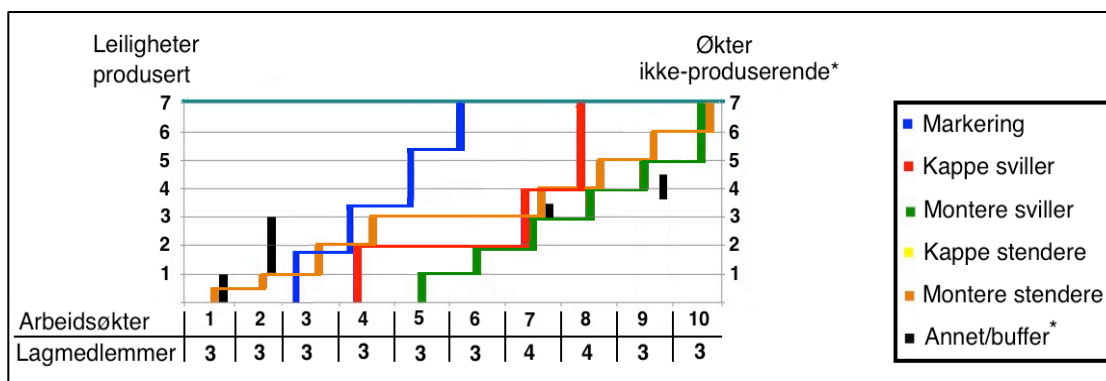
Figur 12: Nettverksmetodikk hvor ulike aktiviteter fordeler seg eller kulminerer i etterkommende aktiviteter (Project Management Knowledge 2010)

Et prosesskart kan med andre ord utformes på mange måter, men hensikten er, som navnet tilsier, å kartlegge prosessen på en så god måte som mulig.

### 3.5. Trappediagram og bemanningsdiagram

Trappediagrammet ble utviklet for dette studiet og har til hensikt å vise hvordan de ulike oppgavene i operasjonen hadde fremdrift i forhold til hverandre. Det ble utviklet fordi tross at andre kjente verktøy har samme formål, som for eksempel Line of Balance, var de ikke fullstendig velegnet til å presentere resultatene. Verktøyets utvikling ble altså drevet fram av informasjonen som presenteres, ikke motsatt. Navnet er valgt fordi linjene i diagrammet ser ut som trappetrinn.

De ulike oppgavenes akkumulerte fremdrift gjennom et bestemt tidsrom (tiden det tar å produsere én etasje i case studien) fremstilles grafisk. Det er vises hvordan deler av operasjonen samhandler og varierer over tid. Man kan i bunn av diagrammet angi nøkkelinformasjon for de ulike øktene, i dette tilfellet antall lagmedlemmer, for å klargjøre viktige forutsetninger for produksjonen.



Figur 13: Trappediagrammet viser akkumulert fremdrift for de ulike oppgavene ved en operasjon. Merk at høyre akse er for kategorien annet/buffer, markert ved (\*).

Det lønner seg gjerne å fremstille trappediagrammet sammen med et bemanningsdiagram, en oversikt over hva den enkelte arbeider til enhver tid gjør. Leses disse to diagrammene sammen, dannes et helhetlig bilde hvordan de ulike fagarbeiderne har gjort ulike oppgaver for å gjennomføre operasjonen. Merk at det brukes samme fargekoding for de ulike oppgavene som ved trappediagrammet.

Arbeider	Dag 1		Dag 2		Dag 3		Dag 4		Dag 5	
	Økt 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Arb. 1	Ann*	Ann*	M	M	M	M	Ann*/KSv	KSv	Ann*	MSv
Arb. 2	MSt	Ann*	M	M	M	M	MSv	MSv	MSv	MSv
Arb. 3	MSt	MSt	MSt	MSt/KSv	MSv	MSv	MSt	MSt	MSt	MSt
Spikersl.							MSt	MSt		
	*BAS	*PROBLEM					*DIV		*BAS	

Figur 14: Bemanningsdiagrammet viser hvilke oppgaver de ulike fagarbeiderne gjør. Merk at det er gitt en årsak (angitt med \*) når annet/buffer-kategorien opptrer.



## 4. TEORETISK RAMMEVERK

---

Her beskrives teorien som ligger som et bakteppe til den empiriske forskningen. Denne teorien ble i stor grad utformet ved fordypningsoppgaven og store deler av teksten er derfor svært kjent dersom man allerede har lest dette prosjektet.

### 4.1. Lean Construction generelt

#### 4.1.1. Hva er Lean?

Kort fortalt er Lean generelt (Production, Construction og andre bruksområder) en filosofi som innebærer å tilnærme seg produksjon på en analytisk måte, hvor man reduserer alt som er unødvendig i systemet mens man maksimerer verdi for kunden (Koskela 1992). Begrepet Lean ("slank" på norsk) ble valgt av Womack og Jones (1992) fordi det spiller på at man ved å redusere alt unødvendig, mens man beholder det essensielle, vil "fjerne dødfettet" ved produksjonen (Drevland 2012).

Moore (2011) viser til at mens man i mange bransjer tradisjonelt har prøvd å øke produktivitet ved såkalt "cost cutting", altså redusere arbeidskraft eller andre essensielle elementer, velger man ved Lean å analysere systemet og spørre seg hvordan man heller kan gjøre ting på en bedre måte med det man har til rådighet.

Mange mener Lean-tilnærmingen kan oppsummeres i følgende 5 punkter (Samudio 2012; Womack & Jones 2003):

- Spesifisere hva som er verdi i kundens øyne
- Identifisere verdistrømmen og eliminere sløsing
- Få verdi til å flyte ved kundens ønske, kundens "pull" (kundebegrepet brukes også om neste produksjonsledd som trenger et produkt av foregående ledd)
- Involvere de ansatte og gi dem innflytelse og påvirkningskraft
- Kontinuerlig se etter forbedring i jakten på perfektjon

Liker (2004) påpeker også hva Lean *ikke* er:

- En uforbeholden oppskrift på suksess
- Et ledelsesprosjekt eller -program
- Et sett verktøy som skal implementeres
- Et system forbeholdt fabrikkproduksjonsbransjen
- Implementerbart for kort og middels tidsperspektiv

Et fellestrekk for disse fallgruvene er hvordan man har den oppfatning at Lean er en samling verktøy som man skal implementere etter instruksjonene og forvente umiddelbare resultater (Alves et al. 2012; Moore 2011). Det er dessverre en vanlig misoppfatning at Lean, i likhet med lignende filosofier, blir oppfattet som en verktøykasse, som poengtert av Diekmann et al. (2004): "[...] lean cannot be reduced

*to a set of rules or tools. It must be approached as a system of thinking and behavior that is shared throughout the value stream.”*

Et sentralt for denne masteroppgaven er likevel å se hvorvidt man kan skape resultater med prinsippene i løpet av en case studie, hvilket kan vise seg å bryte med både prinsippet om å behandle Lean som en verktøykasse og implementere i et forholdsvis kort tidsperspektiv. Selv om prinsippene fra Toyota kan forbedre arbeidsoperasjonen som prosess, blir et relevant moment for drøftingen hvorvidt filosofien får fotfeste med hensyn på være- og tenkemåte.

Moore (2011) lister opp følgende karakteristikker ved et velfungerende Lean-produksjonssystem:

- Minimum inventory in the form of raw material, Work In Progress (WIP), finished goods
- Minimum product non-conformances, rework, rejects and returns
- Minimum production losses through unplanned and planned downtime, changover and transition time, rate reductions and short stops, and quality problems
- Minimum system cycle times and minimum delay times between processes
- Minimum variability in production rates and processes
- Minimum unit cost of production
- Excellent on-time delivery performance, customer satisfaction and gross profits
- Continuing focus and improvement in market share; you're better than you were yesterday, but not as good as you'll be tomorrow!

Et av de viktigste produktene fra rapporten til (Koskela 1992) var en liste med 11 prinsipper for hvordan man skulle designe, kontrollere og forbedre produksjonssystemet i tråd med den nye filosofien:

1. Reduce the share of non-value adding activities
2. Increase output value through systematic consideration of customer requirements
3. Reduce variability
4. Reduce cycle time
5. Simplify by minimizing the number of steps, parts and linkages
6. Increase output flexibility
7. Increase process transparency
8. Focus control on the complete process
9. Build continuous improvement into the process
10. Balance flow improvement with conversion improvement
11. Benchmark

På operasjonsnivå, som ved case studien som presenteres i denne masteroppgaven, er flere av punktene i denne listen viktige.

Lean Construction er en filosofi som griper helhetlig inn i mange aspekter av byggeorganisasjonen og byggeprosessen, og det en måte å beskrive filosofiens innvirkning er å beskrive den i ulike lag (Pekuri et al. 2012):

#### Folk og kultur

- Kunden først
- Kontinuerlig forbedring
- Respekt for mennesker

#### Gjøremåter

- Eliminere sløsing, ujevnheter og overbelastninger
- Standardisering
- Visuell ledelse

#### Verktøy og metoder

- Lean Production (arven fra Toyota)
- Lean Product Development (all tilgjengelig kunnskap involvert tidlig i utviklingsfasen, bemanne prosjektet med dyktige folk)
- Lean Construction (Lean Production tilpasset byggebransjen)

### 4.1.2. Lean Construction vs Lean Production

Lean Production (også ofte kalt Lean Manufacturing) er altså opphavet til alle Lean-bruksområder, inkludert Lean Construction. Derfor er et svært vanlig spørsmål: *"Er ikke Lean Construction bare det samme, men brukt på byggeplass istedenfor i en fabrikk?"* (Alves 2012d). Svaret avhenger litt av hvordan man ser det, men et vanlig svar er at det er samme filosofi med noen modifikasjoner som tilpasser den byggebransjen (Koskela 1992).

Noen områder som skiller bygge- og fabrikkproduksjon er:

- En byggeplass innehar noen helt forskjellige forutsetninger enn en fabrikk. Samme areal som arbeidet skal fysisk foregå på, skal materialleveransen gjøres, samt at på det samme arealet skal produktet skride frem (Alves 2012d; Oglesby et al. 1989)
- Byggeprosjekter og underliggende operasjoner er relativt kortvarige og kan vanskelig endres stort før de er fullførte (Oglesby et al. 1989).
- Byggebransjen er prosjektbasert dermed tidsavgrenset fremfor fabrikkproduksjonsbransjens kontinuerlige tidsperspektiv (Salem et al. 2006)
- Prosjektformatet medfører også at ulike aktører entrer prosjektet til ulike tidspunkt og med varierende ansvarsfølelse (Matthews et al. 2003)
- Leveransene i fabrikkproduksjon er drevet av kundenes bestilling, mens de i byggesammenheng er drevet av planer (Salem et al. 2006)

- Produktet av byggeprosjekter er vanligvis unikt og ikke gjentakende i motsetning til i fabrikkproduksjon (Oglesby et al. 1989).
- Sluttbrukeren og eieren er ofte langt mer involvert i byggeprosjekter enn i fabrikkproduksjon (Oglesby et al. 1989).

Howell (1999) påpeker at en vesentlig forskjell mellom bransjene er at fabrikkproduksjon innebærer forutsigbar og repetitiv produksjon av et stort antall av det samme produktet, mens byggeprosjekter ofte er unike og kompliserte: *“Manufacturers make parts that go into projects but the design and construction of unique and complex projects in highly uncertain environments under great time and schedule pressure is fundamentally different from making tin cans,”*.

Han sier likevel videre at tross bransjenes ulikheter, finnes det overordnede likheter innen å optimalisere produksjonsmetoder, maksimere verdiskapningen og redusere sløsing. Gjennombruddet for Lean i byggsammenheng ble gjort i 1992 ved Lauri Koskelas rapport *Application of The New Production Philosophy to Construction*.

Der man i byggebransjen hadde for lite fokus på den totale verdiskapningen og for mye fokus på transformasjon, skulle denne produksjonsteorien beskrive byggeprosjekter på en helhetlig måte (Jørgensen & Emmitt 2008). Koskela (1992) etablerte TFV-teorien som et rammeverk for Lean i byggsammenheng, hvor transformasjon (T) var det fysiske arbeidet, flyt (F) var materialer og arbeid som beveget seg mellom arbeidsoperasjoner (delprosesser) og verdi (V) var hvor mye funksjon det overleverte produktet gav kundens, hvor kunden ikke bare refererer til den endelige kunden, men også mellom fag og produksjonsenheter i en leverandør-kunderelasjon (Kalsaas et al. 2010; Kelly et al. 2008).

Det er en stadig vurdering i fagmiljøet hvordan vi i byggeprosjekter kan bruke flere suksessfulle prinsipper fra på fabrikkproduksjon (Salem et al. 2006). Samtidig som man er klar over forskjellene mellom fabrikkproduksjon og bygg, mener mange at selve nøkkelen for at Lean Construction skal lykkes må arbeidsmetodikken i bygg i større grad *tilnærmes* arbeidsmetodikken i fabrikkproduksjon. For eksempel har man etter årtusenskiftet i langt større grad har tatt i bruk elementer av industrialisering, som prefabrikasjon og standardisering av arbeidsoperasjoner (Berg 2008; Howell & Ballard 1998).

#### **4.1.3. Lean Constructions svar på byggebransjens tradisjonelle utfordringer**

I innledningen ble flere av bransjens utfordringer nevnt og gjennomføringsmodellen pekt på som en direkte årsak til flere av disse. Men er det en korrelasjon mellom svakhetene bransjen har i dag og styrkene til Lean Construction?

*Planleggingen er upålitelig og man mangler produksjonskontroll*

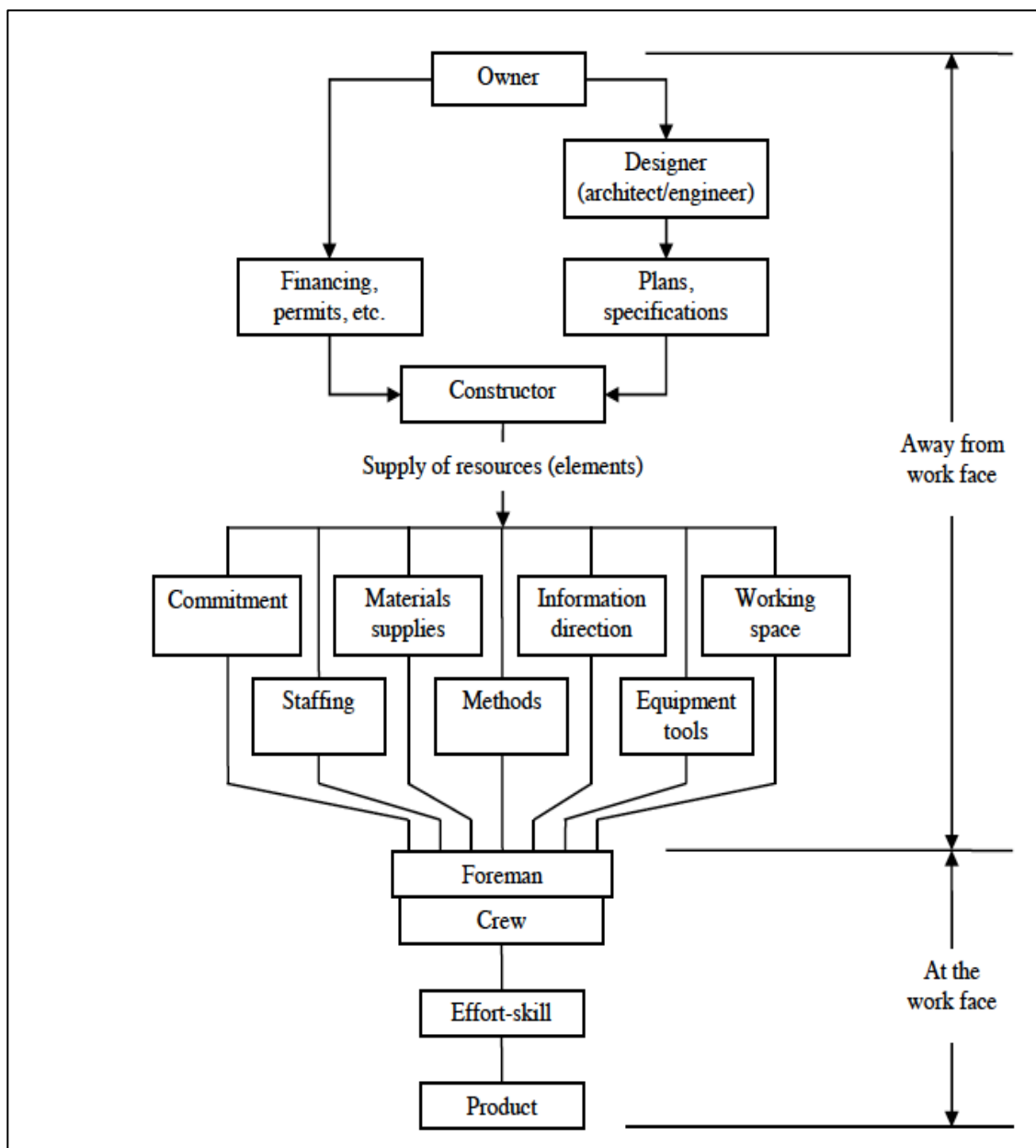
PPU er i dag på omtrent ca. 35-65% i gjennomsnittlige byggeprosjektet, altså fullfører vi ukentlig omtrent halvparten av våre planlagte oppgaver (Ballard 2000). Det hevdes av flere at disse tallene skyldes dårlig planlegging og samhandling, at

ansvar ikke blir tatt, løfter ikke blir holdt og en mentalitet som preges av opportunisme og egen økonomisk vinning fremfor samhandling for det felles gode (Kalsaas et al. 2010; Matthews et al. 2003). Videre er ifølge Ballard og Howell (1998) en sentral årsak at det i praksis finnes lite eller ingen produksjonskontroll utover det de utførende gjør selv.

Prosjekter med Lean Construction-filosofien godt forankret i organisasjonen og et produksjonssystemet som yter deretter, har derimot gjerne PPU på over 80% (Ballard 2000). Med andre ord blir minst 4 av 5 planlagte oppgaver utført på et ukentlig basis. En sentral grunn til dette er at Lean Construction-kulturen bygger på mer samhandling og åpenhet i prosjekter, blant annet ved planleggingsmetodikken Last Planner System (Ballard 2000).

Ved å øke involveringen av de utførende i planleggingen tilrettelegges det for produksjonskontroll, hvilket innebærer at prosjektledelsen involveres i å vurdere den nåværende arbeidspraksisen sammen med arbeidslaget (Ballard & Howell 1998). En viktig prosess i dette ved Last Planner er å undersøke blant annet PPU og årsaker til hvorfor arbeid ikke ble utført, og bruker informasjonen til å bedre tilrettelegge det videre arbeidet (Ballard 2000; Samudio 2012).

I tillegg til at et pull-system som LPS øker samhandlingen og fjerner misforståelser, medfører det at variabiliteten reduseres ved at arbeid blir planlagt på bakgrunn av hva produksjonssystemet *kan*, fremfor hva ledelsen *vil*, produsere. Pull-systemer beskrives nærmere i delkapittel 4.3.2. Last Planner medfører at oppgaver blir planlagt av de utførende og at oppgaveflyten i langt større grad er hensiktsmessig i forhold til systemets evne til å motta arbeid. Den beste måten å sikre at de riktige oppgavene planlegges; som er sunne og veldefinerte og har riktig størrelse og rekkefølge (Ballard 2000), sikres ved at de som planleggere er så nære utførelsesleddet som mulig (Oglesby et al. 1989).



Figur 15: Aktørenes nærhet til arbeidet (Oglesby et al 1989)

*Produktiviteten på byggeplass er lav*

Ingvaldsen og Edvardsen (2007) gjorde DEA-analyse på 122 norske boligprosjekter, hvilket innebærer å analysere sammenlignbare prosjekter på utvalgte faktorer som kan måles kvantitativt. De fant 21% forbedringspotensial fra de gjennomsnittlige prosjektene til de beste. Mye av prosjekters ytelse er relatert til verdiskapningen på byggeplass, og Byggekostnadsprogrammet (2010) fant et produktivitetstap på 20-30% grunnet heft på byggeplass.

Det finnes med andre ord et stort potensial for bedring i produktivitet. Verdiskapningen skjer riktignok i transformasjonen, og forbedringsfokuset har derfor tradisjonelt vært rettet mot denne delen av prosessen, mens man i Lean-filosofien mener at det største potensialet for forbedring er i mekanismene som skjer *rundt* transformasjonen, altså flyten (Koskela 1992). Kalsaas (2010) viser til at nettopp grunnet dårlig flyt mellom aktivitetene, brukes kun 41-59% av tiden på faktisk transformasjon.

Det har ifølge (Kalsaas et al. 2010) med leantenkingen blitt *"et skifte av fokus over til også å se på det som skjer mellom operasjonene, [...] arbeide med å redusere varer i arbeid, omstillinger av utstyr, strømlinjeforme layout, redusere lager, øke oppetiden på utstyret, redusere variasjon (økt standardisering) etc."*

Fokuset på flyt indikerer *hvor* man vil lete etter sløsing og *Kaizen* er et prinsipp fra Toyota som beskriver *hvordan* man skal lete: Man skal aldri slutte å søke forbedring, og alle i produksjonen skal involveres i å stadig gjøre praksisen bedre (Imai 1997; Moore 2011). Man skal være bedre i dag enn i går, og bedre i morgen, mens man jakter på en situasjon hvor man har fjernet all sløsing i produksjonssystemet.

#### *Mangel på kontinuitet og læring*

Det oppleves lav grad av læring fra ett prosjekt til det neste (Samudio 2012). Et godt eksempel på det er at de samme feilene forekommer gang på gang fordi de ofte rettes "uten at noen får vite om det" da det oppleves som en høy terskel for å melde fra (Thune-Holm 2009). 10-20% av total prosjektkostnad går med til oppretting av feil (Cnudde 1991; Thune-Holm 2009) og omtrent 10% av tiden i prosjekt brukes til endringsarbeid (Jonsson 1996; Kalsaas et al. 2010).

Produksjon i bygg er riktignok prosjektbasert, hvilket medfører en avgrenset tidsramme og en midlertidig organisasjon (Matthews et al. 2003; Salem et al. 2006), og tross at entreprenører gjerne forsøker å kontinuerlig forbedre seg, er det en utbredt holdning i bransjen at etter ett prosjekt går man hurtig inn i det neste uten en ordentlig sluttevaluering eller erfaringsdokumentasjon (Samudio 2012).

Med forbedringstankegangen *Kaizen* og feilbehandlingsmekanismen *jidoka* klarte Toyota å skape en kontinuerlig læringsprosess for å unngå gjentakelse av feil som var så godt at man hadde en oppfatning av at samme feil aldri skjedde to ganger (Womack et al. 1990). I rapporten sin skrev Koskela (1992) 11 prinsipper for Lean Construction, hvor ett av dem var: *"Build continuous improvement into the process."*

Det er med dette grunnprinsippet man i Last Planner har satt jakten på rotårsaker til mangelfull utførelse så høyt: Man vil identifisere dem og lære, både innad i prosjektet og til det neste, slik at man ikke gjør samme feil igjen (Ballard 2000; Samudio 2012). *"You're better than you were yesterday, but not as good as you'll be tomorrow!"* (Moore 2011).

## 4.2. Implementering av Lean Construction

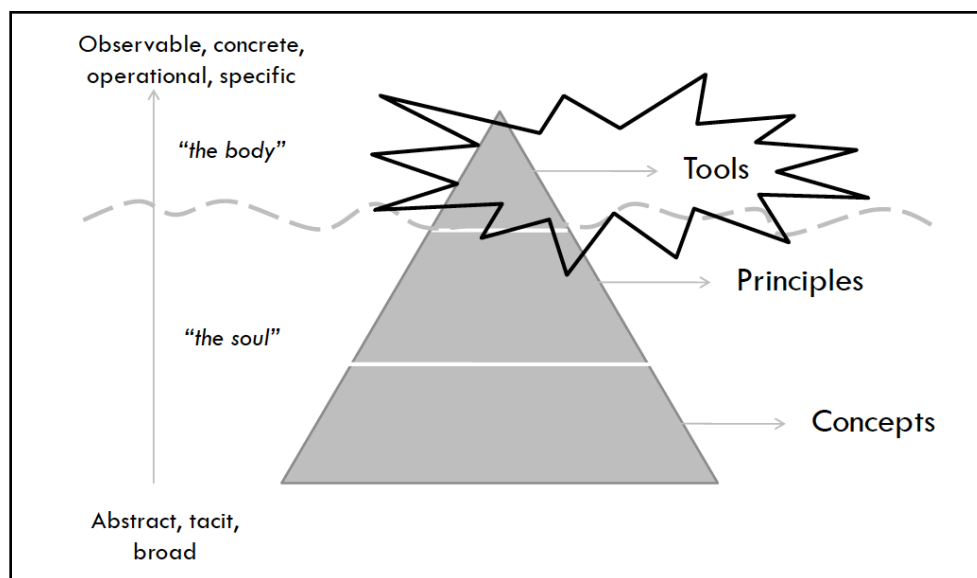
*"En framtreddende erfaring fra prosjektet er at det har vært mer ressurskrevende å implementere Last Planner enn først antatt. Lean-prosjektet har brukt betydelige ressurser, og flere av byggeprosjektets representanter har uttrykt at uten denne støtten hadde de aldri holdt ut med den motgangen og systemtilpasningen som har blitt gjennomført før de ble overbevist om effekten. Ressursbruken og støtten i implementeringsfasen er derfor helt nødvendig for å få suksess i Last Planner implementering, undervurdering av dette er trolig den største trusselen mot suksess."*

- Kalsaas et al. (2010)

### 4.2.1. Teori før praksis

Det er stor enighet om at for å lykkes med en filosofi som Lean Construction, trenger man riktig tilnærming: *"If the foundation isn't built on solid ground, all the tools in the world won't help you [...] That is, companies who try to use the tools before getting the foundational elements in place will be sorely disappointed by Lean [...] The last step in The Toyota Way is using the tools. Yet so many companies go with the tools first."* (Moore 2011).

Alves (2012d) foreslår at riktig tilnærming til Lean Construction er å først forstå konseptene (abstrakte byggeklosser i teorien), deretter prinsippene (hvordan konseptene kan realiseres gjennom handling) og til slutt verktøyene som skal brukes for å utføre prinsippene. Howell (1999) sier: *"The first goal of lean construction must be to fully understand the underlying "physics" of production."*



Figur 16: Konsepter, prinsipper og verktøy (Alves 2012d)



#### 4.2.2. Forankring i organisasjonen

Lean er en filosofi som må forankres i hele organisasjonen for å fungere optimalt. Det er vanskelig å utrette særlig forskjell om det kun er en begrenset del av systemet som bruker Lean (Byggekostnadsprogrammet 2010). Fordi Lean Construction er så forskjellig fra tradisjonell gjennomføring, blir det vanskelig å implementere riktig eller i tilfredsstillende tempo dersom man ikke gir filosofien godt nok fotfeste i produksjonssystemet (Howell 1999). For denne masteroppgaven, behandles derfor spørsmålet hvorvidt studien er stort nok omfang for suksessfull implementering.

Videre er det en naturlig dualitet mellom Lean Construction og organisasjonen; begge må respektere den andre for å fungere optimalt sammen. Det menneskelige aspektet må både tas hensyn til og utnyttes for å få optimal ytelse (Ballard 2013), og samtidig må menneskene være åpensindige for filosofien. Byggekostnadsprogrammet (2010) hevder faktisk at gode holdninger i produksjonssystemet er en større bidragsyter enn hvilken kontraktsform som velges. Toyota anså mennesker som ressurser fremfor kostnader i systemet, noe Lean Construction ivaretar blant annet ved Last Planner System.

#### 4.2.3. Rammeverket bak suksessfullt endringsarbeid

Fischer (2011) sier at endring kan defineres som visjon, ferdigheter, incentiv, ressurser og handlingsplan, og påpeker at: *"Uten en visjon blir man forvirret; uten ferdigheter blir man fortvilet; uten incentiver oppnår man bare en gradvis endring; uten ressurser blir man frustrert; uten en handlingsplan gir man endringer en "falsk start"*. Dette kan oppsummeres ved en tabell fra Larson (2003, referert i Østby-Deglum et al., 2013), s. 224:

Vision	+	Skill	+	Incentive	+	Resources	+	Action Plan	=	Change
<del>Vision</del>		Skill	+	Incentive	+	Resources	+	Action Plan	=	Confusion
Vision	+	<del>Skill</del>		Incentive	+	Resources	+	Action Plan	=	Anxiety
Vision	+	Skill	+	<del>Incentive</del>		Resources	+	Action Plan	=	Gradual Change
Vision	+	Skill	+	Incentive	+	<del>Resources</del>		Action Plan	=	Frustration
Vision	+	Skill	+	Incentive	+	Resources		<del>Action Plan</del>	=	False Start

Figur 17: Riktig måte å skape endring på (Larson 2003)

#### 4.2.4. Organisatoriske utfordringer ved implementering

Hva så med menneskelige hindringer som kan stå mellom produksjonssystemet og nye filosofier og arbeidsmåter? Hitt et al. (1989, referert i Østby-Deglum et al., 2013, s. 221-222) viser til følgende utfordringer når noe nytt skal implementeres:

- **Ansattes holdninger og vaner:** Disse er ofte dypt innarbeidet og henger nøye sammen med dagens praksis. For å endre praksis, må man først begynne med å endre holdningene og vanene.
- **Angst for noe nytt:** Alt nytt er ukjent, og alt ukjent finnes det en naturlig skepsis mot å prøve.
- **Samhørighet:** I en organisasjon vil samarbeidende arbeidsgrupper dele syn om at alt nytt er farlig og vil se endringer som en trussel mot de positive aspektene ved arbeidssituasjonen og dagens organisering.
- **Organisasjonens struktur:** Med en ny gjennomføringsmodell kommer nye regler, rutiner og retningslinjer. Dette faller i dårlig jord hos de som hyller den gamle måten å gjøre ting på. Store organisasjoner har ofte vanskeligere for å endre strukturen sin på kort tid.
- **Mangel på gjensidig tillit fra ansatte:** Dersom initiativtakerne til endringen ikke har tillit eller evner å kommunisere overbevisende nok i forkant, vil de påvirkede spørre seg selv hva motivet med endringen egentlig er og hva de kommer til å miste som en konsekvens av endringen.
- **Tro på tidligere suksess:** Fordi den eksisterende arbeidspraksisen sannsynligvis allerede er en forbedring av noe, vil ansatte spørre seg hvorfor det skal søkes ny suksess når det som allerede brukes tydeligvis er en suksess (men da bare relativt til det tidligere alternativet).
- **Jobbusikkerhet:** Ansatte i organisasjonen har kanskje ferdigheter som er tilpasset sitt bruksområde. En endring vil naturligvis få dem til å spørre seg hvordan de vil passe inn i den nye måten å gjøre ting på, og om man vil bli overflødig og miste jobben.
- **Organisasjonskultur:** En sterk organisasjonskultur kan medføre at mange ser på dagens måte å gjøre ting på som en del av identiteten til organisasjonen, og dermed skape usynlige barrierer mot endring.

Salem et al. (2006) viser til store utfordringer ved implementering av Lean Construction-verktøy på byggeplass for sin case studie. Thune-Holm (2009) sier at "vi undervurderte utfordringene rundt åpenhet, kultur, prosess og kunnskap," i arbeidet med å innføre et verktøy for feilkostnadsregistrering hos Veidekke, Kruse Smith, Selvaag og Skanska. Disse forholdene var såpass hemmende at nødvendig datagrunnlag ikke ble innsamlet og resultatene fra prosjektsøknaden ikke levert.

#### 4.2.5. Langsiktighet

En grunnpilar i Lean-filosofien er langsiktig tidsperspektiv; å anerkjenne hvor man er i dag og søke kontinuerlig forbedring for å stadig nærme seg perfektjon (Moore 2011). Kontinuerlig forbedring kalles *Kaizen* fra japansk, og det er alle ansattes

ansvar å komme med forslag til forbedring gjennom idémyldringer, ukentlige gruppemøter og lignende (Liker 2004). Ved den kontinuerlige forbedringen skal man ta korte, stødige skritt mot perfektjon ved inkrementelle endringer. Dermed er Kaizen "billig, har lav risiko og stillegående" (Moore 2011). Alternativet, *Kaikaku*, betyr radikale endringer og vil ifølge Moore (2011) i sitt forsøk på å finne "the next big thing" være en dyr tilnærming med høy risiko.

Som Liker (2004) påpeker, er ikke noen form for Lean ment som en rask, uforbeholden løsning på et problem. Å ta stilling til viktigheten av nok tids- og ressursbruk har naturligvis vært et sentralt element i denne masteroppgaven, da case studien har begrensninger med hensyn på begge disse aspektene. Forhåpningen er at man på operasjonsnivå vil ha lettere for å raskt påvirke de involverte i en positiv retning fremfor større implementeringer hvor man må overbevise store deler av organisasjonen.

#### 4.2.6. Fagarbeiderne som ressurs

I *The Machine That Changed the World* forteller Womack et al. (1990) at Toyota anså de ansatte som en ressurs fremfor bare en nødvendig produksjonskostnad. Man innså ved Kaizen, det kontinuerlige arbeidet mot bedre praksis, at de ansatte var den beste kilden til ideer (Moore 2011): "Most if not all of your people want to do a good job. Trust them to do one, challenge them to improve by solving problems at their level of responsibility and they will and will be proud of their work, and the business will do better."

Moore (2011) hevder videre at større premiering ikke stimulerer til bedre forbedringsarbeid i en bedrift, men summen av flere små ideer har langt bedre økonomisk påvirkning. I figuren under sammenlignes en japansk firmakultur med stor involvering av de ansatte, stort volum ideer og lav premiering per idé fremfor en amerikansk firmakultur med lav involvering, få ideer og høy premiering.

	Japan	US
New ideas per employee	37.4	0.12
Participation rate	77.6%	9%
Adoption rate	87.3%	32%
Net savings per idea	\$126	\$6,114
Net savings per 100 staff	\$422K	\$23K
Average reward per idea	\$2.83	\$602

Figur 18: Økonomisk utbytte av ideer (Moore 2011)

Thune-Holm (2009) påpeker hvordan feilkostnader påvirker alle involverte i byggeprosjekter:

- Selskapet (resultat)
- Byggherre (pris og kvalitet på bygget)
- Ansatte (lønn og bonus)
- og for deres kjøpere (sluttbrukerne)

Ansatte i entreprenører har dermed direkte påvirkning på sin egen inntekt både ved akkordlønn og bonus ved at firmaet produserer mer effektivt (Thune-Holm 2009). Samtidig påpekes det i samme rapport at det er en sterk kultur i byggebransjen for å rette feil på stedet uten å melde ifra for forbedring til neste gang. Årsaken er at konsekvensen av feil ofte er at noen blir utpekt som sydebukk fremfor at feil ansees som en anledning for læring.

Oglesby et al. (1989) påpeker faktisk at blant de fire partene involvert i byggeproduksjon (eier, prosjekterende, administrasjon og fagarbeidere) er årsaken til feil og forsinkelser *sjelden* arbeiderens skyld: *“Actually these deficiencies may have been brought about by actions, or lack of actions, or errors of the other three parties; their failure to perform has made it impossible for craftsmen or crews to be productive.”*

Å vurdere feil som en mulighet til læring fremfor en jakt på en sydebukk er en hjørnestein i Lean Construction (Ballard 2000). Kanskje er det faktisk en fordel at byggeprosjekters produksjonssystemer er mennesker fremfor maskiner ved at disse har fornuft og kan bidra til å identifisere og løse problemer og forbedre eksisterende praksis. Å utnytte at et byggeprosjekt er et produksjonssystem av mennesker til det beste for organisasjonen er i alles interesse (Ballard 2013).

### 4.3. Lean Construction i produksjonssystemet (ved TFV-modellen)

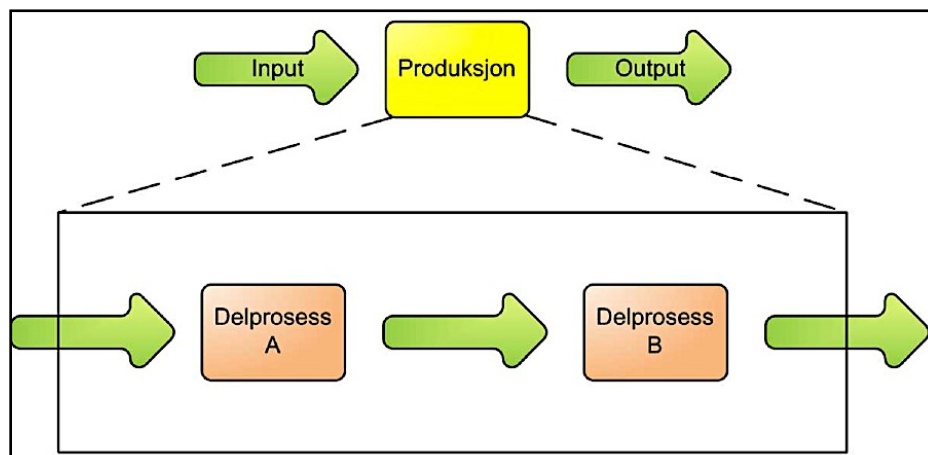
Det følgende kapittelet tar sikte på å forklare Lean Construction i sammenheng med teori om produksjonssystemet og skal gi forståelse av hva Lean Construction er på en inngående og systematisk måte.

Når prinsippene bak Lean Construction skal utgreies, er det hensiktsmessig å bruke en forklaringsmodell som setter det hele i sammenheng. Koskela (1992) innførte den såkalte TFV-modellen, hvor alle prosesser omtales fra et perspektiv på transformasjon, flyt og verdi, og denne er valgt som forklaringsmodell for det følgende delkapittelet.

#### 4.3.1. Transformasjon

##### *Definisjon*

Tradisjonelt har man byggebransjen kun ansett produksjon som transformasjon, fremfor hele TFV-bildet (Koskela 1992; Østby-Deglum et al. 2013). Transformasjon omfatter selve prosessen hvor man omformer ressurser til produkt. Man kan omtale prosessen som *"a conversion of an input to an output,"* (Alves 2012d). Med input menes ressurser som materialer, mannskap og utstyr.



Figur 19: Transformasjon (Drevland 2012)

##### *Underprosesser og sammenheng*

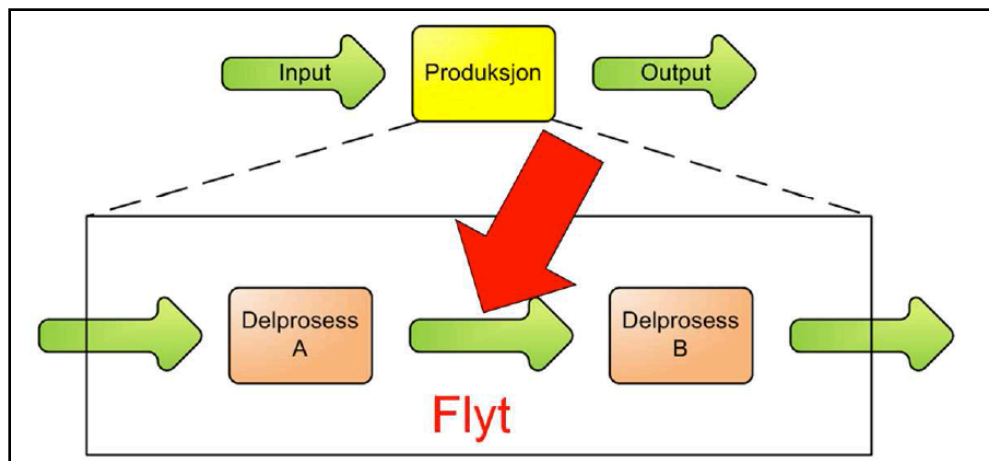
Transformasjonsprosessen kan også deles inn i underprosesser helt ned til prosesser man ikke kan dele opp i mindre biter (Østby-Deglum et al. 2013). Utfra å kun fokusere på transformasjoner i produksjon, kan man trekke følgende slutninger: Kostnaden til en totalprosess kan minimeres ved å minimere kostnaden til hver delprosess, og verdien outputen fra en prosess er assosiert med kostnaden, eller verdien, til inputen til prosessen (Koskela 1992). Dette fokuset på kun

transformasjon blir likevel feil i forhold teorien fra Toyota, da det ikke tar hensyn til potensialet for sløsing i systemet *rundt* transformasjonen. Derfor må transformasjon sees i sammenheng med flyt og verdi.

### 4.3.2. Flyt

#### Definisjon

”Det som skjer mellom de verdiskapende aktivitetene kaller vi flyt.” (Østby-Deglum et al. 2013). Koskela (1992) definerer flyt som: ”Production is a flow of materials and/or information from raw material to the end product (...) In this flow, the material is processed (converted), it is inspected, it is waiting or it is moving. These activities are inherently different.” Altså kan vi si at flyt er alt som foregår mellom transformasjonsprosessene i produksjonen.



Figur 20: Flyt (Drevland 2012)

#### Flyt innenfor og mellom prosesser

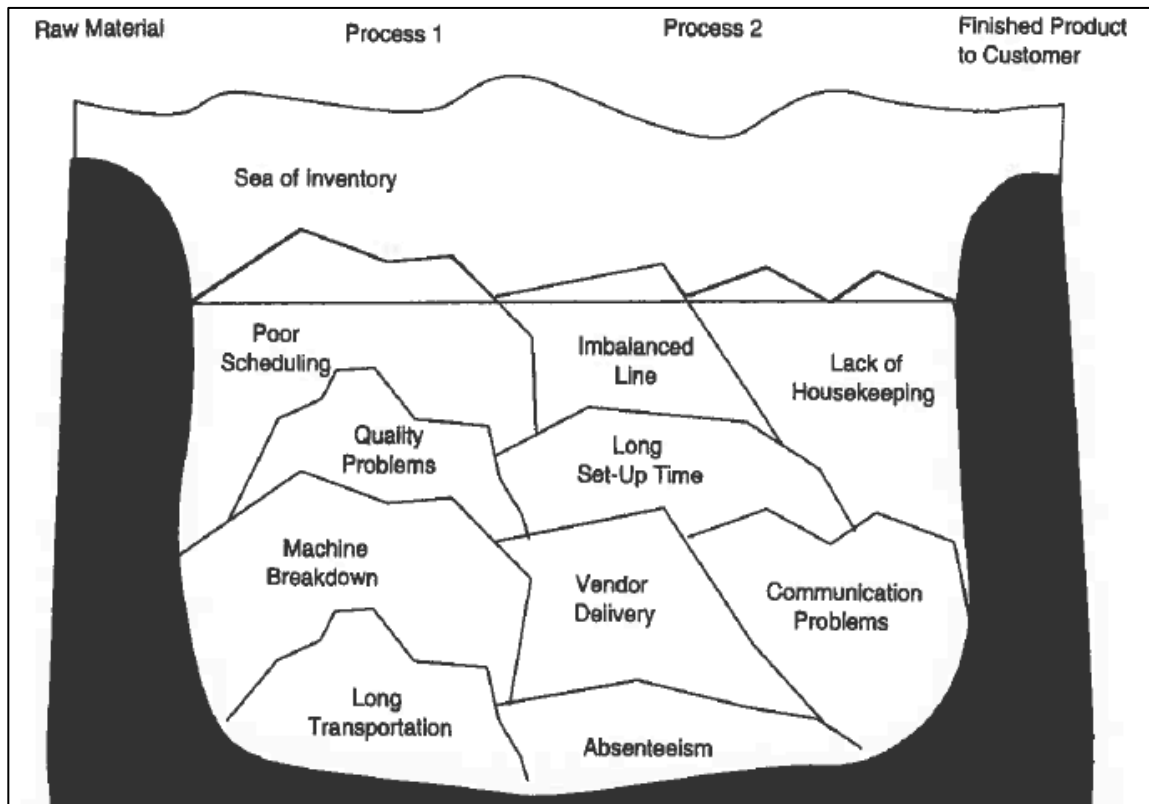
Videre skiller Ballard (2000) mellom flyt *innenfor* en enkelt transformasjonsprosess og *mellom* transformasjonsprosessene. Både Ballard (2000) og Koskela (1992) understreker at hvorvidt flyten i systemet er god i svært stor grad påvirker hvor effektiv produksjonen er.

#### Et hav av inventar (Sea of Inventory)

Et komplisert flytbilde skaper mye sløsing i form av tids- og ressursbruk på å lete etter materialer, utstyr og informasjon. Womack (1992) påpeker at en av hovedtankene ved slank produksjon ved Toyota var at man ved minimalt av materialer og utstyr lettere ville avdekke feilene i systemet. Dessverre er et vanlig svar på et produksjonssystem med mye upålitelighet nettopp å øke mengden inventar: ”We manage all of these delays and variability by keeping buffer stocks – extra raw material, WIP between processes, and finished goods. The greater the

*variability (unreliability) in these delays and production output, the greater the need for this inventory. But, this inventory can actually be counter-productive; it hides the problems,” Moore (2011).*

Metaforen ”sea of inventory” forklarer problemet: Jo mer vann (inventar), jo vanskeligere blir det å oppdage skjærene (problemene i systemet) under overflaten.



*Figur 21: Et hav av inventar (Moore 2011)*

### *Effektene av god flyt*

Byggekostnadsprogrammet (2010) kan etter implementering av Lean Construction peke på merkbar bedring på flere områder, hvor flere er direkte knyttet til flyt:

- Samarbeid med andre fag
- Mindre konflikter
- Ryddighet og orden på byggeplass
- Planlegging
- Fremdriftsstyring
- Klargjøring av byggeplass
- Ressursstyring
- Logistikk
- Mindre sommel og heft

Dette er alle velkjente problemområder på en byggeplass og rammer ressursbruk, effektivitet og arbeidsmiljø hardt. At det finnes en direkte korrelasjon mellom forbedret flyt og å løse disse problemene er selvsagt for mange, men likevel har bransjen en lang vei å gå på området. Man ser også helt intuitivt hvordan problemområdene som påpekes av Byggekostnadsprogrammet (2010) lettere avdekkes og løses ved å redusere inventarmengden.

### *Ideell flyt*

Så hvordan ser flyten ut i et optimalt produksjonssystem? Mitropoulos (2013) definerer det på følgende måte: *“The Ideal Material System delivers what is needed when it’s needed with the least possible amount of effort.”* Et slikt ideal kan selvsagt aldri realiseres 100%. Men man kan komme nærmere enn dagens situasjon, hvor det er stor enighet om at flyten av materialer, utstyr og informasjon på byggeplassen er langt fra optimal (Byggekostnadsprogrammet 2010).

### *Just In Time (JIT)*

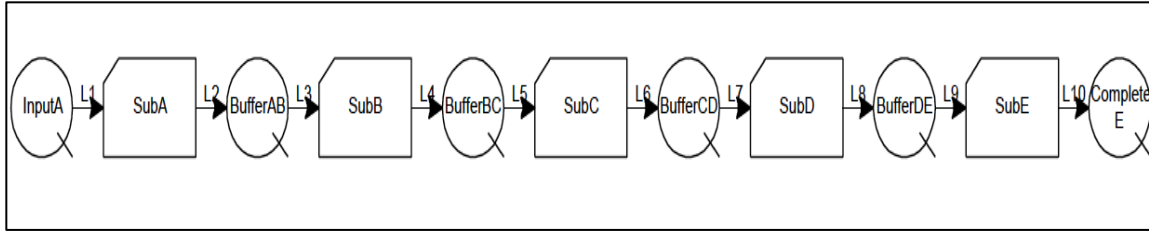
Toyota-systemet baserte seg på å fjerne alt unødvendig i produksjonsprosessen, inkludert materialer som unødvendig ble stående urørt på produksjonsområdet. Å bestille materialer Just In Time innebar å få dem levert så sent som mulig, helst slik at materialene ankom akkurat da de trengtes og gikk direkte inn i produksjonen uten å måtte lagres først. JIT ble et nøkkelpriipp for å nærme seg det ovennevnte idealet med hensyn på flyt, og ble dermed sterkt forbundet med lean-begrepet (Moore 2011). Pheng og Chuan (2001) sier at *“the ultimate objective of JIT, or lean production, is to supply the right materials at the right time and in the right amount at every step in the process.”*

### *Variabilitet*

En grunnleggende faktor som påvirker påliteligheten i flyten, kalles variabilitet (Alves 2012d; Østby-Deglum et al. 2013). Variabilitet i produksjonssammenheng innebærer at aspekter ved produksjonsprosessen varierer, som for eksempel kvalitet og tidsbruk på oppgaver (Drevland 2012). I denne masteroppgaven fokuserer vi på sistnevnte. Denne kan videre deles inn i prosessvariabilitet (variasjon i transformasjonsprosessers gjennomføringstid) og flytvariabilitet (variasjon i tiden ting bruker på å flyte fra en transformasjon til neste).

Variabilitet kan ramme produksjonssystemer hardt på en svært negativ måte. Det er ofte nyttig for å virkelig forstå effekten av variabilitet å gjennomføre forsøk eller simulasjoner. Et eksempel er simulasjonen “Parade of Trades” som ofte brukes i Lean Construction-opplæring for å vise effekten av prosessvariabilitet (Tommelein et al. 1999). I simulasjonen har man flere produksjonsenheter etter hverandre, hvor arbeid flyter fra den ene enden av produksjonskjeden til den andre.





Figur 22: Produksjonsenhetene i Parade of Trades (Tommelein 1999)

I simulasjonen skal 100 produkter gjennom produksjonskjeden. Den første produksjonsenheten, *SubA*, bruker en tilfeldighetsmekanisme og får angitt et antall produkter som den skal trekke fra startbeholdningen *InputA*, for så å sende videre til *BufferAB*. Deretter får *SubB* på samme måte angitt fra tilfeldighetsmekanismen et antall produkter fra bufferen *BufferAB* og sender disse videre til *BufferBC*. Dersom bufferen ikke har det antallet som en produksjonsenhet får fra tilfeldighetsmekanismen, må den nøye seg med antallet i bufferen. Er tallet derimot lavere enn antallet i bufferen, tar enheten kun tallet gitt av tilfeldighetsmekanismen. Til slutt har alle produktene gått fra *InputA*, gjennom produksjonssystemet, til sluttbeholdningen *CompleteE*.

Simulasjonens hensikten er å se hvordan systemets ytelser påvirkes av variabilitet. Dette gjøres ved at ulike tall som kan komme ut av tilfeldighetsmekanismen, altså med ulik variabilitet (usikkerhet) i gjennomføringsevnen til de ulike enheten. Dersom alle enhetene kun får tallet 5, medfører det at de alltid tar 5 produkter fra foregående buffer og sender videre, og gjennomføringstiden blir 1200 tidsenheter (for eksempel dager). Med tallene 3 og 7 oppfører systemet seg langt mindre stødig og bruker 1500 dager istedenfor 1200, altså en økning på 25%. Tallene 3 og 7 er likevel forholdsvis nære hverandre på tallskalaen. I et system hvor hver enhet kan få tallene 1 og 9, kan vi se at variabiliteten forplanter seg nedover systemet og gir en varighet på hele 1700 dager. I forhold til gjennomføringstid på 1200 dager, har man dermed fått en økning på 42% (Tommelein et al. 1999).

Man ser intuitivt at man ønsker å minimere variabilitet. Økes gjennomføringstiden på et prosjekt med 42% har det selvsagt store konsekvenser. Både kostnader, planleggingsevne og mentalitet hos de involverte i prosjektet er tett knyttet til variabiliteten som tillates i systemet (Rosenthal 2008; Tommelein et al. 1999).

Et sentralt begrep innen reduksjon av variabilitet, er det japanske begrepet *heijunka*. Dette betyr produksjonsutjevning, kort fortalt at prosesser organiseres slik at det blir mindre forskjeller i tidsbruk mellom dem og flaskehalser unngås (Rosenthal 2008). Bufferer er også et hjelpemiddel for å fange opp variabilitet (Østby-Deglum et al. 2013). Også grunnleggende Lean Construction-verdier som økt kommunikasjon, økt visualisering og eliminering av sløsing for å avdekke problemer er viktige bidrag for å redusere variabilitet (Alves 2012a).

### *Buffere*

En naturlig måte å fange opp usikkerhet og variabilitet på, er å skape sikkerhetsmargin. I et produksjonssystem snakker vi da gjerne om buffer. Oversatt til norsk blir buffer "støtpute" eller "støtfanger", altså en mekanisme som tar opp støt (Østby-Deglum et al. 2013). Det å innføre en buffer vil dermed innebære å ha "noe å gå på".

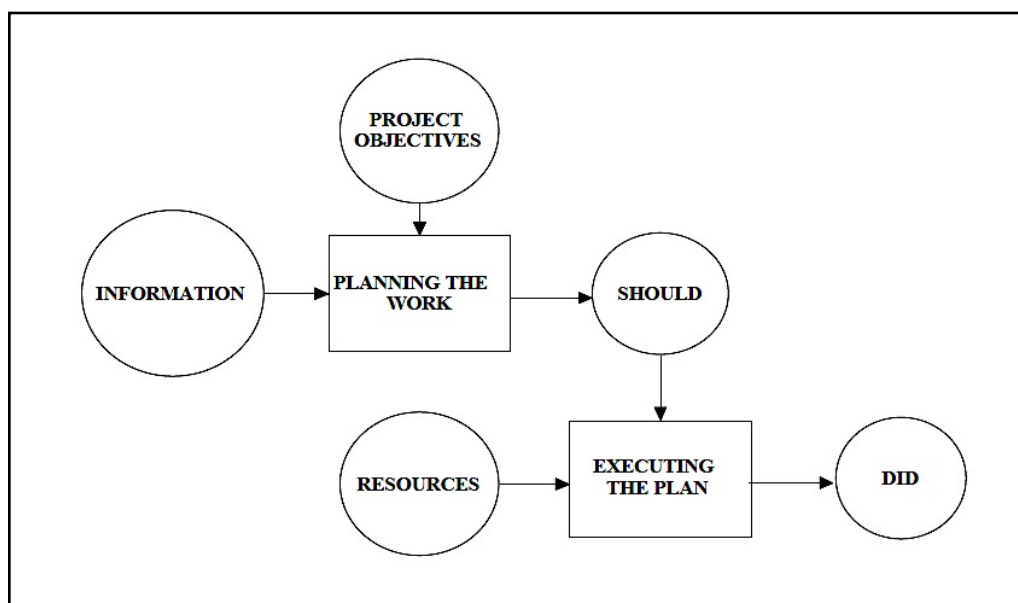
Østby-Deglum et al. (2013) definerer 4 ulike kategorier buffere:

- **Kapasitetsbuffer:** En arbeidsstasjon pålegges mindre arbeid enn den egentlig kan gjøre, for eksempel at man jobber på 80% av maksimal kapasitet. Dermed har man mulighet å skru opp frekvensen om man må jobbe raskere i perioder.
- **Tidsbuffer:** Det påberegnes "dødtid" før/etter aktiviteter som brukes om nødvendig
- **Inventarbuffer:** Det foreligger litt mer materialer før arbeidet startes enn man nødvendigvis trenger
- **Finansiell buffer:** Penger i bakhånd til å kjøpe for eksempel ekstra kapasitet ved behov

### *Push og pull*

Måten oppgaver planlegges på legger store føringer for flyten i et produksjonssystem. Vi skiller gjerne mellom push- og pull-system, da dette beskriver hvordan arbeid (oppgaver, materialer, utstyr, informasjon osv) flyter fra et produksjonsledd til det neste (Ballard 2000). Her er det en vesentlig forskjell mellom tradisjonell tilnærming og Lean-tilnærming.

**Push-system (tradisjonell tilnærming):** Den tradisjonelle måten å planlegge og lede på, blir av Ballard (2000) omtalt som et *push-system*, hvor ledelsen fokuserer på aktiviteter de føler *bør* gjøres, hvilket ikke alltid er det som *kan* gjøres: *"Unfortunately, last planner performance is sometimes evaluated as if there could be no possible difference between SHOULD and CAN. 'What will we do next week?' 'Whatever is on the schedule,' or 'Whatever is generating the most heat.'"*



Figur 23: Push-system (Ballard 2000)

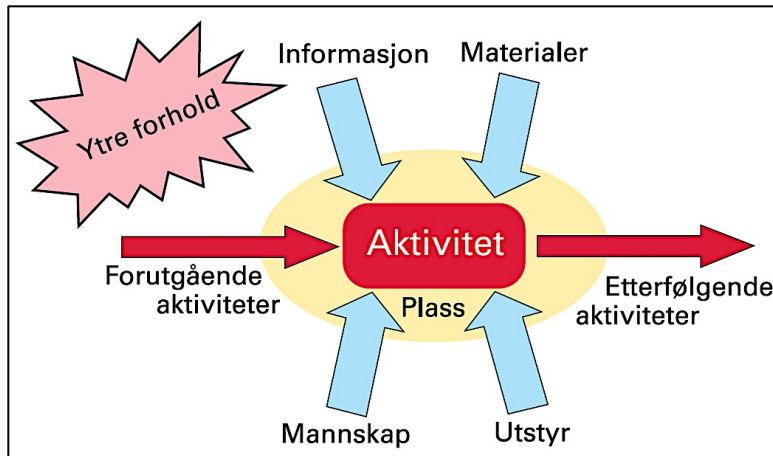
Møtene i tradisjonell planlegging er ofte møter hvor prosjektledelse styrer ordet og prøver gjennom samtalen i plenum å planlegge hva som bør gjøres for den kommende perioden. Alle deltakerne bidrar riktignok, men møtet styres i stor grad av prosjektlederen. Som beskrevet over, blir oppgaver skjøvet nedstrøms fra ledelsesposisjon på de utførende, hvor disse da i størst mulig grad prøver å fullføre oppgaven de er pålagt innenfor tidsfristen.

At fokuset blir på hva man *bør* gjøre, hvilket ikke nødvendigvis er sammenfallende med hva som *kan* gjøres, blir aktiviteter ofte planlagt uten at forutsetningene for å gjennomføre aktiviteten foreligger. Dette introduserer variabilitet, usikkerhet og dårlig flyt i produksjonssystemet, som er kritiske faktorer som sterkt reduserer ytelsen (Koskela 1992).

Ballard (2000) sier at det ved push-system i for liten i for liten grad planlegges oppgaver som *kan* gjøres. Oppgaver som *kan* gjøres har følgende 4 karakteristikker:

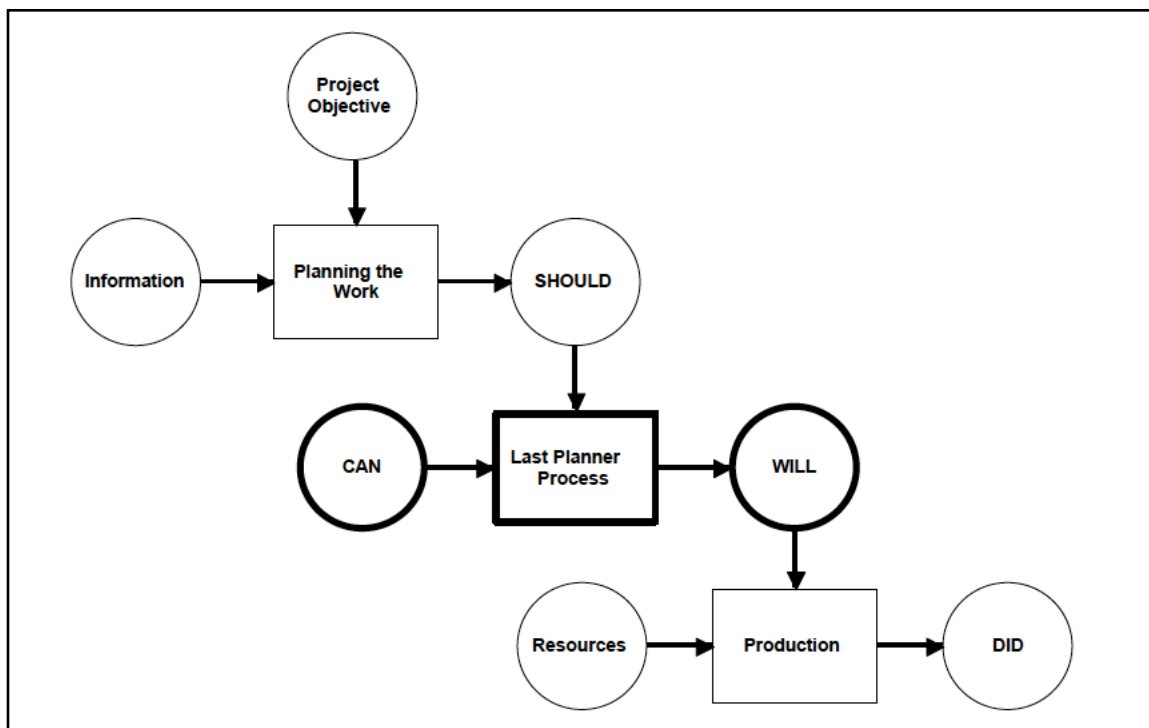
- Oppgaven er veldefinert (forståelig for de som skal utføre den)
- Rekkefølgen er riktig i forhold til foregående og etterkommende oppgaver
- Arbeidsmengden er overkommelig
- Oppgaven er en sunn aktivitet

Ifølge Ballard (2000) bør det *kun* planlegges aktiviteter som innehar disse 4 karakteristikkene. Spesielt fremheves det siste punktet. Sunne aktiviteter er oppgaver hvor følgende 7 forutsetninger foreligger: Eksterne forhold, foregående oppgaver, informasjon, komponenter og materialer, arbeidere, utstyr og verktøy og plass (Ballard 2000).



Figur 24: 7 forutsetninger for sunne aktiviteter (Veidekke 2014)

**Pull-system (Lean-tilnærming):** Dette baserer seg på den motsatte mekanismen til et push-system. Her er det de ulike produksjonsleddene som selv ber om å få oppgaver og dermed *trekker* disse (derav "pull") nedover produksjonskjeden. I planleggingsmekanismen i Lean Construction, Last Planner System, involveres de utførende, som tross alt skal *gjøre* oppgavene, i planleggingen av disse i langt høyere grad. Ifølge Ballard (2000) innebærer pull-system at oppgavene trekkes ut fra systemets kapasiteter og inn i planen fremfor motsatt. Istedenfor tradisjonell planleggings fokus på SHOULD tar LPS også hensyn til CAN.



Figur 25: Pull-system ved Last Planner System (Ballard 2000)

Dette sikrer i større grad at planleggingen sammenfaller med hvilke oppgaver systemet faktisk *er i stand til* å gjøre. Ballard (2000) argumenterer tungt for at på hver av de nevnte 4 karakteristikkene for oppgaver som *kan* gjøres er den største kunnskapskilden nettopp fagarbeiderne. Derfor vil det være helt avgjørende å bruke denne ressursen i planlegging av arbeidet. Dette er også opphavet til navnet til Last Planner System, som spiller på at siste ledd i produksjonsprosessen også er kjernen i planleggingen av den.

Et velfungerende pull-system vil utvilsomt medføre at en langt høyere andel av det planlagte arbeidet faktisk gjennomføres. Noen intuitive slutninger kan trekkes fra dette:

- At avhending av oppgaver videre i systemet blir langt mer pålitelig innebærer at produksjonsenheter får oppgaver som forventet fremfor å vente på forsinket arbeid fra forrige produksjonsledd eller i verste fall vente på arbeid som aldri blir gjort
- Produksjonsenheterne får *kun* oppgaver de har bedt om, og får ikke en opphopning av oppgaver de ikke er i stand til å gjøre
- Produksjonsenheterne blir *ikke* sittende med oppgaver de *kan* og gjerne *vil* gjøre, men grunnet et push-system ikke får satt på arbeidsplanen før ledelsen *ønsker* det

#### *Avhengigheter mellom aktiviteter*

Et produksjonssystem kan være et komplekst bilde av aktører og prosesser som avhenger av hverandre (Mitropoulos 2013). Det snakkes gjerne spesielt i flytsammenheng om avhengighetene mellom aktiviteter, eller *oppgaver* som de kalles i case studien i denne masteroppgaven. Dette kan forekomme på tre måter:

- En oppgave kan ikke starte før den foregående har blitt fullført eller kommet til et visst punkt
- En oppgave er avhengig av et midlertidig produkt produsert av den foregående oppgaven
- De to oppgavene deler ressurser

Jo mindre tid mellom oppgavene, jo mer avhengig er de av hverandre. Høy avhengighet gjør også oppgavene mer sårbare for variabilitet. Man kan frakoble oppgaver og dermed gjøre dem mindre avhengige. Dette kan gjøres på tre måter:

- Hver oppgavene får sine egne ressurser
- Innføre buffere for å redusere konsekvensene av variabilitet mellom oppgavene
- Endre logistikken slik at oppgaver kan foregå parallelt

Ifølge Mitropoulos (2013) økes vanligvis produktiviteten når man gjør oppgaver mindre avhengige av hverandre, ved at man gjør produksjonssystemet mindre

sårbart for variabilitet. Men å innføre buffere for å håndtere variabilitet kan i noen tilfeller være bortkastet ressursbruk, og man skal derfor alltid gjøre avveininger hvorvidt man skal håndtere avhengigheter i produksjonssystemet. For eksempel dersom to oppgaver bruker samme utstyr, men dette ikke reduserer produktiviteten særlig og utstyret er kostbart, er det kanskje ikke lønnsomt å gå til innkjøp av et ekstra sett utstyr.

#### *Lean Construction implementert på én enkelt produksjonsenhet*

Det er allerede i denne oppgaven etablert at Lean Construction er en filosofi som må forankres i hele organisasjonen for å fungere optimalt, og det gir en redusert effekt om kun en begrenset del av systemet følger filosofien (Byggekostnadsprogrammet 2010; Moore 2011). Med bred implementering i systemet påvirkes viktige systemmekanismer, som flyt av materialer og mannskap, avhending av arbeid mellom produksjonsenheter, planlegging og produksjonskontroll (ved Last Planner) og ansvarstaking og samhandling mellom prosjektdeltakere (Ballard 2000; Hamzeh et al. 2008; Koskela 1992; Matthews et al. 2003).

Videre sier Howell (1999) at det er vanskelig å implementere filosofien i med riktig tempo og effekt uten at den har solid fotfeste i organisasjonen, og det er lett for arbeiderne å falle tilbake til gamle vaner dersom trykket på implementeringen ikke opprettholdes. Dette er i tråd med erfaringene fra Last Planner-prosjektet ved Havlimyra, hvor nøkkelen til suksess var et kontinuerlig trykk på implementeringen frem til de positive effektene var synlige for de involverte (Kalsaas et al. 2010).

Kalsaas et al. (2010) viser til at implementering kan være ressurskrevende. En begrenset implementering til kun én enkelt produksjonsenhet i systemet er definitivt mindre kostbart, men finnes de nødvendige mekanismene med hensyn på TFV-modellen som gjør dette sammenlignbart til hvordan filosofien påvirker hele produksjonssystemet?

Østby-Deglum et al. (2013) sier om transformasjonsprosesser at disse kan dekomponeres til delprosesser, som innehar flyt mellom seg. Videre påpeker Koskela (1992) at det største potensialet for forbedring i et hvilket som helst system er å finne i flyten. Forutsatt at en produksjonsenhet utfører en operasjon som kan dekomponeres til deloperasjonene som har flyt mellom seg, kan dette trolig anees som et eget system og Lean Construction-prinsipper kan anvendes.

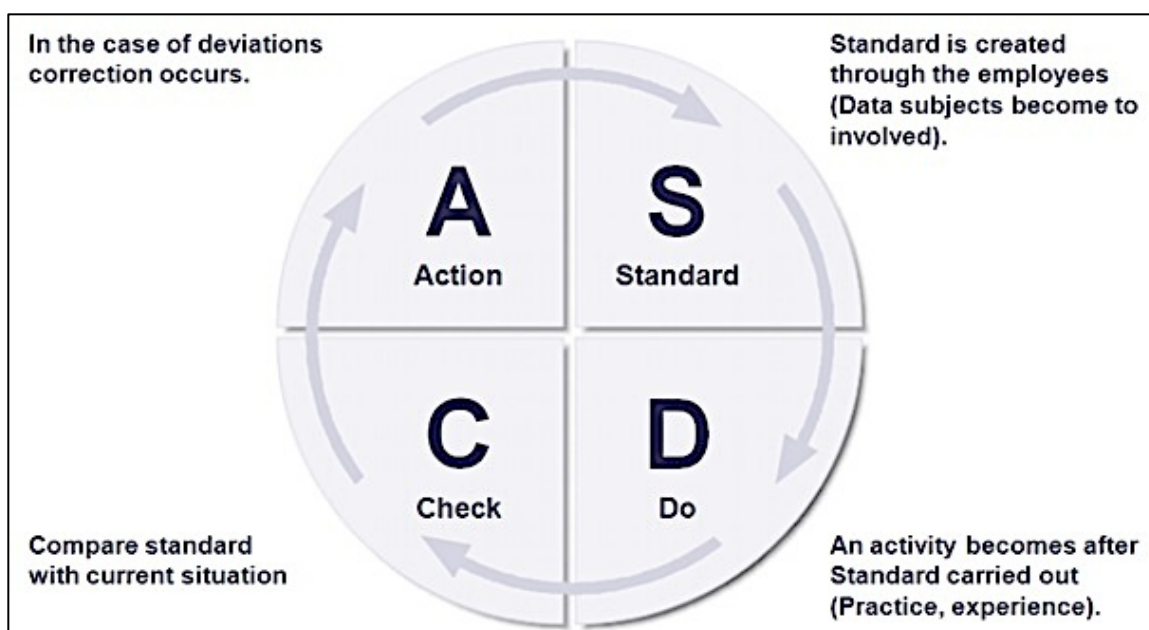
#### *Standardisering for å sikre bedre flyt og mer pålitelig produksjon*

Ifølge Moore (2011) består korrekt tilnærming til kontinuerlig forbedring av tre hovedaktiviteter: 5S, standardisering og eliminering av sløsing. Standardisering beskriver han på følgende måte, med hensyn til Imai (1997):

- Standardisering skal reflektere den *nåværende beste, letteste, og sikreste* måten å gjøre jobben på

- Standardisering er beste måte å preservere kunnskap og ekspertise på
- Standardisering viser forholdet mellom årsak og virkning
- Standardisering gir
  - en måte å måle ytelse på
  - en basis for vedlikeholdene og forbedrende tiltak
  - en basis for opplæring
  - en basis for revisjon og diagnose
  - en måte å forhindre gjentakende feil og variabilitet

Å oppnå bedre praksis gjennom kontinuerlig forbedring var en kjerneverdi i Toyota: Vi vil være bedre i dag enn vi var i går, og i morgen vil vi være enda bedre (Womack et al. 1990). Målet med standardisering blir først å etablere en felles praksis, altså en bestemt måte å produsere et produkt på hver gang, og at man dermed har en basis i organisasjonen for å videre forbedre denne felles praksisen.



Figur 26: Standardize-do-check-act (Kaizen Institute India 2014)

For å kunne standardisere en operasjon, må man først analysere den (Moore 2011). Deretter etablerer man på bakgrunn av analysene nåværende beste oppnåelige praksis som standard. Denne standarden er utgangspunktet for SDCA-hjulet (*standardize, do, check, act*) som i løpet av ett omløp ønsker å finne en enda bedre praksis som så blir den nye standarden.

SDCA-prosessen repeteres kontinuerlig i en stadig jakt på beste praksis og ligger nære den velkjente metodikken PDCA (plan-do-check-act), som på norsk ofte kalles PUKK (planlegg-utfør-kontroller-korriger). Case studien følger ett omløp av SDCA-prosessen, fra å gjennomføre, analysere og forbedre den opprinnelige operasjonen for å etablere den reviderte operasjonen som en bedre, standardisert praksis.

Lean Construction bygger på en produksjonsfilosofi fra fabrikkproduksjon, og et av hovedmomentene ved filosofien er at arbeidsmetodikken i større grad skal tilnærme seg prinsipper fra fabrikkindustrien (Salem et al. 2006). Man ønsker i så stor grad som mulig å benytte seg av prinsippene for at operasjonene i byggeprosessen skal oppleves som et pålitelig maskineri.

En av de største påvirkningene fra Lean Production i byggesammenheng er såkalt industrialisering. Disse reduserer variabilitet på varigheter, kostnader og kvalitet (Ballard & Howell 1998; Berg 2008). I Norge skiller man gjerne mellom industrialisering og såkalt systematisert byggproduksjon (Berg 2008):

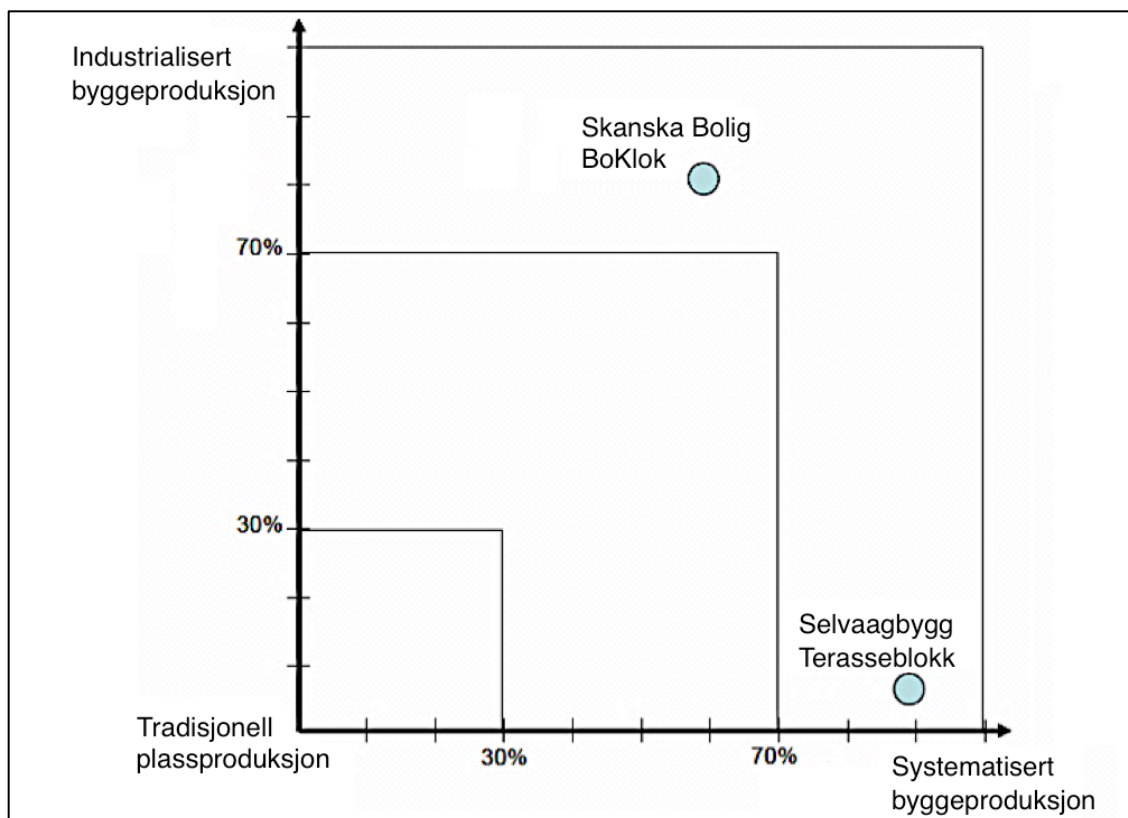
- **Industrialisert byggeproduksjon:** Byggeproduksjon der hovedsaken av verdiskapingen skjer i fabrikker (moduler og/eller prefabrikkerte elementer i store serier). *I Sverige: "Industrielt byggande (eller produktion)"*
- **Systematisert byggeproduksjon:** Entreprenøren eller boligprodusenten systematiserer måten å produsere deler eller hele bygg på, men den skjer hovedsakelig på byggeplassen. Måten går igjen fra bygg til bygg/prosjekt til prosjekt. Det kan også innebære bruk av prefabrikkerte moduler og elementer. *I Sverige: "Industrialiserat byggande"*

Begrepet standardisering innebærer i denne masteroppgaven å etablere en bestemt arbeidsmetodikk for å utføre en arbeidsoperasjon, og tilhører ifølge definisjonen over til systematisert byggproduksjon. Man ønsker med standardisering å enes om én måte å utføre arbeidet på fra bygg til bygg og prosjekt til prosjekt, og skal fungere som *"en systematisk og løpende rasjonalisering, grunnlag for forbedringer og tiltak for reduksjon av feil,"* (Berg 2008). Også Liker (2004) og Moore (2011) understreker som tidligere påpekt viktigheten av standardisering ved å si at den er én av tre grunnpilarer i, Kaizen, kontinuerlig forbedring mot bedre praksis.

I Skanska tilstrebes alle de ovennevnte aspektene av industrialisering:

- **Prefabrikasjon:** Bruk av betongelementer fremfor stedstøpt betong
- **Moduler:** Ferdige baderomskabiner som ankommer byggeplassen monteringsklare
- **Standardisering:** Aktivt arbeid med systematisering av arbeidsoperasjoner gjennom forskningsprosjekter (som denne masteroppgaven)





Figur 27: Skanskas og industrialisert og systematisert byggeproduksjon (Berg 2008)

Eiken (2013) har registrert at det i Skanska Norge før bygdes yttervegger på 235 ulike måter. Man ønsket ved industrialisering og standardisering å redusere antallet, men likevel ikke så langt at det går ut over kundens verdi av å ha en bolig som føles unik. Selv om man ved standardisering ønsker å redusere mangfoldet i arbeidsmetodikk og bygningsdeler, er ikke det synonymt med å gå tilbake til drabantbyutbyggingen på 70- og 80-tallet (Berg 2008).

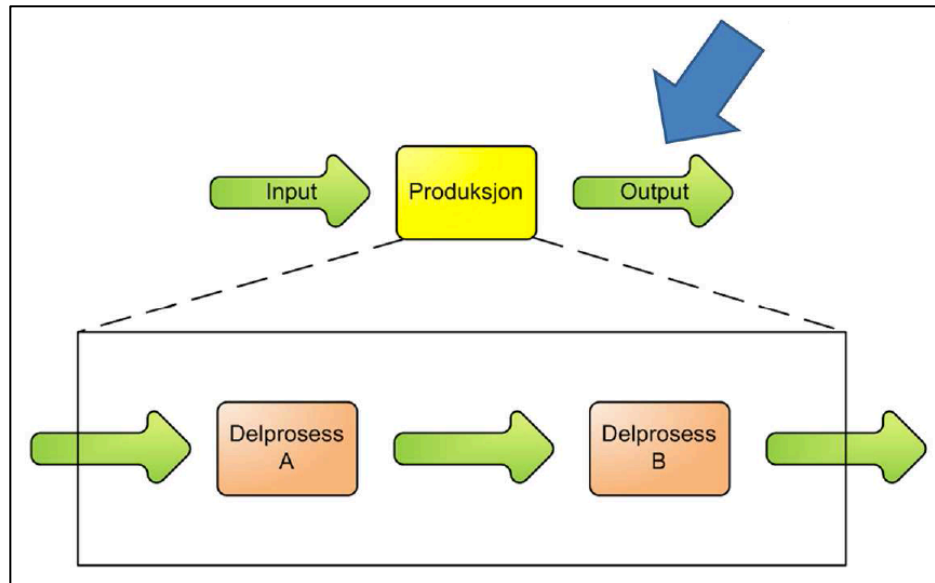
### 4.3.3. Verdi

#### Definisjon

En tradisjonell definisjon av verdibegrepet er ifølge Kelly et al. (2008):

$$\text{Verdi} = \frac{\text{Funksjon}}{\text{Kostnad}}$$

Med funksjon mener vi hva kunden trenger eller hva som i størst mulig grad oppfyller hans ønsker for hvilke egenskaper produktet skal inneha. Det er nok en gang viktig å merke seg at man ikke bare snakker om "kunden" som sluttbrukeren eller eieren av prosjektet, men like fullt neste ledd i produksjonskjeden (Østby-Deglum et al. 2013).



Figur 28: Verdi (Drevland 2012)

En av grunntankene i Lean Construction er å fjerne sløsing og levere optimal verdi for kunden (Alves et al. 2012; Alves 2012d; Koskela 1992; Womack et al. 1990). Med andre ord vil man etter Kellys definisjon levere maksimal funksjon i forhold til kundens ønsker til lavest mulig kostnad.

#### *Ulike egenskaper ved verdiskapning*

Hvordan kunden opplever verdi kan deles inn i 3 kategorier egenskaper ifølge Kanos modell (Matzler & Hinterhuber 1998):

- Grunnleggende ("må ha"-krav): Egenskaper som må være tilstede ved produktet. For eksempel at en leilighet har balkong.
- Endimensjonale (lineær ytelse): Egenskaper som øker produktets verdi ved å øke i kvantitet (jo mer jo bedre). For eksempel antall kvadratmeter på balkongen (til et visst punkt).
- Attraktive (overraskelser, "exciters"): Egenskaper som kunden ikke har bedt om, og gjerne ikke selv tenkt på, men som kunden innser gjør produktet mer attraktivt. For eksempel utepeis på balkongen.

For at de sistnevnte skal være gjeldende som verdifulle, må selvsagt (i henhold til definisjonen til Kelly et al. (2008) av verdibegrepet) økt funksjon av produktet være større enn den økte kostnaden som medføres.

#### *Verdiskapende og ikke-verdiskapende aktiviteter*

Selv om produksjonssystemet har høy produksjon per tidsenhet, betyr ikke det at alle aktivitetene som utføres er verdiskapende: "Hvis man kun håndterer transformasjons- og flytaspektene, vil man kunne optimalisere produksjonen. Men det

*er ikke sikkert det er rett ting man produserer i forhold til å gi kunden det han trenger. Det gir for eksempel ingen verdi å produsere en detaljtegning håndverkeren ikke har bruk for,” (Østby-Deglum et al. 2013).*

Man skiller derfor mellom verdiskapende og ikke-verdiskapende aktiviteter (Koskela 1992):

- **Verdiskapende aktivitet:** Aktivitet som omgjør materialer og informasjon til noe som øker verdien i produktet
- **Ikke-verdiskapende aktivitet:** Aktivitet som tar opp tid, ressurser og/eller plass uten å øke verdien i produktet

Videre kan man skille *mellom* ikke-verdiskapende aktiviteter. Noen av disse er *nødvendige*, som møter, transport og inspeksjon. Disse bidrar ikke direkte med verdi til produktet, men kan ikke elimineres fra produksjonsprosessen. Andre aktiviteter er ikke-verdiskapende og ikke nødvendige. Disse kalles *sløsing* (Drevland 2012).

### *Sløsing*

Da det norske ordet ”sløsing” er noe dårlig innarbeidet i produksjonssammenheng, bruker man i litteraturen gjerne det engelske ordet ”waste” eller det japanske ”muda” (Østby-Deglum et al. 2013).

Shingō og Dillon (1989) definerer sløsing slik: *”Waste is any activity that does not contribute to operations, such as waiting, accumulating semi-processed parts, reloading, passing materials from one hand to another, and the like.”* En annen tradisjonell definisjon er: *”Waste is defined as anything that adds cost, but does not add value.”* (Moore 2011)

Å forstå sløsing er nøkkelen til verdiskapning i Lean: *”The preliminary step toward the application of the Toyota production system is to identify wastes completely,”* (Ōno 1988). Sløsing kan deles inn i flere typer, og en vanlig inndeling er Toyotas 7 former for sløsing (Liker 2004; Ōno 1988; Østby-Deglum et al. 2013):

- **Overproduksjon:** Produsere tidligere, raskere eller mer enn kundens behov
- **Overprosessering:** Arbeid utover det som skaper verdi for kunden
- **Venting:** Arbeidere som venter på foregående aktiviteter
- **Transport:** Unødvendig flytting av folk eller komponenter mellom prosesser
- **Bevegelse:** Unødvendig flytting av folk eller komponenter innad i prosesser
- **Inventar:** Råmaterialer, ”work-in-progress” og ferdig arbeid som bare blir stående
- **Defekte produkter:** Feil i produksjonen som fører til omarbeid, reparasjoner eller forkastede produkter

Videre nevner Liker (2004) spesifikke metoder for å eliminere sløsing fra produksjonssystemet:

- Skape en jevn produksjonsflyt for å avdekke problemer og redusere variabiliteten i prosessene
- Utjevne arbeidsmengden mellom produksjonsleddene i størst mulig grad
- Bruke pull-systemer for å unngå overproduksjon, basere seg på kundens ønsker og å møte markedets behov
- Stoppe produksjon når det er et kvalitetsproblem
- Standardisere oppgaver for å skape kontinuerlig forbedring
- Bruke visuelle kontrollmetoder slik at ingen problemer forblir skjulte
- Kun bruke pålitelig, grundig testet teknologi

### *Jidoka*

Jidoka er en mekanisme som ivaretar kvalitet i et produksjonssystem. Denne mekanismen innebærer at arbeidet stopper opp som følge av at det oppdages en feil i måten det arbeides på. En av de særegne egenskapene ved Toyotas fabrikker, var at enhver arbeider ved samlebåndet kunne stoppe hele produksjonen (Koskela 1992). Dette ble gjort ved at enhver arbeider hadde en såkalt *andon*-snor de kunne dra i (Liu et al. 2013).

Dette ble gjort dersom produkter med feil ble oppdaget av en arbeidsstasjonen. Den overordnede ville da komme bort til arbeideren ved stasjonen for å identifisere problemet. Varen ble sendt tilbake for å finne feilkilden, hvor årsaken til feilen ble identifisert og løst før samlebåndet igjen startet (Womack et al. 1990).

Jidoka defineres dermed som følgende 4-steps prosess (Rosenthal 2002):

- Oppdage avviket
- Stoppe
- Fikse eller korrigere tilstanden
- Undersøke rotårsaken og iverksette mottiltak

Å stoppe fordi ett ledd i produksjonskjeden oppdaget problemer virket uhørt for de etablerte rutinene i fabrikkproduksjonsbransjen, hvor produkter med feil fikk vandre nedover produksjonssystemet for at alt det øvrige arbeidet på produktet skulle gjøres riktig og man heller til slutt kunne rette opp feilen. Taiichi Ohno påpekte imidlertid at dette var uheldig fordi man da hadde vanskeligere for å virkelig forstå feilens opphav og gjøre korrigerende tiltak. I tillegg måtte man muligens forkaste hele produktet og hadde dermed kastet bort tid og ressurser på å tilføre et produkt verdi til ingen nytte (Womack et al. 1990).

I byggebransjen har man prøvd lignende poka-yoke-innretninger (innretninger som gir beskjed når noe er galt) som andon-snoren (Salem et al. 2006). Nøyaktig hvordan dette skal løses er noe mer utfordrende enn for et samlebånd, men tanken er å kunne signalisere potensielle defekter og problemer og fatte korrigerende tiltak på en systematisk måte.

# 5. CASE STUDIE: INDRE VÅGEN ATRIUM

---

Den empiriske forskningen ved masteroppgaven ble gjennomført på byggeplass, hvor hensikten var å prøve ut teori i praksis. Operasjonsanalyse ble gjennomført på en arbeidsoperasjon i Skanskas egen tømmerproduksjon. Analyseresultatene ble brukt til å endre operasjonen med Lean-prinsipper i samråd med fagarbeiderne og måle ytelsen til denne reviderte operasjonen.

## 5.1. Bakgrunn

Indre Vågen Atrium i Sandnes er et boligprosjekt som består av tre byggetrinn; blokkene K5, K6 og K7, med totalt 152 leiligheter. Prosjektet gjennomføres som totalentreprise med Skanska Norge AS som totalentreprenør. Byggherre er Skanska Bolig, en bedriften i samme konsern, som anskaffer, utvikler og forvalter boligprosjekter. Kostnadsrammen er på 360 millioner kroner og oppstart var i november 2011 ved rivning av eksisterende byggverk.



*Bilde 1: Indre Vågen Atrium: Blokk K7 til venstre, K6 bak og K5 til høyre*

K5 var klart til overleving i november 2013, K6 er planlagt å overleveres i oktober 2014 og K7 i februar 2015. Opprinnelig skulle K7 overleveres sommeren 2015, men uventet god fremdrift gjennom hele prosjektet fremskyndet dette. Overtakelse for blokkene kan imidlertid, ifølge bustadoppføringsloven, maksimalt fremskyndes 4 måneder, selv om K5 faktisk var ferdig *produert* 6 måneder før planlagt.

Grunnen til det positive avviket fra opprinnelig tidsramme er ifølge prosjektleder et produkt av flere faktorer, blant annet: Da tomten var en tidligere avfallsfylling, hadde man tatt noe stor høyde for forurenset grunnmasse, samt at dårlige grunnforhold også gjorde at man overvurderte arbeidsmengden i forhold til pæler under tomten. I tillegg virket det som om prosjektdeltakerne tidlig hadde en mentalitet om at dette skulle være et godt prosjekt, hvilket ga prosjektet en god start og tydelig preget den videre fremdriften.

Arbeidsoperasjonen studert har under case studien jobbet i boligblokk K7, som består av 36 leiligheter fordelt på 6 etasjer. 2. til 5. etasje har identisk planløsning med 7 leiligheter og totalt 768 kvadratmeter innervegg som skal produseres per etasje. 1. etasje og 6. etasje har ulik utforming. Omsetning for blokken, ekskludert parkeringskjeller, er ca. 76 millioner kroner (eksklusiv moms) for entreprenøren.

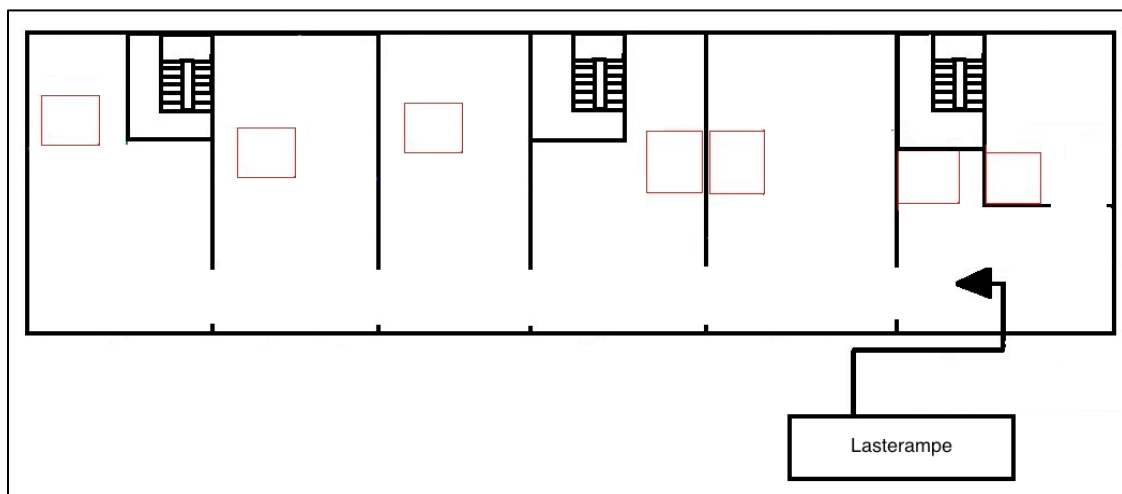


Bilde 2: Fasade, blokk K7

## 5.2. Om operasjonen

### 5.2.1. Generelt

Arbeidsoperasjonen studert i case studien produserte innervegger. Dette innebar ikke å produsere lydveggene som skiller leilighetene, men alle lettveggene *inni* leilighetene. Hele blokkens lydvegger ble produsert før lettveggproduksjon startet. Det skal likevel nevnes at lydveggene ikke er *helt* avsluttet, slik at materialer, mannskap og utstyr kan bevege seg mellom leilighetene i en rett linje bortover etasjen, og å lukke disse lydveggene gjøres av *denne* innerveggsoperasjonen og kalles avsluttende arbeid i denne case studien. Ved operasjonens oppstart var etasjen forholdsvis tom og bestod hovedsakelig av lydvegger og baderomskabiner.

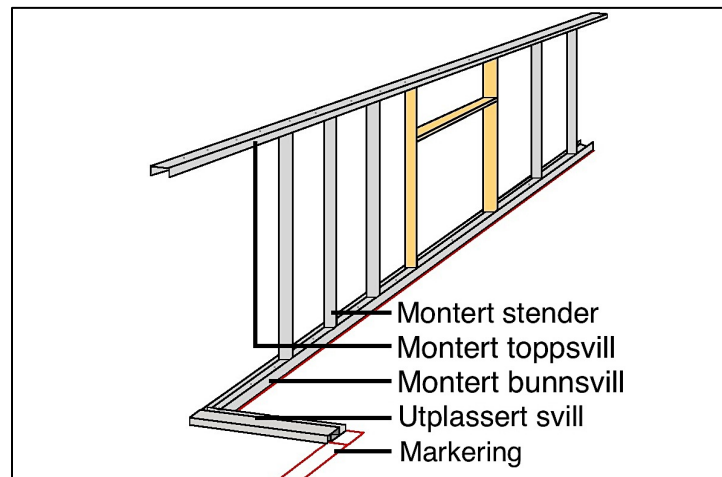


Figur 29: Oversikt ved oppstart av operasjonen, horisontalsnitt av etasje

Operasjonen var ferdig ved at veggens stendere var ferdig montert og lettveggene var klare til spikerslag og deretter gipsing. Det ble brukt stålsviller og -stendere, med bredder 50mm (rundt badekabin), 70mm (vanlig innervegg) og 100mm (skyvedørsvegg). Rundt døråpninger ble det imidlertid brukt trestendere, da disse var mekanisk sterkere. En ulempe med tre er derimot at materialet kan vri seg etter fukt- og temperaturforhold. I en pakke får man derfor flere trestendere som ikke er anvendelige til annet enn å kappes opp og brukes der man trenger småkapp.

Operasjonen kan deles opp i fem trinnvise deloperasjoner, heretter kalt *oppgaver*:

- Merking av veggplassering på gulv og i tak
- Kapping av sviller med utplassering av disse i henhold til merking
- Montering av de utplasserte svillene
- Kapping av stendere
- Montering av stendere



Figur 30: Innervegger

### 5.2.2. Beskrivelse av laget

Laget hadde innledningsvis to medlemmer: En erfaren fagarbeider (som også hadde en bas-rolle), og en lærling. Fagarbeideren på spikerslag var også svært erfaren og hadde jobbet i selskapet i en årrekke. I siste uke av case studien, hvor den reviderte operasjonen ble testet, fikk laget ytterligere én fagarbeider, som var lærling.

Selv om det var to lærlinger og en fagarbeider som hovedsakelig gjorde spikerslag, var disses produktivitet omtrent like høy som den erfarne basen i denne operasjonen. Det kan virke som dette kom av at oppgavene ikke var for byggfaglig vanskelige, samt at oppfølging og veiledning kunne gis løpende i produksjonen uten å påvirke fremdriften nevneverdig.

Kulturen i laget var mindre konservativ enn forventet. Fagarbeiderne var allerede opptatt av å forbedre produksjonen sin, men hadde i mangel på et teoretisk rammeverk måttet basere dette arbeidet på sunn fornuft. Det var derfor lite motstand mot å bli analysert, og det ble tidlig etablert en forståelse for at case studiet ikke var et angrep på deres kompetanse, men derimot *baserte seg på* den.

Det var likevel tydelig at kulturen ikke *alltid* var like mottakelig for studiet. Laget falt raskt tilbake til gamle vaner og lite effektive løsninger ved stress og problemer. For eksempel ble produksjonen stoppet i unødvendig stort omfang for å rydde småkapp eller utbedre små kvalitetsfeil som den utførende fagarbeideren kunne håndtert selv. I disse situasjonene var det også tydelig at basen, lederen for laget, som under kontrollerte arbeidsforhold var svært pratsom omkring case studien, ikke ville høre om noe forskningsarbeid eller Lean Construction.

Det virket altså som at kulturen i laget *i utgangspunktet* å være moderne og åpen for studiet, men det var en tendens til å få skylapper når problemer oppstod. Dette er i tråd med erfaringene fra Havlimyra (Kalsaas et al. 2010) og av Howell (1999), som nevnt ved "Lean Construction implementert på én enkelt enhet" i teorikapittelet.

### **5.2.3. Beskrivelse av de ulike oppgavene**

Til denne beskrivelsen anbefales det å støtte seg til figur 30 på forrige side, som viser oppbygningen av innerveggene, samt figur 36 i delkapittel 5.5.3, som er et flytdiagram som plasserer de ulike oppgavene på en fysisk oversikt over etasjen.

#### *Merking*

I henhold til tegningene av blokken gikk to arbeidere gjennom etasjen og snorslo hvor alle veggene skulle være. Dette innebar at arbeiderne hadde en snor mellom seg som de la på betonggulvet, dro opp på midten av snoren og slapp. Da snoren slo mot gulvet, ble et rødt merke etterlatt hvor snoren lå. Det var også bestilt gips til halve etasjen og halve neste etasje, med leveranse en gang under merkingen, og inntransporten av denne regnes som en del av merkingsoppgaven.

#### *Kapping av sviller*

Svillene ble levert allerede ved elementmontasjen, lenge i forkant av innerveggoperasjonen, og ble lagt etasjevis i stålhiv sammen med stenderne. Alt stålet til blokken ble altså levert i én leveranse, med ett hiv per etasje. Ved kappingen av sviller ble sagen plassert i to soner per etasje, for å redusere avstanden til de ytterste leilighetene. Dette innebar at også svillene måtte tas ut av hivet som sto midt på etasjen og fordeles i to nye stabler, én per sone. Etter fordelingen av svillene kappet fagarbeideren dem etter merkingen på gulvet og plasserte dem ut deretter. Det var ikke ønskelig å plassere ut sviller til en hel etasje om gangen, da svillene ble liggende for lenge før montering og andre kunne risikere å sparke borti eller ødelegge dem. Det ble derfor kappet kun til én sone (en halv etasje) om gangen.



### *Montering av sviller*

Svillene ble levert i sett hvor topp- og bunnsvillen lå i hverandre. Da disse skulle monteres løftet fagarbeiderne derfor av toppsvillen og skjøt den fast med spikerpistol i taket. Svillen som lå i bunn ble skutt fast i gulvet. Enkelte steder var betongen for hard for spikerpistol, og man måtte først bore med drill.

### *Kapping av stendere*

Stålstenderne ble som tidligere nevnt levert i samme hiv som svillene ved betong-elementmontasjen. De kom fra fabrikk pre-kappet, men med sikkerhetsmargin på cirka fem centimeter. Den ønskede høyden på stenderne var mellom 265 og 267 cm (teoretisk takhøyde var 268cm, men varierte litt grunnet toleranse i variasjon av betongelementer), men ble altså levert i lengder på 272 cm. Dermed måtte én og én stenderpakke hentes fra hivet, kappes på sagen i sone en eller to, og legges i stabler i sine respektive leiligheter til montering. Trestendere ble også kappet og plassert leilighetsvis. Det var likevel så få trestendere at lite tid gikk med til dette.

### *Montering av stendere*

Stenderne lå i leilighetene i stabler etter kappingen (den foregående oppgaven), og ble installert direkte ved å plasseres i de monterte svillene med 60 centimeters avstand (CC60) og festet i topp og bunn med festetang. Trestendere ble festet ved å skrues fast med drill. Stenderarbeidet ble avsluttet ved at det ble festet to trestendere på badekabinen som festepunkt for rørleggeren ved arbeid i baderskabinen, samt å sville og stendere den nevnte glipen i lydveggene mellom leilighetene. Dette avsluttende arbeidet gikk svært fort og kunne gjøres for en hel etasje på en halv dag.

## **5.2.4. Avhengigheter mellom oppgavene**

De to siste typene avhengigheter som nevnes i teorikapittelet er tilstede ved operasjonen: Oppgaver er avhengige av et midlertidig produkt produsert av den foregående og de deler ressurser. Som vist i figur 30 av oppbygningen av innerveggene, ser vi hvordan den første av disse avhengighetene er tilstede. Den andre er tilstede ved at mannskap deles mellom alle oppgavene, og sagen deles mellom kapping av sviller og kapping av stendere.

Likevel fremstår ikke operasjonen som sårbar for variabilitet relatert til avhengighetene. At varighetene øker gradvis bakover i operasjonen medfører at to oppgaver kan starte i samme leilighet, uten at den bakerste av disse må vente på den første. Ved kapping og montering av sviller som starter i samme leilighet, er den eneste ventingen for montøren ved den første svillen (et par minutter), og deretter tar han ikke kappingen igjen. Tiden én fagarbeider bruker på å montere sviller i én leilighet, er nok til at den andre har kappet sviller til tre leiligheter.

I tillegg har hele laget, inkludert fagarbeideren på spikerslag, kompetanse til å utføre alle oppgavene. Dersom en oppgave likevel skulle ta igjen av den foregående, er

dette dermed løsbart. Fagarbeideren som tar igjen den foregående oppgaven blir ikke arbeidsledig, men bidrar med den foregående eller en annen oppgave. Dette fører til at alle arbeidere til enhver tid kan produsere, og tillater mindre tidsbuffer mellom de ulike oppgavene. På en måte har alle oppgaver en mannskapsbuffer i form av at fagarbeidere fra de andre oppgavene kan bidra om nødvendig. At hele laget kan utføre alle oppgavene gir en fleksibel bemanningssituasjon hvor fagarbeiderne lett kan bevege seg mellom oppgavene etter behov.

### 5.2.5. Varigheter

Case studien har brukt begrepet "økt" som tidsenhet i analysene fremfor timer eller dager eller uker. Dette hadde to årsaker: Varighetene av deloperasjonene var godt avgrenset til begrepet, da deres varigheter var typisk én eller to økter per leilighet. Det var også fra tid til annen kveldsarbeid, hvilket ville gjort daglig produktivitet lite sammenlignbar med ordinære dager. Én økt var fra morgen til lunsj (7.00-11.00), én lunsj til ettermiddag (11.30-3.00) og eventuelt en kveldsøkt (3.00-7.00).

Varighetene for de ulike oppgavene var svært konsistente fra økt til økt, og det virket å være spesielt to forhold som medvirket til dette:

- Å montere sviller og stendere tar omtrent like lang tid per leilighet uansett leilighetsstørrelse. Antallet løpemeter vegg øker ikke proporsjonalt med økt areal av leiligheten, og tidsbruken øker heller ikke tilsvarende med antall meter ekstra vegg. En leilighet som har 50% mer areal har kanskje bare 20% flere løpemeter vegg og 5% økning i tidsbruk.
- Tankegangen om at en oppgave burde avsluttes når økten avsluttes. Man ønsker ikke å komme på jobb neste morgen med litt påbegynt eller resterende arbeid i en leilighet. Dersom en fagarbeider var ferdig med å produsere en leilighet 20 minutter før dagens slutt, påbegynte han ikke en ny leilighet. På den annen side, så han at dagen nærmet seg slutt og han hadde litt igjen å produsere i en leilighet, jobbet han svært effektivt for å få leiligheten ferdig før han skulle gå.

*Tabell 2: De ulike oppgavenes varigheter*

Oppgave	Merknad	Varighet
Merke	Medregnet inntransport (1 økt)	4 økter per etg.
Kappe sviller	Kappes per sone (2 soner per etasje)	1 økt per sone
Montere sviller	Omtrent samme varighet uansett leilighetsstørrelse	1 økt per leil.
Kappe stendere	Kappes per sone (2 soner per etasje)	1 økt per sone
Montere stendere	Omtrent samme varighet uansett leilighetsstørrelse	2 økter per leil.

Uendrede oppgaver (merke, montere stendere og montere sviller) hadde samme varigheter gjennom hele case studien, som antyder at det generelle arbeidstempoet var forholdsvis konstant. Hensikten var å jobbe smartere, ikke raskere.

### 5.3. Forbedringer fra opprinnelig til revidert operasjon

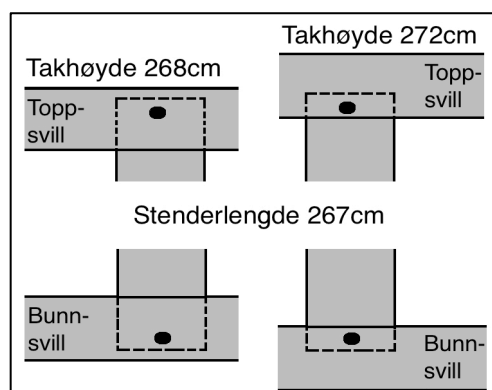
Den opprinnelige operasjonen hadde et stort forbedringspotensial, og en rekke tiltak ble gjort for å realisere dette potensialet. Alle tiltakene som beskrives i dette delkapittelet ble en del av konfigurasjonen av den reviderte utgaven av operasjonen. I forklaringen av flere av disse tiltakene refereres det til delkapittel 5.5, operasjonsanalysene av opprinnelig og revidert operasjon, da dette gir en god forståelse for tiltakenes hensikt.

#### 5.3.1 Eliminere kapping av stålstendere på byggeplass

*Lean-relevans: Fjerne ikke-verdiskapende aktiviteter (Koskelas (1992, s. 16) 1. prinsipp), forenkle ved å minimere antall trinn, deler og forbindelser (Koskelas (1992, s. 16) 5. prinsipp)*

Stålstendere ble allerede betalt for å pre-kappes av leverandøren, men ble kappet fem centimeter for lange, grunnet en uheldig opplevelse for noen år siden hvor man fikk for korte stendere fra leverandøren på grunn av en kommunikasjonsfeil og hadde siden blitt akseptert. Men det ble etterspurt av laget hvorvidt disse kunne leveres i nøyaktige lengder slik at de kunne installeres direkte. Produksjonslederen som bestilte viste seg etter flere positive opplevelser over lengre tid å nå stole nok på leverandøren til at han var overbevist om at dette kunne gjøres.

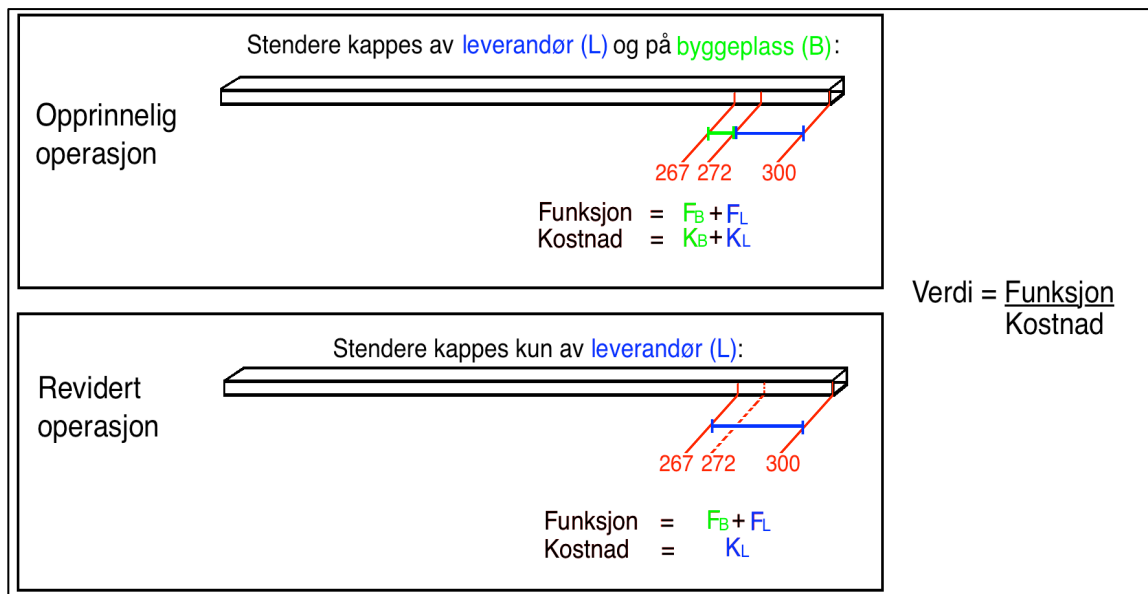
Selv om takhøyden på en etasje varierer noe, er det mulig å bestille alle stenderne i én bestemt høyde som vil passe i alle veggene. Produksjonslederen ansvarlig for bestillingen kan i forkant måle med laser på etasjen og finne én bestemt stenderlengde som passer alle leilighetene. For eksempel vil en etasje som svinger mellom 268-272cm kunne ha stendere på 267cm som vil passe mellom alle svillene.



Figur 31: Topp og bunn av 267cm høy stender ved to ulike takhøyder på samme etasje.

Det kan altså tillates litt tomrom over og under stenderen, så lenge den kan festes i kanten i både topp- og bunnsvill. Får man imidlertid *for lange* stenderer, må disse kappes igjen på sagen, og er de *for korte* betyr det at stenderen ikke rekker fra topp- til bunnsvillen. Er stenderne så korte at de *såvidt* kan festes, blir veggen litt lite stabil, hvilket heller ikke er ønskelig. Det finnes altså marginer på et par centimeter på begge sider av den ideelle stenderhøyden, men man må ikke overskride disse.

Foruten den dårlige materialflyten forbundet med denne løsningen, kan man også med hensyn på transformasjon se hvordan det finnes sløsing ved å kappe stenderne to ganger ved å ta utgangspunkt i definisjonen av verdi fra Kelly et al. (2008): Verdien av et arbeid er funksjon det tilfører produktet delt på kostnad av arbeidet. Leverandøren tilførte opprinnelig funksjonen  $F_L$  (kapping fra industri lengde 300cm til 272cm) til kostnaden  $K_L$  (påslag for kapping), mens det på byggeplass ble tilført funksjonen  $F_B$  (fra 272 til 267cm) til kostnaden  $F_B$  (timeverk og akkordlønn). Men siden kapping av stenderne fra industri lengde til 267cm ( $F_L+F_B$ ) kan oppnås allerede hos leverandøren til kostnaden kun  $K_L$ , kan kappingen på byggeplass ansees som ikke-verdiskapende, og dermed per definisjon ren sløsing. Etter verdidefinisjonen er det mer verdifullt å utføre  $F_L+F_B$  til kostnaden  $K_L$  enn til  $K_L+K_B$ .



Figur 32: Verdiskapning ved stenderkapping

### 5.3.1. Bemanning

*Lean-relevans: Redusere variabilitet (Koskelas (1992, s. 16) 3. prinsipp), jevnere produksjon (Ballard & Howell 1998; Liker 2004; Rosenthal 2008)*

Operasjonen har tradisjonelt bestått av 2-4 arbeidere, pluss én fagarbeider på spikerslag (neste operasjon i produksjonen) som er tilgjengelig til å bidra noe om nødvendig. Men den siste tiden, inkludert ved denne case studien, har antallet

lagmedlemmer vært to pluss tidvise bidrag fra denne fagarbeideren på spikerslag. Foruten å gjøre operasjonen svært sårbar for uforutsette forhold som feil, sykdom, kurs eller møter, gjør det også produksjonen ujevn.

Når begge lagmedlemmene er opptatt med å merke, stopper alle andre oppgaver. Så starter begge med svillene: Én kapper til halve etasjen mens den andre begynner å montere, før de begge monterer. Først når bortimot hele etasjen er ferdig svillet kommer arbeidet med stendere i gang. Det er med andre ord svært vanskelig å ivareta en jevn, velflytende produksjon med kun to fagarbeidere.

Det ble derfor foreslått som en forbedring å standardisere antallet til tre, og det ble tydelig under både planlegging og gjennomføring av operasjonen at tre fagarbeidere var et langt bedre utgangspunkt for å opprettholde fremgang på alle oppgavene, hvilket bidrar til jevnere produksjon. Denne effekten kommer best frem i trappediagrammet i figur 40 i operasjonsanalysen, som viser akkumulert fremdrift for den opprinnelige og den reviderte operasjonen, hvor man tydelig kan se forskjellen mellom jevnheten i produksjon ved opprinnelig og revidert operasjon.

Jevnheten ville vært bedre ved *enda* en fagarbeider, og fem enda bedre igjen. Men under premisset at det er en vanskelig bemanningssituasjon med lite byggeaktivitet og permitteringer, er den relative effekten av tre arbeidere fremfor to langt større enn effekten av fire i forhold til tre. Med andre ord er det å fastholde på minst tre arbeidere på operasjonen avgjørende for å unngå en merkbar reduksjon i jevnheten og produktiviteten.

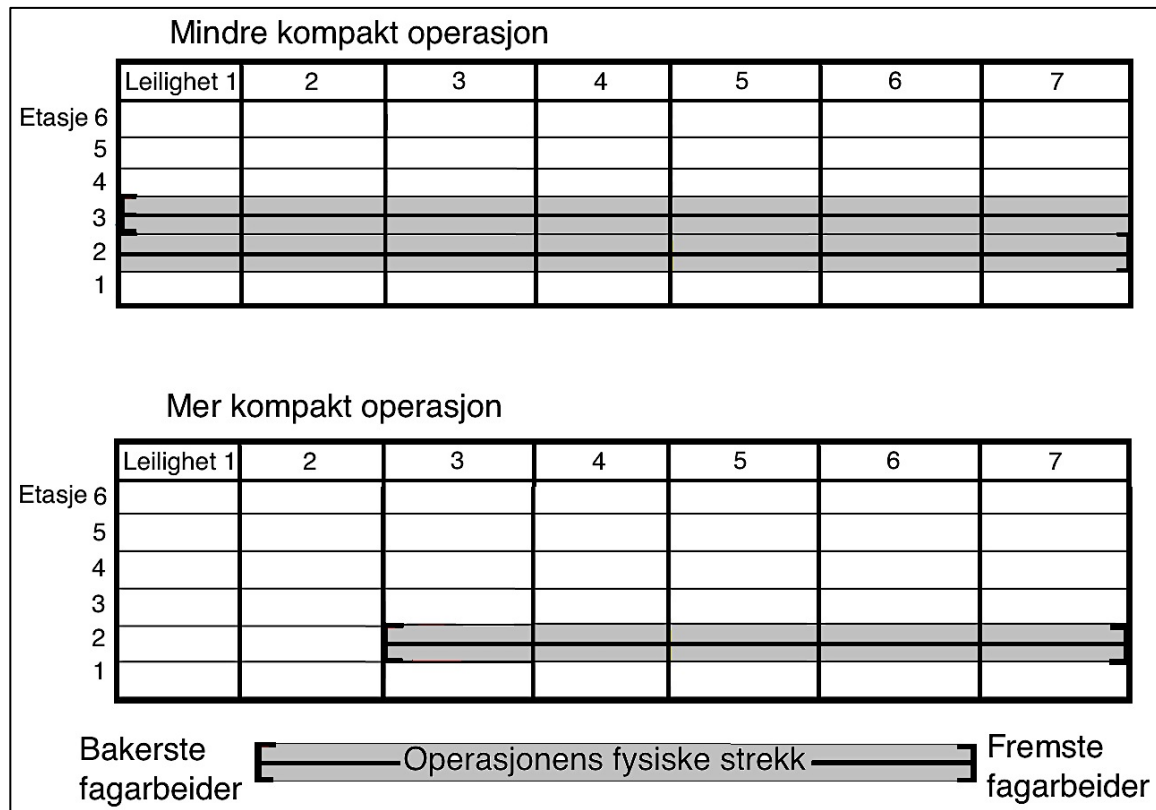
### 5.3.2. Arbeidssekvens

*Lean-relevans: Bedre sekvens (Ballard & Howell 1998), planlegge oppgaver ved kundens "pull" (Liker 2004; Samudio 2012), jevnere produksjon (Ballard & Howell 1998; Liker 2004; Rosenthal 2008), utjevne arbeidsmengden mellom produksjonsleddene i størst mulig grad (Liker 2004)*

Det var en vanlig tenkemåte i laget at den beste tilnærmingen var å først merke hele etasjen, så produsere bortimot alle svillene, og tilslutt alle stenderne. Deretter ville laget flytte seg ned en etasje og gjenta sekvensen. Men å konsentrere all arbeidskraften på én oppgave om gangen medførte at flere andre oppgave stoppet fullstendig, hvilket ikke er forenlig med jevn produksjon og resulterte i at de ulike oppgavene gikk veldig "i rykk og napp". Å fokusere arbeidskraften på å gjøre én oppgave om gangen kan sees på som serieproduksjon, hvor man produserer større mengder av ett produkt om gangen.

Selv om laget også ved den opprinnelige operasjonen til tider holdt stenderarbeidet i gang når de hadde en ekstra arbeider, virket det som hovedinnsatsen fremdeles ble lagt på de første oppgavene. Tredjemann ble gjerne satt igjen til å gjøre stenderarbeid (kappe og montere) i én etasje mens det ble markert og gjort svillearbeid i etasjen under. Grunnet stenderarbeidets lengre varigheter kunne dette medføre at det knapt var montert stendere i en etasje, mens etasjen under var både

markert og montering av sviller bortimot ferdig. Deretter ville de to gå opp og bidra slik at all arbeidskraften var fokusert på stenderarbeidet. Operasjonen hadde altså unødvendig strekk ved at arbeidsområdet strakk over nesten to hele etasjer.



Figur 33: Stor (over) og liten (under) strekk i arbeidslaget

Ved den reviderte operasjonen ble det fokusert på å holde alle oppgavene i gang i så stor grad som mulig for å bevege seg kompakt og jevnt nedover blokken. Det ble før hver økt vurdert hvilke oppgaver den enkelte fagarbeider burde gjøre for å skape god flyt og lite strekk. Oppgavene ble valgt utfra kundens pull, hvor kunden var den etterfølgende aktiviteten som trengte produktet fra den foregående. Et produksjons-systemet som effektivt skifter mellom varetyper, velger arbeidsoppgaver dynamisk fra kundens pull og produserer små vareparti om gangen er sentrale karakteristikk ved Toyota-systemet (Samudio 2012; Womack et al. 1990).

Ved den reviderte operasjonen fortsatte derfor stenderarbeidet mens de to andre markerte, og straks arbeidet på sviller startet ble alle tre oppgaver bemannet. Jevnere progresjon av de ulike oppgavene og pull-systemet medførte mindre intern variabilitet ved at arbeidet fløt jevnere bortover etasjen og fagarbeiderne dynamisk vekslet mellom de ulike oppgavene. Effekten av forbedringen kan sees i trappediagrammet for den opprinnelige og reviderte operasjonen i figur 40 i operasjonsanalyse-delkapittelet.

Mer kompakt lag medfører at når det oppdages at en leilighet ikke er ledig, som da det ble gjort rørleggerarbeid i en leilighet (se figur 34), kan fagarbeiderne produsere sammen i den andre leiligheten før de neste økt går til denne. Mulighet for diskusjoner, for eksempel ved tegningsfeil eller behov for hjelp, samt at en mer kompakt utstyrspark tillates også ved en mer kompakt operasjon.

En avveining var selvsagt bufferne mellom de ulike oppgavene. Hva ville skje dersom monteringen av svillene ble tatt igjen av monteringen av stendere? Svaret er at det kan tillates lite tidsbufferne siden fagarbeiderne som tidligere nevnt har kompetanse til å gjøre alle oppgavene. Fagarbeideren som monterte stendere ville ikke bli arbeidsløs ved å ta igjen oppgaven foran, men trolig bidra med å kappe eller montere sviller inntil monteringen av stendere kunne gjenopptas.

### 5.3.3. Håndtering av kvalitetsfeil

*Lean-relevans: Jidoka (Rosenthal 2002),*

Et annet spørsmål var hvordan håndtere kvalitetsproblemer som medførte at man ikke kunne produsere alt man skulle. Skal oppgaven stoppe, eller produsere mest mulig rundt problemet i leiligheten? Et eksempel på dette var en feilplassert baderomskabin i 6. etasje. Man kunne installert store deler av leiligheten, men ikke hele. Rundt baderomskabinen kunne ikke sviller og stendere installeres, da den måtte trilles en liten avstand for å plasseres riktig.

Toyotas jidoka-tankegang var å ikke tilføre et feilaktig produkt verdi, og alle oppgaver burde derfor hoppe over leiligheten frem til problemet var løst. Dersom problemet ble løst av laget selv, ble dette gjort når det passet best å løse problemet og alle oppgavene kunne gjøres i den leiligheten forholdsvis hurtig.

I eksempelet over valgte laget å hoppe over leiligheten og straks baderomskabinen var plassert riktig produserte de *alle* leilighetens innervegger på én dag. Dette var likevel ikke *alltid* slik laget løste problemer, og å standardisere dette som måten å alltid tilnærme seg kvalitetsproblemer ble derfor en del av konfigurasjonen til den reviderte utgaven av operasjonen.

### 5.3.4. Materialsystem

*Lean-relevans: Bedre mengde og pakking av vareleveranse (better batching) (Ōno 1988), Just In Time-leveranser (Moore 2011), forenkle ved å minimere antall trinn, deler og forbindelser (Koskelas (1992, s. 16) 5. prinsipp), forbedre prosessens gjennomsiktighet (Koskelas (1992, s. 16) 7. prinsipp)*

Argumentasjonen for dagens bestillingssystem er forståelig og gir ved første øyekast god mening: Å bestille alt stålet og treet ved elementmontasjen betyr at materialene enkelt kan heises rett inn i etasjene før ytterveggene lukkes fremfor arbeidere som må ta imot materialet på lasterampen og frakte det inn på tralle gjennom etasjen. Og at gipsen til hver etasje kommer i to omganger betyr at man først kan fylle opp

halvparten av leilighetenes gipspakker i bakrom i god tid før innerveggene begynner, for så å bestille resten nærmere så det er plass til å jobbe.

I utgangspunktet høres dette muligens effektivt ut, men en rekke negative konsekvenser fra dette materialsystemet kom til syne senere i produksjonen, da operasjonen skulle bruke materialene:

- Å bestille stål så lenge i forveien for hele blokken gjorde systemet lite fleksibelt i forhold til feil og endringer. Bestillingen ble gjort utfra erfaring og mengden stål ved case studien var noe høy. Men dette ble naturligvis først oppdaget ved innerveggproduksjon, da alt stålet for blokken allerede var bestilt og levert, og rammet dermed alle etasjene.
- Ved at alt stålet lå i ett hiv midt på etasjen, måtte sviller fordeles på to soner, hvilket tok én arbeidsøkt (en halv dag).
- Stenderne måtte også hentes fra hivet, kappes og fordeles på leiligheter, hvilket også tok én arbeidsøkt per sone.
- Det viste seg å være god plass til å plassere all gipsen i hver leilighet uten at den ville være i veien for noe arbeid, hvilket tillater å bestille gips etasjevis fremfor å bestille for to halve etasjer om gangen. Et oppstykket system virket å tillate mye feil fra leverandøren, da feil mengder og tidsfrister som ikke møttes kunne virke å komme av tankegangen *"jeg skal tilbake med gips om ikke lenge, det som ble feil denne gang fikser jeg da"* fremfor den mer ansvarstunge tankemåten til å levere riktige mengder til riktig tid med *"i dag skal all gipsen til 3. etasje leveres"*.

Følgende endringer ble gjort ved materialsystemet:

- Alle materialer (stål, tre og gips) bestilles Just In Time.
- Alle materialene ankommer til samme tid, under merkingen av en etasje. Stålet kan gjerne ankomme ved slutten av dagen før og ligge på lasterampen over natten, så kan gipsen ankomme ved starten av neste morgen. Treet kan ankomme når som helst i løpet av inntransporten.
- Svillene ankommer i to hiv, som plasseres ved siden av sagens posisjon i henholdsvis sone én og sone to.
- Stålstenderne er pre-kappet til nøyaktig lengde og leveres pakket per leilighet.
- Stenderne plasseres oppå gipspakkene som skal til samme etasje og fraktes inn sammen. Den ekstra tiden det tar å plassere stenderpakkene oppå gipsen er neglisjerbar i forhold til den totale tidsbruken.
- Svillene legges på tralle, trilles inn og senkes ned på bukker. Dette tar et par minutter for hver av de to sonene og er neglisjerbart i forhold til den totale tidsbruken av inntransporten.
- Trestendere på 70mm pre-kappes også til nøyaktig lengde og kommer i én pakke per etasje og plasseres midt på etasjen.
- Trestendere på 100mm kommer fremdeles i én pakke for hele bygget grunnet lavt antall, og plasseres i midterste leilighet i midterste etasje i bygget.



### 5.3.5. Fysisk visualisering

*Lean-relevans: Forbedre prosessens gjennomsiktighet (Koskelas (1992, s. 16) 7. prinsipp), 5S (Moore 2011)*

Det ble observert at andre fag tok opp areal til ulike formål, spesielt lagring av utstyr og materialer. Innervegger tar riktignok opp få kvadratmeter på gulvet til etasjen det jobbes i, men befinner seg riktignok spredt over hele etasjen. Dette medfører at det utvilsomt er *nok* plass til andre fag, men kun under forutsetning at de opptar *riktig* plass.

I uke én kom innervegg-laget til en leilighet som en rørlegger hadde brukt til lagring av utstyr og materialer. Dette viste seg å ligge i veien for innerveggproduksjonen. *Mengden* utstyr og materialer var ikke et problem, men var plassert så dårlig at det ble svært vanskelig både å sette opp sagen og installere sviller. Konsekvensen ble at innerveggoperasjonen måtte gå videre med sin produksjon til neste leilighet, gi beskjed om koordineringsproblemet til prosjektadministrasjonen og komme tilbake så snart rørleggeren hadde fjernet utstyret og materialene.

Et forslag til forbedring var å benytte seg av spraymaling til å markere på betonggulvet hvor sagen, stålet, treet og gipsen skulle plasseres i god tid før innerveggproduksjonen ankom. Dette skulle tydelig visualisere både for andre fag og internt i laget hvordan materialer og utstyr ville flyte nedover etasjen. Dette kunne gjøres ved elementmontasjen da de allerede hadde dannet seg et bilde hvordan det var ønskelig å plassere materialer og utstyr.

Denne visualiseringen sikret økt forståelse for alle involverte hvordan logistikken for ulike faser i lang tid fremover ville se ut fremfor å få konflikter. Etter sprayen ble introdusert ble ingen konflikter med andre fag observert, hvilket kan antyde at en forbedring med hensyn på koordineringskrasjene identifisert ved årsaksanalysen i figur 43 i delkapittel 5.6.

### 5.3.6. Bukker ved kapping av sviller

*Lean-relevans: Forenkle ved å minimere antall trinn, deler og forbindelser (Koskelas (1992, s. 16) 5. prinsipp)*

Både med hensyn på tidsbruk og ergonomi er det tilrådelig at sviller plasseres på gulvet så få ganger som mulig før de faktisk skal monteres. Ved den opprinnelige operasjonen ble svillene plassert i ett felles stålhiv med stenderne, plukket ut og båret til sagen, plassert på gulv eller bukker, plukket opp enkeltvis og lagt på sagen, kappet og lagt på gulv til montering.

En foreslått forbedring var dermed å få svillene bestilt i et eget hiv per sagplassering og ved inntransport plassert direkte på bukker like ved sagen. Dette tillot at man kunne trekke svillene rett av bukkene opp på sagen, kappe dem og plassere dem på gulvet for montering. Dette bedret materialhåndteringen og reduserte antall ganger man bøyer seg ned ved kapping av sviller fra tre til én.

### 5.3.7. Generell Lean-tankegang

*Lean-relevans: Etablere en Lean Construction-kultur for videre forbedring (Womack et al. 1990), bygge kontinuerlig forbedring inn i prosessen (Koskelas (1992, s. 16) 9. prinsipp)*

En konstruktiv studie baserer seg på samarbeid mellom forskeren og den observerte organisasjonen. Følgelig ble en naturlig effekt av studien at det observerte laget ble interessert i Lean Construction og etterspurte mer informasjon. De to observerte arbeiderne første uken ønsket faktisk å lese forstudierapporten til denne masteroppgaven, og tilegnet seg gradvis begrepsapparatet fra Lean-teorien. Siste uken ble samtaler med laget hatt hvor push og pull, variabilitet, sløsing, standardisering og kontinuerlig forbedring var naturlige elementer i samtalen.

I løpet av case studien ble lagets tankesett om å stadig se etter forbedring i arbeidsmetodikk, eliminere sløsing og tilnærme seg produksjonen mer analytisk styrket. Tanker om hvordan oppgaver, mannskap, utstyr og materialer flyter bortover etasjene var tydelig vekket i fagarbeiderne.

Det kan virke ambisiøst å forvente en liknende respons på ethvert prosjekt en slik studie gjennomføres, og undertegnede fikk bekreftet fra distriktsadministrasjonen at dette var et prosjekt som var kommet lengre enn gjennomsnittet i denne type tankegang. Mye skyldtes de involverte personene, både forskeren og de utførende, og deres holdninger. Det var en tydelig respektfull forståelse for at dette skulle være en positiv opplevelse med potensial for et læringsutbytte for begge parter.

## 5.4. Revidert arbeidsoperasjon

Med endringene påført arbeidsoperasjonen på bakgrunn av analysene, hadde den følgende egenskaper som var endringer fra den opprinnelige tilstanden:

- Tre lagmedlemmer for å oppnå jevnere produksjon og mindre variabilitet både mellom oppgavene og for operasjonen som helhet
- JIT av alle materialer (bortsett fra 100mm trestendere) for å gjøre materialsystemet mer fleksibelt og forutsigbart
- Pre-kapp av stendere (både tre og stål) til eksakte lengder, som var mer verdiskapende enn å kappe to ganger
- Ny konfigurasjon av materialsystemet reduserer antall materialhåndteringer
- Bruk av bukker og at sviller plasseres like ved siden av sagen medførte at ergonomien ved kapping av disse ble svært forbedret
- Oppgaver ble i langt større grad valgt fra kundens "pull", hvor kunden var den etterkommende oppgaven
- Kontinuerlig forbedring ble forsøkt bygget inn i operasjonen ved at arbeiderne, som allerede var opptatt av å bedre produksjonen, nå fikk teoretisk kunnskap til å realisere dette

## 5.5. Operasjonsanalyse

Ulike analyseverktøy ble brukt for å analysere opprinnelig og revidert operasjon. Hensikten var å avdekke forbedringspotensial ved den opprinnelige operasjonen, og ved den reviderte operasjonen å kartlegge effektene av de påførte endringene. Analyseverktøyene ble utgreid teoretisk i teorikapittelet, derfor skrives det i dette delkapittelet kun spesifikt om deres funn og empiriske bruk i case studien.

### 5.5.1. Datainnsamling

#### *Video*

Det ble tatt videoopptak av operasjonen i tråd med beskrivelsen av operasjonsanalyse i kapittel 3. Fagarbeiderne samtykket til opptakene og fikk mulighet til å se dem i etterkant. Deretter ble kameraet satt opp og befant seg rundt arbeidet store deler av case studien. Ofte tok ikke kameraet opptak, men ved å alltid være tilstede visste ikke fagarbeiderne når de ble filmet. Etter en ukes arbeid med kameraet tilstede forelå et omfattende videomateriale. Kun en liten del av dette ble brukt. Hovedsakelig ble videogrunnlaget brukt til mannskapsdiagram, som ser på 15 minutter sammenhengende arbeid, men det ble i tillegg brukt som støtte til kartleggingen av noen av de andre diagrammene.

#### *Logg*

For å innhente detaljert informasjon om fremdriften til de ulike oppgavene, ble det utviklet et loggsystem. Dette var basert på skjemaer som ble fylt ut av fagarbeiderne ved hver økt. Foruten å være en god informasjonskilde med hensyn på hvor mye som ble produsert, oppfordret skjemaene fagarbeiderne til i forkant av økten å sette seg realistiske mål for hvor mye de *forventet* å produsere og etter økten notere eventuelle årsaker for hvorfor dette målet ikke ble nådd. Dette muliggjorde måling av PPC og analyse av årsaker for uopnådde mål.

<b>Økt 1</b>	<b>Morgen til lunsj</b>	
Initialer:	SL	Start: 5-4S
Oppgave:	Montere sviller	Slutt: 5-4F
Tid brukt:	3	Mål: 5-4F
		Nådd?: JA
		Evt. årsak for mål ikke nådd
Initialer:	PØ	Slutt: 5-1M/F
Oppgave:	Montere stendere	Mål: 5-1F
Tid brukt:	3	Nådd?: NEI
		Evt. årsak for mål ikke nådd:
		Rørleggere var i veien

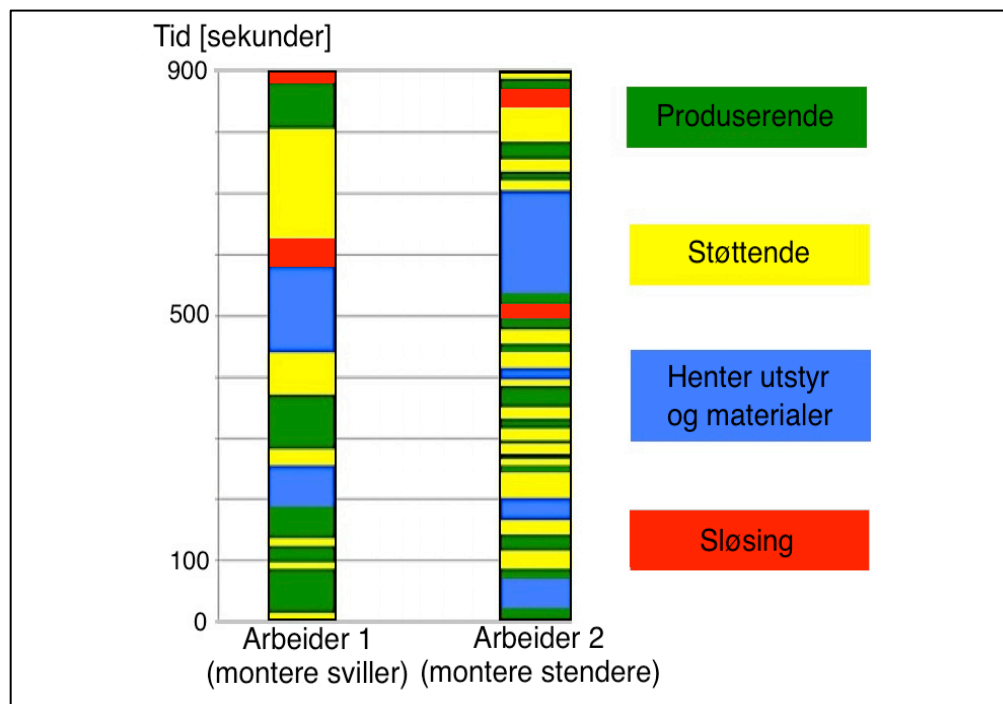
Figur 34: Eksempel på utfylt loggskjema, Indre Vågen

Det ble definert tre tilstander med hensyn til fremdrift: S (start), M (midtveis) og F (ferdig). Disse gjaldt spesifikt for den aktuelle oppgaven, ikke for den helhetlige fremdriften til innerveggene i en leilighet. Dersom en leilighet var markert og sviller montert, var tilstanden for disse F, mens tilstanden for den påfølgende monteringen av stendere var S. Fagarbeidere ble gitt litt rom for tolkning, så betegnelser som M/F (fremdriften av oppgaven er et sted mellom middels og ferdig) kunne forekomme.

I eksempelet av et ferdig utfylt skjema i figur 34 har fagarbeiderne loggført en arbeidsøkt fra morgen til lunsj. En av dem har montert sviller i leilighet 5-4 (5. etasje, leilighet 4). Ved oppstart var det ikke montert noen sviller i leiligheten (start: 5-4S). Han mente han skulle klare å fullføre svillene for leiligheten i løpet av økten (mål: 5-4F), og klarte det (slutt: 5-4F).

Den andre fagarbeideren monterte stendere i leilighet 5-1. Her var allerede omtrent halvparten av leilighetens stendere montert (start: 5-1M). Han mente han burde klare å fullføre de resterende stenderne i løpet av økten (5-1F), men nådde ikke dette målet (slutt: 5-1M/F) grunnet krasj med rørleggerarbeid i leiligheten.

### 5.5.2. Mannskapsdiagram



Figur 35: Mannskapsdiagram

Mannskapsdiagrammet er svært detaljert og fokuserer på den faktiske transformasjonen fra råmaterialer til produkt. For den opprinnelige operasjonen ser vi at da arbeidet var i gang med forutsetningene til stede, var det forholdsvis

effektivt med mye produktivt og nødvendig støttende arbeid, og lite sløsing. Henting av materialer som er markert blått i diagrammet var nødvendig. Et eksempel var da fagarbeider 2 måtte hente 100mm trestendere fra tredje etasje, hvor pakken med disse *må* plasseres grunnet den sentrale posisjonen i blokken.

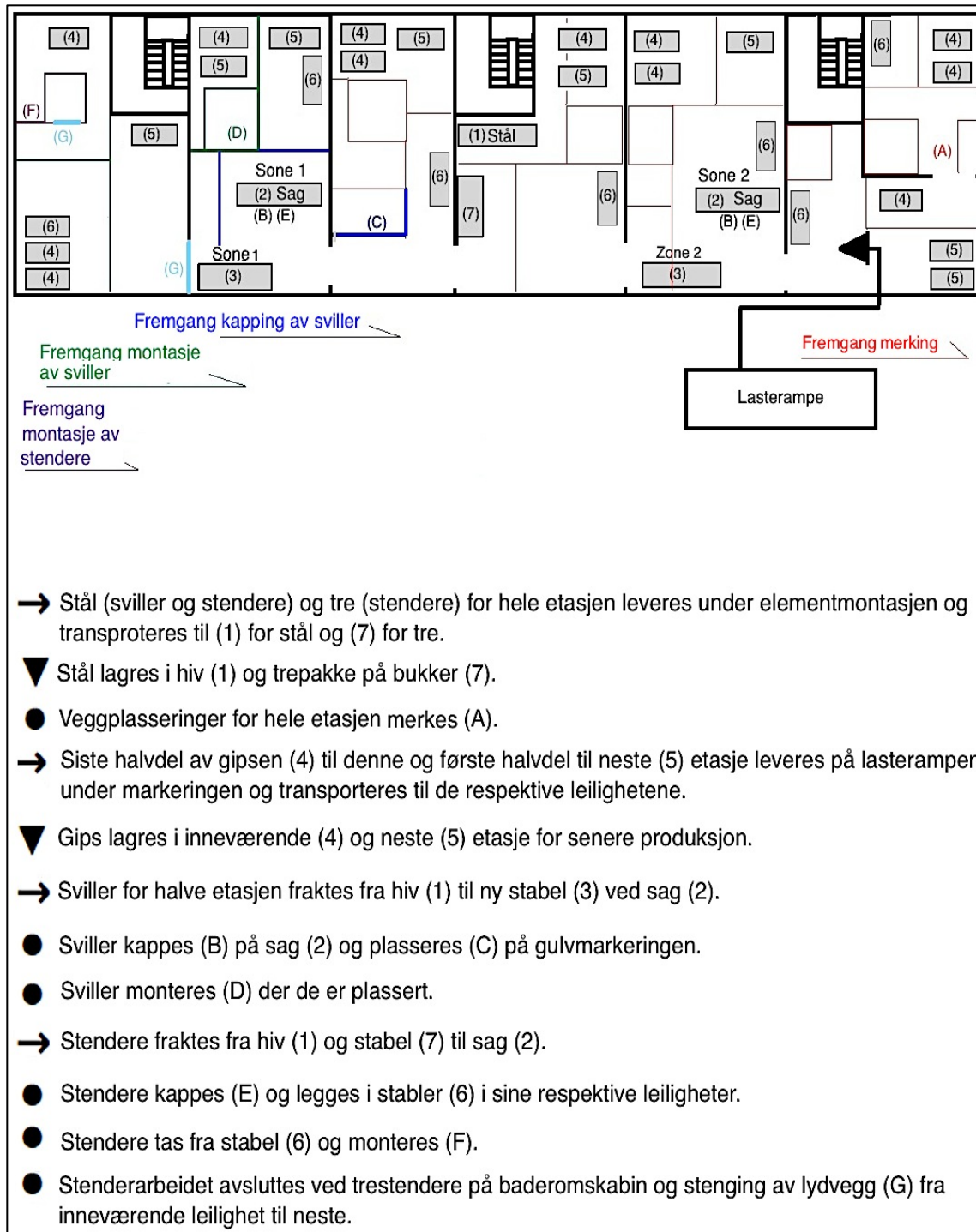
Mannskapsdiagrammer er effektive i å avdekke sløsing ved arbeidere som jobber samtidig på samme produkt eller areal. Siden én fagarbeider kunne jobbe med sviller i én leilighet mens en annen jobbet med stendere i den neste, gikk fagarbeiderne ikke i veien for hverandre eller var avhengige av hverandres utstyr eller materialer.

På bakgrunn av den lave andelen sløsing avdekket i mannskapsdiagrammet ble det besluttet at montering av sviller og stendere ikke trengtes å endres. Kapping av sviller ble drastisk endret av materialsystemet og kapping av stendere eliminert, så disse ble ikke vurdert i mannskapsdiagram. Merkingen er en oppgave preget av mye lesing av tegninger og usystematiske bevegelser, og ville fremstått svært uryddig på mannskapsdiagram, og ble derfor heller ikke vurdert. Merkingen ble vurdert av nødvendig varighet og vanskelig å effektivisere ytterligere.

Med andre ord var det ikke nødvendig å lage et nytt mannskapsdiagram for den reviderte operasjonen, da alle oppgavene enten uegnede eller like som ved den opprinnelige.

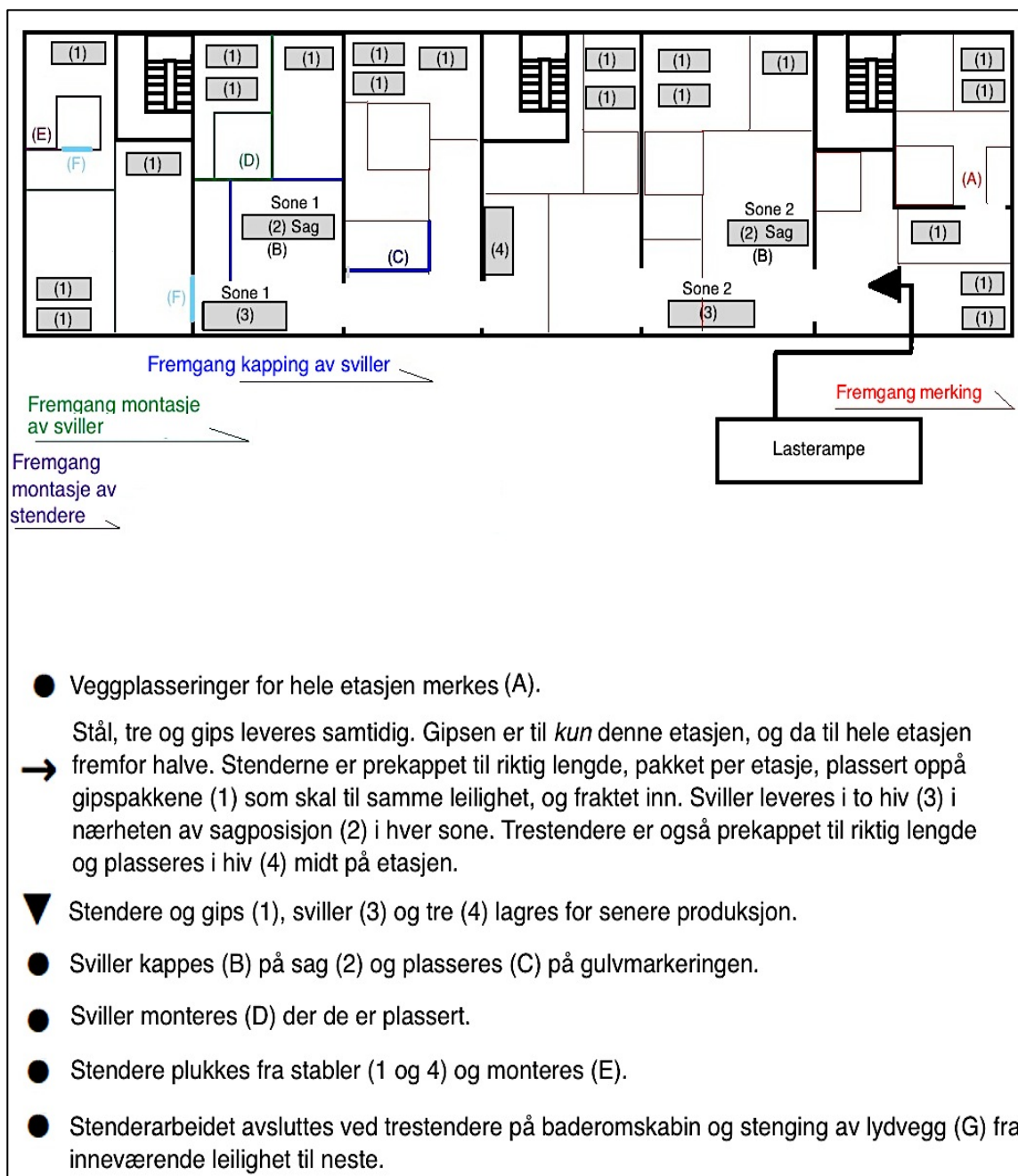
### **5.5.3. Flytdiagram kombinert med prosessdiagram**

Da dette verktøyet i fabrikkammenheng har til hensikt å vise trinnene til en prosess visualisert utover fabrikkområdet prosessen foregår på, ble plantegningen for én etasje brukt som område for denne operasjonen. Dette verktøyet illustrerer helhetlig produksjonen av én etasje, og visualiserer både transformasjon og flyt.



Figur 36: Flyttdiagram kombinert med prosessdiagram, opprinnelig operasjon.

Handlinger er angitt med bokstaver, mens posisjoner er angitt med tall. Fremgangen til de ulike oppgavene som fremstilles er fiktiv, og kun ment å vise rekkefølgen på de ulike oppgavene og bedre illustrere de ulike handlingenes sammenheng med produsert vegg.



Figur 37: Flytdiagram kombinert med prosessdiagram av revidert operasjon

Det blir tydelig av analysen at materialsystemet for den reviderte operasjonen er svært forbedret. Ser vi på prosessdiagrammet, vitner de om en langt enklere operasjon som består mer av transformasjon enn materialhåndtering. Med andre ord har andelen verdiskapende tid økt. Et aspekt av dette som direkte påvirker arbeidsmengden i operasjonen er elimineringen av kappingen av stålstendere.

Forskjellen mellom de to operasjonene på bakgrunn av analysene fra flyt- og prosessdiagrammene, kan kvantifiseres som følger:

*Tabell 3: Resultat av flyt- og prosessdiagram*

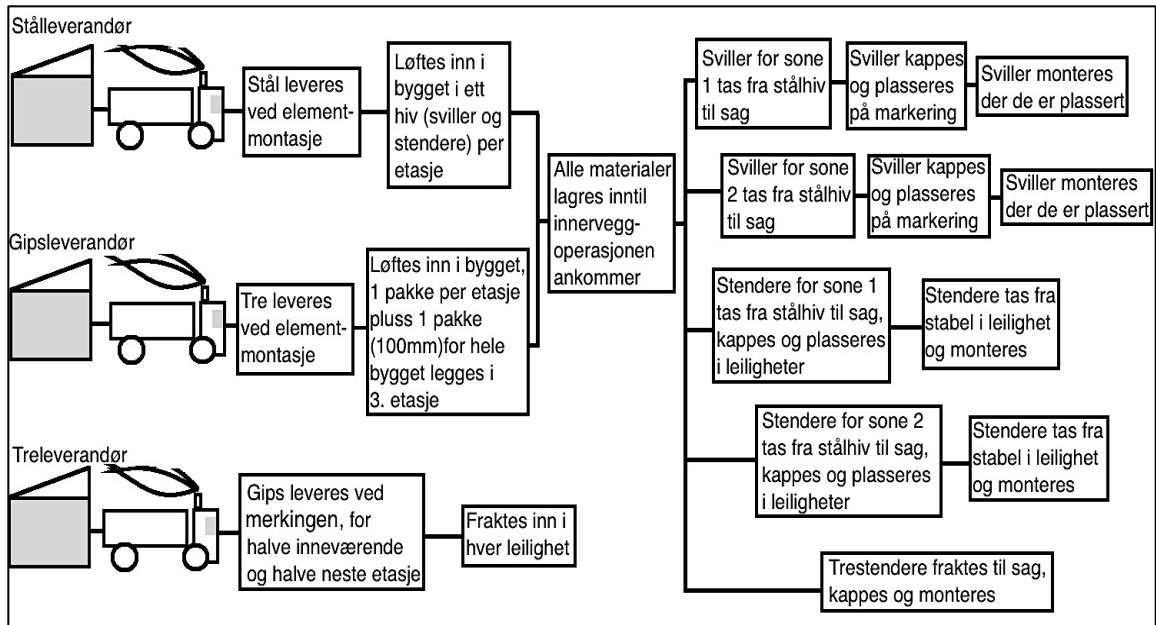
	Opprinnelig	Revidert	Differanse
Handling	6	5	-1
Transport	4	1	-3
Lagring	2	1	-1

#### **5.5.4. Prosesskart (utarbeidet fra verdistrømkart)**

Opprinnelig skulle materialsystemet fremstilles ved verdistrømkart, som har til hensikt å illustrere flyt av materialer og oppgaver i sammenheng med varigheter og informasjon. Men dessverre var det for mye variasjon og usikkerhet ved operasjonens materialsystem til at det lot seg gjøre å fremstille informasjonen i et verdistrømkart. Stålet ble bestilt før, og levert under, elementmontasjen. Det ble dermed liggende lenge i de nederste etasjene, og forskjellen mellom hvor lagringstiden mellom de ulike etasjene varierte veldig. Samtidig varierte bestillingsprosessen av gips fra etasje til etasje, samt at det ofte ble gjort feil, slik at det måtte bestilles noe ekstra.

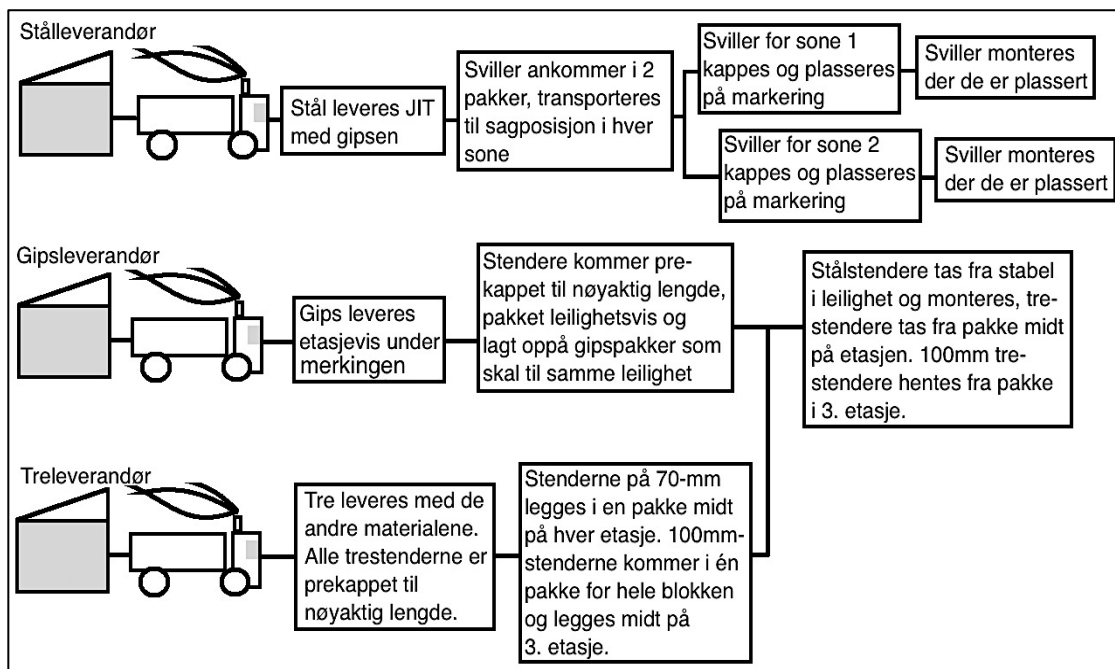
Kartleggingen begrenset seg derfor til en kvalitativ fremstilling av materialsystemet, hvor hensikten er å beskrive *hva* som skjer og *i hvilken rekkefølge*, uten å gjøre forsøk på å tallfeste de usikre varighetene eller illustrere den varierende informasjonsflyten. Det som ble fremstilt blir av mange akademikere referert til som et prosesskart. Dette har samme hensikt med å vise det trinnvise løpet for materialer fra bestilling til ferdig montasje, men tar ikke hensyn til varigheter og andelen verdiskapende tid.





Figur 38: Prosesskart av materialsystemet ved opprinnelig operasjon

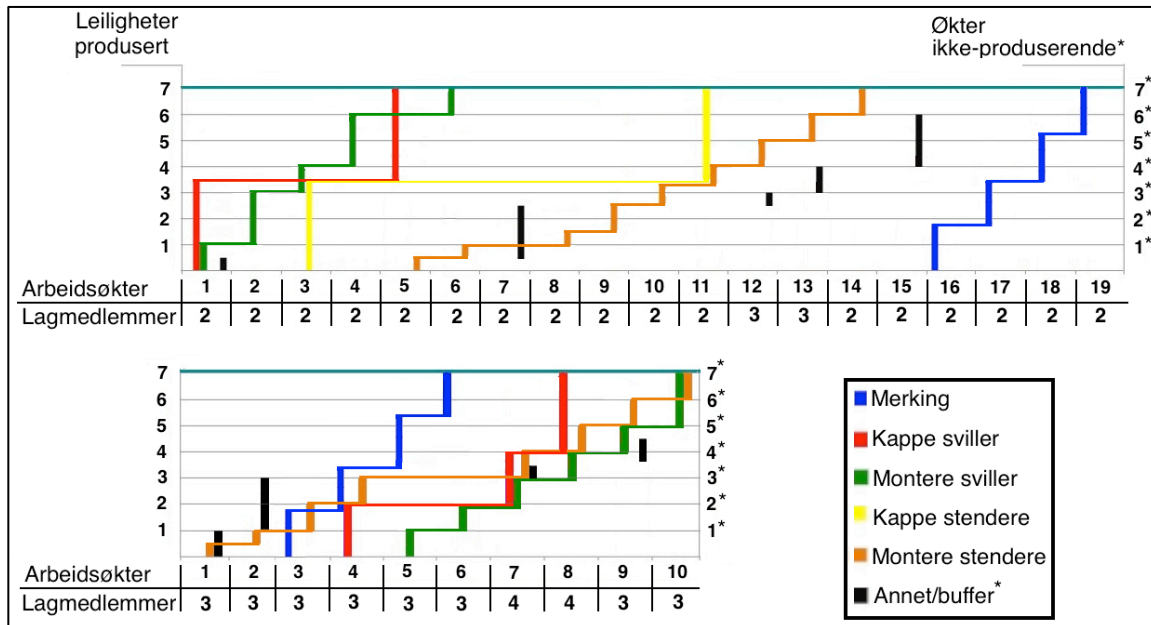
Det ble tidlig i analysene tydelig at materialsystemet var komplisert og inneholdt flere unødvendige elementer. Det ble derfor viktig i forbedringsarbeidet å gjøre dette systemet mer hensiktsmessig. Disse endringene er nærmere beskrevet i delkapittel 5.3.



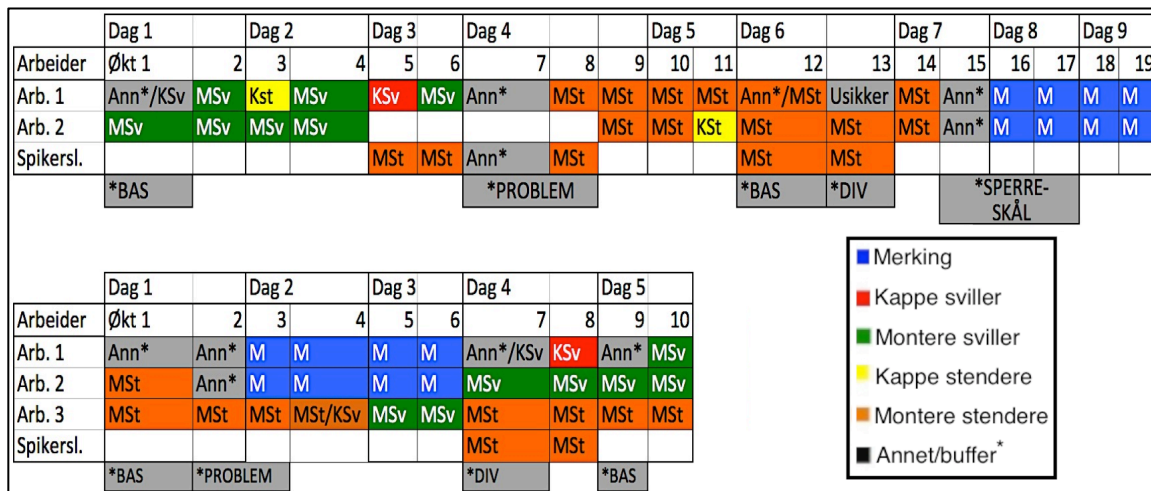
Figur 39: Prosesskart av materialsystemet ved revidert operasjon

### 5.5.5. Trappediagram og bemanningsdiagram

For dette feltstudiet var den produserte enhet (y-akse) "leiligheter produsert" og tidsenheten (x-akse) "økter". Det må påpekes at kategorien "annet/buffer" *ikke* er målt i leiligheter produsert, men måles i mannsøkter. Med andre ord: Når én arbeider har brukt én økt på annet enn innerveggproduksjon, øker denne kategorien med én enhet. For eksempel brukte begge arbeidere i økt syv på å løse et kvalitetsproblem, og akkumulerte da én arbeidsøkt hver i "annet/buffer"-kategorien.



Figur 40: Trappediagrammet viser akkumulert fremdrift for oppgavene ved opprinnelig (over) og revidert (under) operasjon. Merk at høyre akse er for kategorien annet/buffer, markert ved (\*).



Figur 41: Bemanningsdiagram for opprinnelig (over) og revidert (under) operasjon

Foruten den kortere tidsbruken for å produsere én etasje, fremkommer det tydelig av trappediagrammet at oppgavene ved den reviderte operasjonen i større grad utvikler seg gradvis. Hadde vi sett på flere etasjer produsert etter hverandre, altså flere repetisjoner av operasjonen, og dermed sett flere trappediagrammer etter hverandre, ville vi sett at hver oppgave i større grad ville pågått kontinuerlig fremfor å stadig stoppe i lengre tid. Dette gir operasjonen som helhet et større preg av jevn produksjon og gjør at den oppfører seg mer som et pålitelig maskineri enn en variabel arbeidsprosess, som vist i tabellen under.

Tabell 4: Lengste stopp (i antall arbeidsøkter) ved de ulike oppgavene produseres til neste repetisjon av operasjonen.

Oppgave	Opprinnelig	Revidert	Differanse
Merke	15	7	-8
Kappe sviller	14	5	-9
Montere sviller	13	4	-9
Kappe stendere	10		
Montere	9	0	-9

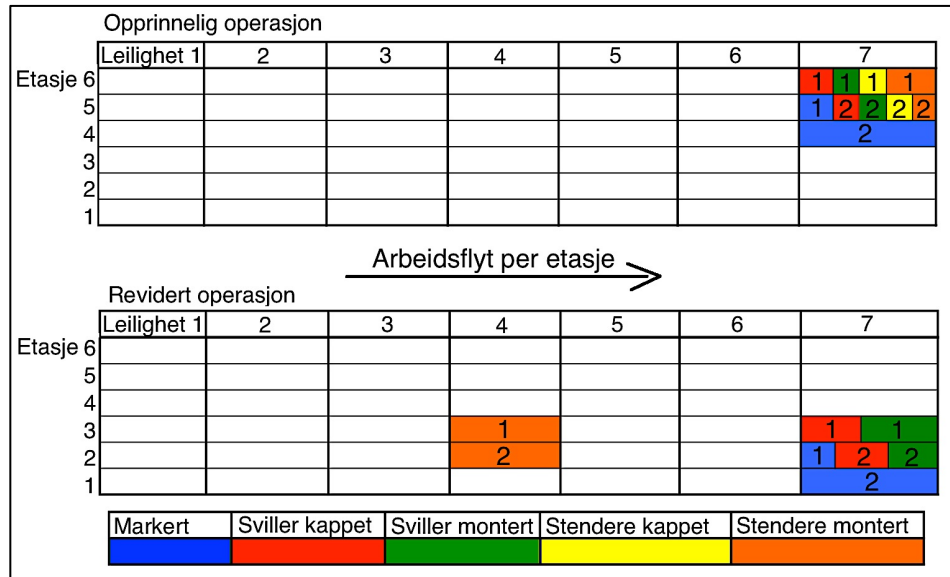
Dette kan forklares med en analogi. Ved case studien bestod operasjonen av fem oppgaver som skulle produsere syv leiligheter, hvilket kan være fem biler som i kø skal kjøre syv kilometer. Dessverre har man ikke kapasitet til å bemanne alle fem bilene til ethvert tidspunkt. Man kan derfor enten fokusere på å hele tiden få én eller to av bilene i mål om gangen, eller vekselvis kjøre alle bilene litt fremover slik at de alle passerer målstreken omtrent til samme tid. Den førstnevnte tendensen ser man på trappediagrammet av den *opprinnelige* operasjonen, mens den andre var tilstede ved den *reviderte* operasjonen.

Merk at mengden tid til annet/buffer er 6 mannsøkter i løpet av de 19 arbeidsøktene det opprinnelig tar å produsere én etasje, mens tallet er hele 4,5 i løpet av de 10 øktene for den reviderte operasjonen. Med andre ord er det opprinnelig 0,32 mannsøkter i buffer per økt ( $6/19=0,32$ ), mens det er 0,45 mannsøkter per økt ( $4,5/10=0,45$ ) ved den reviderte operasjonen. Det er altså *mer* buffer per økt i den reviderte operasjonen.

## 5.6. Kvantitative resultater

Fra et representativt startpunkt ble det målt tid og timeverk som gikk med for å produsere nøyaktig én etasje. Dette innebar å merke, kappe og montere sviller og kappe og montere stendere. Kapping av stendere ble fjernet ved den reviderte operasjonen. Etasjene som ble produsert ved opprinnelig og revidert tilstand av

operasjonen var identiske, og resultatene derfor sammenlignbare. Den opprinnelige operasjonen startet mandag uke 1 av case studien, mens den reviderte begynte mandag uke 4. Uke 2 og 3 ble brukt til utarbeiding og tolkning av analyseresultater og utarbeiding av forslag til forbedringer fra opprinnelig til revidert operasjon i samråd med fagarbeiderne.



Figur 42: Produksjonens status ved start (1) og slutt (2) av kvantitative målinger av opprinnelig (over) og revidert (under) operasjon.

Ytelsen til operasjonen ble målt både i opprinnelig og revidert tilstand. Med revidert tilstand menes operasjonen slik den ble utført i uke fire av feltstudiet, med endringene som omtales i delkapittel 5.3.

Tabell 5: Operasjonens kvantitative resultater

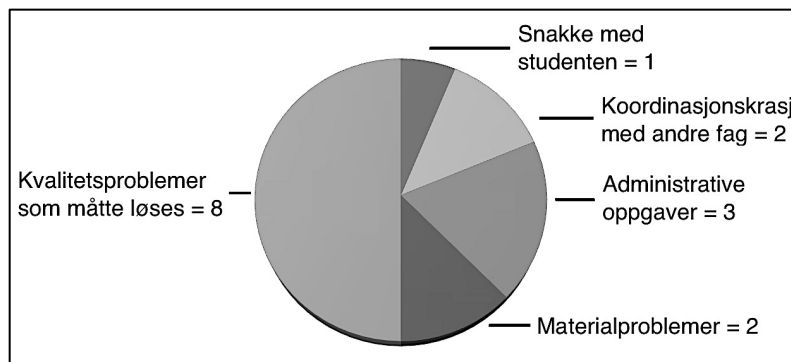
Opprinnelig operasjon	Gjennomføringstid	71,25 arbeidstimer (19 arbeidsøkter)
	Timeverk	150 timeverk
Revidert operasjon	Gjennomføringstid	37,5 arbeidstimer (10 arbeidsøkter)
	Timeverk	120 timeverk
Differanse	Gjennomføringstid	-47,4%
	Timeverk	-20,0%
	Kostnad for endringer	0,-

I denne masteroppgaven ble produktivitet definert på to måter: Mengder produsert per ressursbruk og mengder produsert per tid. Begge operasjoner produserte én etasje med 768,6 kvadratmeter veggareal (286,8 løpemeter med teoretisk høyde 268cm). Fra de kvantitative resultatene ble dermed den opprinnelige operasjonens produktivitet 10,79 kvm per arbeidstime og 5,12 kvm per timeverk, mens den reviderte produserte 20,50 kvm per arbeidstime og 6,41 per timeverk.

Den reviderte operasjonen var altså overlegen den opprinnelige. Flere faktorer bidro til dette, hvor enkelte var lettere kvantifiserbare enn andre, og i delkapittel 5.3 ble endringene ved operasjonen beskrevet og diskutert.

Gjennom loggsystemet ble arbeiderne spurt om å loggføre hvilken oppgave de gjorde, hvor de påbegynte oppgaven, hvor mye de antok å produsere i løpet av økten og eventuelle årsaker til at de ikke nådde denne målsetningen. En slags PPC ble målt, altså et prosentvis mål av hvor mange oppgaver som nådde den fastsatte målsetningen. Det ble observert at målsetningene var i tråd med deres vanlige produksjonstempoet og ingen mål ble identifisert som passive eller for "sikre".

Resultatet var at 70 av totalt 86 mål ble nådd som planlagt, hvilket gir en PPC på 81,4%. Dette viser at laget hadde en forholdsvis god formening om hvor mye de ville klare å produsere nær utførelsestidspunkt. Samtidig kan det vurderes slik at å ikke kunne forutsi hva man skal produsere de neste 3-4 timene hele 1 av 5 ganger ikke nødvendigvis er gode tall. Årsakene til uoppnådde mål ble dokumentert:



Figur 43: Årsaksanalyse (4 uker, PPC=81,4%, 16 uoppnådde forpliktelser av 86 totalt)

Årsaksanalysens hensikt var å identifisere hvilke områder som bør fokuseres på for å bedre produksjonens evne til å nå forpliktelser. Resultatene viste en overvekt av kvalitetsproblemer som medførte ekstraarbeid. Hvorvidt feilene skyldtes produksjonsfeil, tegningsfeil, dårlig kommunikasjon eller andre forhold burde undersøkes videre av administrasjonen i samråd med de utførende. Å identifisere disse såkalte *rotårsakene* kunne også blitt gjort i denne case studien, gjennom 5-whys (spørre *hvorfor* fem ganger for å komme til kjernen av problemet). Men studenten vurderte arbeidsklimaet til å ikke være mottakelig for denne dypere granskingen av hvorfor laget ikke nådde målene sine.



## 6. DRØFTING

---

I drøftingen blir forskningsspørsmålene diskutert og besvart på bakgrunn av de empiriske resultatene sett i sammenheng med den bakenforliggende teorien. Forskningsspørsmålene er ment å støtte opp om masteroppgavens problemstilling: *"I hvor stor grad kan arbeidsoperasjoner forbedres med operasjonsanalyse og tiltak basert på Lean Construction-prinsipper?"*

### **Hvilke kvantitative resultater kan oppnås med denne type forbedringsarbeid?**

Produktivitet ble målt på to måter ved dette case studiet: Mengder produsert per tidsenhet og mengder produsert per ressursbruk. Tid ble målt i arbeidstimer og ressursbruk i timeverk. Mengdene var for begge operasjonene 768,6 kvadratmeter vegg (286,8 løpemeter og teoretisk høyde på 268 cm). Den reviderte operasjonen ved case studien var overlegen utfra begge definisjoner og endringene kunne implementeres uten ekstra kostnader, utstyr eller opplæring.

Tiden for å produsere én etasje ble redusert fra 71,25 til 37,5 arbeidstimer, hvilket er en forbedring på hele 47,4%. Dette ga en forbedret produktivitet fra 10,79 kvadratmeter vegg per time til 20,50. Det må sies at tidsbruken til en operasjon vil, uavhengig av teoretisk rammeverk, synke med økt bemanning når oppgavene har så håndterbare avhengigheter som ved denne. Men operasjonens tidsbruk sank prosentvis langt mer enn bemanningen økte. Dessuten kan et høyere antall fagarbeidere ved andre operasjoner, som betongstøpingen beskrevet av Oglesby et al. (1989), gjøre operasjonen *mindre* produktiv med hensyn på både tid og kostnad.

Antallet timeverk ble redusert fra 150 til 120, en forbedring på 20%. Timeverk er et mål på arbeidsomfanger, altså ressursene som puttes inn i prosessen. Dette medførte en økning i produktivitet fra 5,12 kvadratmeter vegg produsert per timeverk til 6,41. En del av resultatet er at kappingen av stenderne ble redusert, men dette var riktignok kun 7,5 timeverk (én arbeider i én arbeidsdag) per etasje ved opprinnelig operasjon. Med andre ord har også de andre endringene medført at arbeidet kunne produseres med mindre ressursbruk.

Vanligvis når man snakker om å redusere tidsbruken til en prosess, bruker man gjerne begrepet "crashing". Dette betyr å kaste inn ekstra ressurser for å få jobben gjort raskere. Da går tidsbruken ned, men timeverkene går opp. Man ofrer altså noe kostnad for å redusere tidsbruken. Ved case studien opplevdes derimot at begge deler sank, hvilket er særdeles ønskelig.

Fagarbeiderne lønnes dessuten med akkordlønn, en sum som er fastsatt for å produsere en bestemt mengde, for eksempel en etasje. Dette er en kostnad entreprenøren må betale fagarbeiderne, og ble ved case studien redusert da unødvendige oppgaver og bevegelser ble eliminert. Grunnet den reduserte tidsbruken, får fagarbeidernes likevel mer akkordlønn per tidsenhet enn opprinnelig.

For denne masteroppgaven var det dessverre vanskelig å finne det konkrete akkordbeløpet per etasje, da elementene i beregningen er definert på en annen måte enn arbeidet for operasjonen. Det lot seg gjøre å finne akkordbeløpet for alle innervegger produsert per etasje, men dette inkluderer spikerslag og gipsing, og utelater inntransport av materialer.

Men hovedpoenget er at det beregnes et konkret beløp for hva denne boligblokken vil koste entreprenøren i form av egenproduksjon. Fjernes bevegelser eller oppgaver som inngår i regnestykket, reduseres entreprenørens kostnader i form av å redusere akkordsummen for å produsere blokken.

Analyseverktøyene analyserte operasjonen fra flere perspektiv og med ulike fokusområder og fant derfor forbedringspotensial på ulike områder. Nære selve transformasjonen av materialer til innervegg var det lite å forbedre, men de store forbedringene var å finne i flyten av oppgaver og materialer. Hovedårsakene til dette var mer stabil fremdrift av de ulike oppgavene og et enklere materialsystem. Begge disse faktorene er tett knyttet til flytaspektene ved operasjonen.

To betenkeligheter ved de kvalitative resultatenes validitet måtte reflekteres over:

- Hawthorne-effekten (Moore 2011); om produktiviteten økte ved at fagarbeiderne jobbet raskere fordi de fikk variasjon og oppmerksomhet, uavhengig om tiltakene i seg selv økte produktiviteten.
- Hvorvidt fagarbeiderne selv *ønsket* at den reviderte operasjonen, som var basert på deres egne forslag til forbedringer, skulle være bedre enn den opprinnelige og derfor ville jobbe raskere.

Begge disse effektene ble konkludert som ikke tilstedeværende da hastigheten på de uforandrede oppgavene var forholdsvis konstante gjennom hele case studien. Tidsbesparelsen virket ikke å komme av at fagarbeiderne jobbet raskere, men smartere.

### **Hvilke kvalitative resultater kan oppnås?**

Operasjonen ved case studien fikk en langt jevnere produksjon i revidert tilstand. Den opprinnelige tilnærmingen hadde i stor grad fokusert på én oppgave om gangen, som minnet om serieproduksjon. Dette hadde skapt mye unødvendig variabilitet mellom oppgavene og medførte at operasjonen strakk seg over et unødvendig stort fysisk areal. Flyten til operasjonen ble derfor langt forbedret ved at oppgaver for neste økt ble bestemt utfra kundens "pull", hvor kunden var den oppgaven som trengte produktet fra den foregående oppgaven. Dette gjorde at laget til enhver tid produserte det de helst burde og fagarbeiderne dynamisk vekslet mellom de ulike oppgavene.



Ergonomien ved kapping av sviller ble også forbedret ved å endre materialsystemet og ta i bruk bukker, hvilket bedret materialhåndteringen og reduserte antallet ganger fagarbeiderne bøyde seg ned ved kapping av sviller fra tre til én.

Ved spraymaling ble en fysisk visualisering av lagets nåværende og fremtidige arbeidsområde i blokken oppnådd. Dette klargjorde overfor andre fag hvilke arealer de hadde til rådighet, og var et enkelt tiltak som ble foreslått for å håndtere koordineringsproblemer med hensyn på logistikk mellom fag, som det ble observert flere av tidlig i case studien. Laget var likevel skeptiske til hvorvidt denne sprayen ville bli respektert av andre fag, men ingen koordineringsproblemer mellom fag ble observert etter at den ble introdusert.

I tillegg til de konkrete tiltakene som er nevnt, ble det i tråd med det niende prinsippet til Koskela (1992, s.16) forsøkt å bygge inn en kultur for kontinuerlig forbedring i laget. De tilegnet seg gjennom samtaler med studenten kunnskaper om flyt, push og pull, variabilitet, sløsing og andre viktige Lean-begreper. Kulturen fikk også positivt fotfeste hos administrasjonen på byggeplass, blant annet ved at prosjektleder og produksjonsledere etterspurte instruksjoner for å gjøre tilsvarende analyser og forbedringer på andre operasjoner.

Som diskutert senere i drøftingen, spørres det hvorvidt den kulturelle virkningen fikk nok fotfeste til å virkelig skape endring i være- og tenkemåte. Det ble bekreftet fra prosjektadministrasjonen etter case studien at flere av tiltakene ble ivaretatt i lagets praksis, men det er ikke bekreftet om denne mer kulturelle påvirkningen har satt sport. Men det fantes utvilsomt positive tendenser under case studien.

Det fantes med andre ord flere kvantitative effekter å oppnå gjennom forbedringsarbeidet, hvilket også er et viktig element i å forbedre praksis. Fokuserer man kun på produktivitet og andre kvantitative mål, kan dette gå på bekostning av operasjonens pålitelighet, andre fags arbeid eller HMS. Nøyaktig *hvilke* kvalitative effekter som kan oppnås ved andre operasjoner er selvsagt vanskelig å si, men at *noen* kan oppnås burde være naturlig å anta på bakgrunn av denne case studien.

### **Hvilke insentiver har entreprenøren for denne type forbedringsarbeid?**

#### *Entreprenørens sentrale administrasjon*

Å analysere og finne god praksis for å gjennomføre operasjonen er første trinn i å standardisere operasjoner. For entreprenøren er det svært ønskelig å etablere en standard som har høy produktivitet og pålitelighet. At arbeidsoppgaver løses på samme måte på tvers av organisasjonen skaper en sterk basis for å utnytte felles kompetanse i forbedringsarbeid. Standardiseres operasjoner på tvers av organisasjonen, kan det komme forbedrende forslag fra ulike avdelinger, hvilket kan bli den nye standarden hos alle disse, som igjen kan forbedres. Bedre praksis gir høyere produktivitet og større profitt for entreprenøren.

I Skanska jobbes det med å skape felles praksis for oppgaver. En viktig problemstilling i dette arbeidet er om man skal bruke det mest produktive arbeidslaget i landet som standard, hvor det kan finnes lokale forhold eller eksepsjonell faglig dyktighet som gjør at deres praksis ikke er oppnåelig på andre prosjekter. Alternativet er en mer generisk fremgangsmåte, hvor standard praksis forutsetter et arbeidstempo og en faglig dyktighet som er oppnåelig på alle prosjekter. Ved case studien ble sistnevnte innfallsvinkel valgt.

Entreprenøren er åpenbart interessert i fremgangsmåten utprøvd under dette studiet fra et økonomisk perspektiv. Kan gjennomføringstid reduseres med 47,4% og kostnad med 20% for én operasjon på ett prosjekt, finnes utvilsomt et interessant potensial på større skala. I boligblokkproduksjon er ofte en del av fagarbeidernes lønn i form av akkordlønn; at fagarbeiderne lønnes for mengder produsert. Denne akkordberegningen er komplisert og tar i så stor grad som mulig inn alle bygningsdeler og bevegelser som går med til å produsere en boligblokk.

Det viste seg som sagt svært vanskelig å finne det eksakte akkordbeløpet for operasjonen i denne case studien, men *at* det er gjort besparelser på det er det ingen tvil om, da flere elementer som inngår akkordberegningen er eliminert fra opprinnelig til revidert operasjon.

### *Prosjektadministrasjon*

Før feltstudiet var det lite produksjonskontroll å spore på byggeplassen, og metodikken til operasjonen ble ikke evaluert fra administrasjonen. Med andre ord var det overlatt til produksjonsenheten selv å bedømme om deres praksis var god og om forbedring burde søkes. Dette er i tråd med observasjonene til Ballard og Howell (1998).

Administrasjonen signaliserte tydelig at dersom resultatene var positive, ønsket de en innføring i fremgangsmåten for å gjøre lignende arbeid på andre operasjoner. I tillegg ble et viktig bruksområde for analysene å fungere som beslutningsgrunnlag for logistikken rundt operasjonen. Et eksempel var at produksjonslederen med ansvar for materialbestillingen gjerne ville ha analysene, både for å identifisere og velge det mest optimale systemet, samt å ha resultatene som dokumentasjon dersom valg av system senere måtte forsvares. I tillegg kan analysene tjene formål som som beslutningsunderlag ved bemanningsavgjørelser ved at kunnskap om hvordan operasjonens ytelse påvirkes av ulike antall lagmedlemmer.

### *Fagarbeidere*

Det var flere aspekter ved forbedringsarbeidet som var i fagarbeidernes interesse. Ved akkordsystemet betales de for mengder produsert fremfor timer brukt, og man kan derfor si at det ved akkordlønn alltid er gunstig å produsere mest mulig på kort tid. Dessverre medfører systemet også at ved å redusere arbeidsmengden per produserte blokk, lønnes fagarbeiderne mindre per produserte blokk. For eksempel

får arbeiderne akkordlønn for enhver materialtransport på over 20 meter. Altså tjener de mindre penger på å kappe sviller dersom svillene er plassert rett ved saken fremfor om fagarbeiderne må gå over 20 meter for å hente dem.

Men det skal sies at netto lønn kan øke selv om verdien per produserte enhet er noe lavere. Dette skjer ved at fagarbeiderne jobber raskere, dermed produseres flere enheter (for eksempel meter vegg) per tid. Dette kan illustreres med et eksempel:

I mangel på den faktiske akkordlønnen, sier vi i dette eksempelet at denne er 50kr per kvadratmeter (heretter angitt kvm) vegg. Så sier vi at denne reduseres med 10% til 45kr per kvm grunnet blant annet enklere materialhåndtering. Opprinnelig produserte laget i snitt 80,91 kvm per dag (10,79 kvm per time x 7,5 timer per dag), men nå produserer de 153,73 kvm per dag (20,50kvm per time x 7,5 timer per dag) grunnet nettopp disse endringene. Effektivt tjener de nå 6917,85kr per dag (153,73kvm x 45kr per kvm) fremfor 4045,50kr (80,91kvm x 50kr per kvm). Regner vi ikke med lønnsforskjellen mellom lærling og fagarbeider, og heller ikke bas-tillegg, kan vi si at hver mann tjener 1618,20kr per dag ved opprinnelig operasjon og 1978,53kr ved revidert, hvilket betyr at hver mann tjener 22,14% mer per dag.

To koordinerings- og administrasjonsforhold forutsettes for eksempelet: At operasjonen ikke har tregere operasjoner foran seg som gjør at den stopper, og at når blokken er ferdig blir fagarbeiderne satt til annet arbeid så de fortsetter å tjene penger (enten på dette prosjektet eller et annet).

Fagarbeiderne har også andre insentiver enn de økonomiske til å analysere og forbedre operasjonen. I case studien ble arbeidshverdagen til fagarbeiderne forbedret på flere måter. Ergonomisk var det opprinnelig mye unødvendig løfting av materialer. Med hensyn på trivsel var flere elementer ved den opprinnelige operasjonen frustrerende, som for eksempel det tungvinte materialsystemet, samt at andre fag tok opp plass som trengtes til innerveggproduksjonen.

Arbeidet fra case studien er ment å skulle inngå i en katalogisering av operasjoner i Skanska. Å kunne bidra til at andre deler av entreprenøren jobber etter deres mal, må utvilsomt vekke en stolthet i fagarbeidere. Målet er å skape en basis for at prosjekter kan utveksle sine gjøremåter og finne en god, *felles* praksis. Dette kan først gjøres mellom to prosjekter for å skape denne praksisen, før prosessen gjøres på regionalt og kanskje til og med nasjonalt nivå.

### **Hvilke typer arbeidsoperasjoner fungerer forbedringsarbeidet på?**

Det blir nærliggende å spørre i hvor stor grad man kunne gått frem på andre operasjoner med lignende analyseverktøy og ved Lean-prinsipper skapt tilsvarende forbedring. Det virker som man kan dele inn i to hovedelementer som må ha enkelte egenskaper for å lykkes med analysen: Operasjonen som analyseres og analyseverktøyene. Hvilke Lean-prinsipper som brukes avhenger av analyseresultatene og vil variere.

Hvilke egenskaper må en operasjon inneha for at man kan analysere for å forbedre den på denne måten? Til dette vises det til Koskela (1992) og hans TFV-teori. Siden mye av potensialet ofte er relatert til flyt, trenger man et system bestående av flere individuelle deler for å kunne analysere flyten mellom disse. Med andre ord må den analyserte operasjonen kunne sees på som et system av flere oppgaver (deloperasjoner) som flyter mellom seg. For å forbedre operasjonen må endringene implementeres omfattende nok i systemet til å påvirke denne flyten.

Det virker på bakgrunn av dette sett i sammenheng med operasjonen fra case studien at følgende egenskaper bør være til stede:

- Flere lagmedlemmer (til å danne et system)
- Operasjonen kan deles inn i ulike oppgaver (deloperasjoner)
- Flyt av oppgaver og materialer bortover et fysisk areal
- Operasjonen er repetitiv (slik at man kan analysere samme produksjon både opprinnelig og revidert). Dette åpner også for å gjøre flere iterasjoner av analyser og forbedringer.

Det andre hovedelementet for analysene er verktøyene. Toyota delte sløsing inn i 7 former: Overproduksjon, overprosessering, venting, unødvendig transport, unødvendig bevegelse, unødvendig inventar, defekte produkter (Liker 2004; Ōno 1988; Østby-Deglum et al. 2013). Siden sløsing kan forekomme på mange ulike måter, bør derfor operasjonsanalysen se operasjonen fra ulike perspektiv og med ulike fokusområder for å fange opp disse. Nøyaktig hvilke verktøy som brukes er opp til den enkelte, men analysene bør danne et helhetlig bilde av operasjonen gjennom fokus på flere ulike aspekter. I denne case studien så de ulike verktøyene på følgende:

- Mannskapets arbeid nære transformasjonen (mannskapsdiagram)
- Flyt av materialer (prosesskart; utarbeidet fra verdistrømskart)
- Fremtdrift og bemanning av ulike oppgaver (trappediagram og bemanningsdiagram)
- Fysisk oversikt av material- og oppgaveflyt (flytdiagram kombinert med prosessdiagram)

Et godt eksempel på at operasjoner bør analyseres med flere ulike verktøy er forskjellen mellom operasjonen i case studien og betongoperasjonen på side 224 av Oglesby et al. (1989). Betongoperasjonen er ikke optimal i nærhet av transformasjonen, og det identifiseres derfor svært mye rom for forbedring gjennom mannskapsdiagrammet. Men operasjonen hadde muligens sett svært produktiv ut ved andre verktøy som trappe- eller flytdiagram. Inneveggoperasjonen ved case studien viste seg å være motsatt: Lite forbedringspotensial ble avdekket av mannskapsdiagrammet, mens de andre verktøyene identifiserte store rom for forbedring.

## Hvilke utfordringer finnes ved denne type forbedringsarbeid?

Å suksessfullt implementere Lean Construction er ofte ressurskrevende og må gjøres i stort omfang for å få fotfeste i organisasjonen (Byggekostnadsprogrammet 2010; Kalsaas et al. 2010). Prosessen kan ofte være tidkrevende for å overbevise de involverte om filosofiens positive innvirkning på prosjektet, og man må gjerne kjempe mot sterk organisasjonskultur (Kalsaas et al. 2010).

Disse problemene kan virke å være mest aktuelle i to tilfeller: Når man implementerer Lean Construction på et administrativt plan som påvirker organisasjonen kulturelt som ved Last Planner-innføringen ved Havlimyra (Kalsaas et al. 2010), og når man direkte *pålegger* fagarbeiderne å endre arbeidsmetodikken sin som ved forsøket til Salem et al. (2006).

I case studien ble imidlertid Lean Construction implementert på en langt mindre kulturelt utfordrende måte. Det var fremdeles skepsis og tydelig motstand mot endring, men endringene dreide seg mer om konfigurasjonen av operasjonen enn en endret være- og tenkemåte. Endringene var i tillegg fullstendig på fagarbeidernes premisser. Analysene ble gjort med deres godkjenning det var deretter kun deres egne forslag til forbedringer som ble tatt inn i den reviderte utgaven av operasjonen. De visste sjelden at tiltakene de hadde foreslått faktisk *hadde* grunnlag i Lean-prinsipper og ble med andre ord ikke påtvunget en fremmed kultur.

Det skal likevel nevnes at uansett om man implementerer en teori, metodikk, utstyr eller annet til en organisasjon, virker det som man alltid må ta hensyn til organisatoriske og menneskelige elementer som kjemper mot endring. Under delkapittel 4.2 om implementering nevnes flere punkter som er relevante for den gjennomførte case studien.

Spesielt bør punkt fem i listen til Hitt et al. (1989, referert i Østby-Deglum et al., 2013, s. 221-222) nevnes: "*Mangel på gjensidig tillit fra ansatte.*" Dersom undertegnede ved oppstart av case studien ikke hadde kommunisert målrettet nok med de involverte om hensikten med den, ville de trolig verken sett relevansen eller et potensielt felles utbytte av studien og de ville ikke kommunisert respektfullt tilbake. At erfarne bygningsarbeidere skulle la arbeidsmetodikken deres bli analysert av en student for å forbedre den utfra et fagfelt som Lean Construction, som av mange ansees som ungt, teoretisk rettet og radikalt annerledes er utfordrende forutsetninger.

Ressursbruken og den tunge forpliktelsen fra organisasjonen som omtales av Kalsaas et al. (2010) var verken tilstede eller veldig nødvendig ved case studien. Kun de fire lagmedlemmene og noen medlemmer av administrasjonen ble berørt av studiet. Men studiet var svært sårbart i den forstand at dersom fagarbeiderne hadde vist motstand, kunne hele studiet stoppet opp. I så tilfelle måtte administrasjonen blitt kontaktet for å løse situasjonen, hvilket ansees mer som en håndrekning enn en implementeringsmekanisme. Studiet ville således blitt av langt dårligere kvalitet,

resultatene gyldighet sterkt redusert og fagarbeiderne ikke hatt et positivt inntrykk av Lean Construction.

En konstant utfordring var likevel at studiets fremdrift i stor grad var påvirket av fagarbeidernes humør, spesielt av basen som styrte laget. Med fullstendig oversikt over arbeidet, god fremdrift i forhold til planen og overskudd var han svært positiv til studiet og tok selv initiativ til mange samtaler som omhandlet hverdagen med Lean Construction i forhold til den tradisjonelle gjennomføringsmodellen.

Men basen hadde også en tendens til å falle tilbake til gamle vaner da problemer oppstod. Et eksempel var da han kom tilbake etter to fridager og var misfornøyd med både ryddighet og hva som var produsert. Fremdriften mens han var borte var faktisk noe høyere enn gjennomsnittlig, men han hadde åpenbart en annen forestilling av hva han ville se da han kom tilbake på jobb. Da ville basen ikke høre snakk om noe Lean Construction, og "bare få kontroll". Dette innebar å stoppe produksjonen i en halv dag, iverksette lærlingene og prioritere rydding av småkapp.

Det var åpenbart at laget, spesielt basen, fort fikk tunnelsyn straks selv små vanskeligheter oppstod, og da ikke ville høre noe om studiet. Som nevnt i teorikapittelet sier Howell (1999) at det er viktig med riktig tempo og omfang av implementering av Lean Construction, da det er lett for involverte fagarbeidere å miste troen på studiet og heller falle tilbake til gamle vaner. Dette har god overenstemmelse med observasjonen ovenfor. Selv om mer "trykk" på studiets viktighet fra administrasjonen generelt sett ikke opplevdes som nødvendig, ville det gjort situasjoner som den ovennevnte lettere.

Som et begrenset alternativ med hensyn på tid og omfang, viser denne oppgaven at man kan oppnå gode resultater på kort tid på operasjonsnivå mer operasjonsanalyse og Lean Construction-prinsipper. Resultatene ved case studien var riktignok i stor grad preget av at Lean-prinsippene direkte påvirket konfigurasjonen av operasjonen og derfor skapte umiddelbare resultater. Med sitt opphav fra Toyotas effektive produksjonssystem har disse prinsippene i en årrekke vist seg å være velegnede for å fjerne sløsing og optimalisere produksjonssystemer.

Det må likevel nevnes at det korte tidsperspektivet kanskje medførte at de mer kulturelle sidene ved Lean ikke fikk nok grobunn. Det var tydelig at fagarbeiderne fikk et mer bevisst forhold til å se analytisk på arbeidet sitt og søke forbedring, og kontinuerlig forbedring ble tilsynelatende bygget inn i prosessen. Men hvorvidt dette forsvant etter case studien er vanskelig å si. Å skape en Lean kultur er tidkrevende (Moore 2011; Womack et al. 1990).

## 7. KONKLUSJON

---

Lean Construction er en produksjonsfilosofi som retter seg mot å redusere sløsing og øke produktiviteten i dagens byggebransje. Filosofien stammer fra Toyotas suksessfulle fabrikker, og å forstå og optimalisere produksjonssystemet på byggeplassen er et sentralt element. Men i en konservativ bransje kan det være både tid- og ressurskrevende å skape endring fra tradisjonell prosjekt-tilnærming til Lean. Det kan derfor vise seg å være nyttig å starte med deler av systemet, gjerne én enkelt arbeidsoperasjon, for å ufarliggjøre filosofien og forhåpentligvis ha en positiv innvirkning på produktiviteten.

Masteroppgavens problemstilling er derfor: "I hvor stor grad kan arbeidsoperasjoner forbedres med operasjonsanalyse og tiltak basert på Lean Construction-prinsipper?" I en case studie gjennomført med konstruktiv forskningsmetode ble en innerveggoperasjon analysert for å finne forbedringspotensial, og forbedringer foreslått av fagarbeiderne. Forslagene med rot i Lean Construction ble med i en revidert utgave av operasjonen som så ble testet i case studiens siste uke.

Man bør analysere, forbedre og standardisere arbeidsoperasjoner i en repeterende iterativ prosess (Moore 2011). Man må starte med å gjennomføre arbeidet med den nåværende praksisen, gjør analyser og finner en produktiv og pålitelig praksis av operasjonen som så standardiseres, før så prosessen gjentas kontinuerlig. Standarden bør diskuteres på tvers av både prosjektet og regioner i entreprenøren for å finne en felles praksis og lære av hverandre. Med gode resultater fra case studien kunne denne praksisen for innerveggproduksjon etableres som standard praksis ved Skanskas prosjekt Indre Vågen Atrium.

Operasjonen ble svært forbedret fra opprinnelig til revidert tilstand. Å produsere én etasje ble tidsmessig redusert med 47,4% fra 71,25 til 37,5 timer og timeverkene ble redusert med 20% fra 150 til 120. Produktiviteten økte med hensyn på ressurser fra 5,12 til 6,41 kvadratmeter vegg produsert per timeverk, og med hensyn på tid fra 10,79 til 20,50 kvadratmeter vegg produsert per time. I tillegg ble akkordlønnen per etasje, en kostnad entreprenøren har overfor arbeiderne, redusert ved eliminering av unødvendige oppgaver og bevegelser. Også kvalitative effekter ble oppnådd, som bedre ergonomi, jevnere fremdrift på de enkelte oppgaver og bedre avklaring mot til andre fag ved fysisk visualisering av arbeidsområde.

TFV-modellen til Koskela (1992) ser på produksjon med hensyn på transformasjon, flyt og verdi. Man har ifølge Koskela (1992) tradisjonelt fokusert på transformasjon og det finnes derfor mest forbedringspotensial forbundet med flyt, hvilket stemmer godt med analyseresultatene fra case studien. Lite forbedringspotensial ble funnet nære transformasjonen, grunnet enkelt håndterbare avhengigheter mellom oppgavene i operasjonen og fordi det allerede var gjort mye transformasjonsrelatert forbedringsarbeid.

Det ble derimot avdekket at materialer, mannskap og oppgaver fløt dårlig gjennom produksjonsprosessen, både mellom og internt i de ulike oppgavene i operasjonen, og flere forbedringer ble gjort med hensyn til dette. Spesielt endringene i materialsystemet bidro til store forbedringer, både kvantitative og kvalitative.

Det tredje elementet i TFV-modellen, verdforståelsen, var også sentralt i case studien. Et godt eksempel var kappingen av stålstenderne. Disse ble først kappet av leverandøren med cirka 5cm ekstramargin i forhold til nødvendig lengde, og deretter kappet igjen av arbeidslaget på byggeplass. Kelly et al. (2008) definerer verdi av et arbeid som hvordan det tilfører produktet funksjon delt på kostnaden av arbeidet. Funksjonen av begge kappingene kunne oppnås allerede ved den første, hvilket eliminerer kostnaden av den andre kappingen, og dermed øker verdien.

Konklusjonen for studiet er at operasjoner kan forbedres betydelig ved operasjonsanalyse og forbedrende tiltak basert på Lean-prinsipper. Dette er med forbehold om at operasjonen har samme egenskaper som den fra case studien ved at den har flere lagmedlemmer, kan deles inn i flere oppgaver, beveger seg bortover et fysisk areal og er repetitiv. Ulike verktøy kan brukes, men de bør danne et helhetlig bilde av operasjonen ulike perspektiv, som nær transformasjonen eller overordnet flyt, og ha ulike fokusområder, som mannskap, materialer og oppgaver.

Det virker som man kan forvente raske resultater fra Lean-prinsipper som påvirker konfigurasjonen til operasjonen, da disse har et forholdsvis ”mekanisk” preg fremfor å utfordre fagarbeidernes være- og tenkemåte. Mange forskere mener at det kan være krevende å implementere Lean Construction i en bransje preget av konservative holdninger og sterk organisasjonskultur mot endring.

Det ble således i forkant av case studien knyttet en del usikkerhet til hvorvidt man ville få gehør hos fagarbeiderne. Og selv om case studien var mindre kulturelt utfordrende enn mange lignende studier, fantes utvilsomt skepsis og tydelig motstand mot for mye endring.

Analysene ble derfor gjort på deres premisser, og alle endringer ved operasjonen var foreslått av dem selv. Selv om laget ble innforstått med filosofien, var dette på deres egen vilje og ikke et grunnpremiss for case studien. Implementering av Lean Construction på operasjonsnivå virker likevel å utfordre organisasjonskulturen mindre enn tiltak på høyere nivå, som for eksempel å innføre Last Planner System.



## 8. VIDERE ARBEID

---

Et sentralt element i denne avhandlingen har vært generaliteten til fremgangsmåten og resultatene fra case studien. Er resultatene fra denne case studien preget av særegne egenskaper ved den studerte operasjonen? Kunne man gått frem på samme måte med en annen arbeidsoperasjon og fått tilsvarende resultater? Det er prøvd å identifisere slike feilkilder og trekke generelle slutninger utfra resultatene, men flere studier på flere operasjoner ville selvsagt vært positivt.

Dersom resultatene fra denne case studien er oppnåelige på andre operasjoner og på større skala i prosjekter, burde det være mulig å drastisk øke produktiviteten og profitten til hele prosjekter. Ved å starte på operasjonsnivå kan man unngå de kulturelle vanskelighetene ved Lean Construction, og med økt produktivitet forhåpentligvis skape en mottakelig atmosfære for å introdusere filosofien på prosjektnivå ved for eksempel Last Planner.

Det ville også vært interessant å hatt tid til å gjennomføre fremgangsmåten i en iterativ prosess, hvor den reviderte operasjonen fra siste uken i case studien så ble utgangspunkt for enda en runde med analyser og forbedringer. Dette ville vært mer i tråd med prinsippet om å kontinuerlig gjenta SDCA (standardize-check-do-act) i jakten mot perfektjon.

Denne masteroppgaven blir brukt av Lean Construction-avdelingen til Skanska Norge som innspill på hvordan man sikre høy pålitelighet og ytelse i arbeidsoperasjoner for så å standardisere dem etter denne praksisen.

Forskningsarbeidet er også grunnlaget for et paper skrevet til IGLC22, den internasjonale Lean Construction-konferansen i Oslo i juni 2014 og bidrar til den pågående forskningen innen operasjonsanalyse, standardisering og Lean Construction på operasjonsnivå.



## 9. BIBLIOGRAFI

---

- Alves, T. C. d. I. (2012a). *Production System Design (Presentasjon)*. San Diego, CA, USA: San Diego State University (Akademisk).
- Alves, T. d. I. C., Tommelein, I. D. & Ballard, G. (2005). *Value stream mapping for make-to-order products in a job shop environment*: Construction Research Congress.
- Alves, T. d. I. C., Milberg, C. T. & Walsh, K. D. (2012). Exploring Lean Construction practice, research and education. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 19 (5): 4-4.
- Alves, T. d. I. C. (2012d). *New Production Philosophy (Presentasjon)*. San Diego, CA, USA: San Diego State University (Akademisk).
- Ballard, G. & Howell, G. (1998). Shielding production: essential step in production control. *Journal of Construction Engineering and management*, 124 (1): 11-17.
- Ballard, G. (2013). *Lean Construction and The Last Planner System, Intervju (videolink)*. Fosse, R. (red.).
- Ballard, H. G. (2000). *The last planner system of production control*: the University of Birmingham.
- Berg, T. F. (2008). Industrialisering og systematisering
- av boligbyggproduksjon: SINTEF Byggforsk. Byggekostnadsprogrammet. (2010). Resultatrapport prosjekt 14318 Organisasjonsutvikling og læring knyttet til trimmet bygging.
- Cnudde, M. (1991). *Lack of quality in construction-economic losses*. European Symposium on Management, Quality and Economics in Housing and Other Building Sectors, Lisbon. 508-515 s.
- Diekmann, J. E., Krewedl, M., Balonick, J., Stewart, T. & Won, S. (2004). Application of lean manufacturing principles to construction. *CII Report (project team 191), The Univ. of Texas at Austin*.
- Drevland, F. (2012). *Prosjekteringsprosessen som et produksjonsmiddel (Presentasjon)*. Trondheim, Norge: NTNU (Akademisk 12. februar).
- Dunlop, P. & Smith, S. D. (2004). Planning, estimatiion and productivity in the lean concrete pour. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 11 (1).
- Eiken, P. (2013). *Bygg21 - Visjon, mandat og opplegg*. Trondheim: Veidekke & NTNU.
- Fischer, M. (2011). *Virtual Design and Construction (Presentasjon)*. Stanford, CA, USA: Stanford University (1. september).
- Hamzeh, F. R., Ballard, G. & Tommelein, I. D. (2008). *Improving Construction Workflow-The Connective Role of Lookahead Planning*. Proceedings of the 16th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC 16). 635-646 s.
- Howell, G. & Ballard, G. (1998). *Implementing lean construction: understanding and action*. Proc. 6 th Ann. Conf. Intl. Group for Lean Constr.
- Howell, G. A. (1999). *What is lean construction-1999*. Proceedings IGLC. 1 s.
- Imai, M. (1997). *Gemba Kaizen*. New York: McGraw-Hill.

- Ingvaldsen, T. & Edvardsen, D. F. (2007). Effektivitetsanalyse av byggeprosjekter - Måle- og analysemetode basert på referansetesting av 122 norske boligblokkprosjekter i periode 2000-2005. SINTEF Byggforsk.
- Johnson, H. T. (1991). *Relevance lost: the rise and fall of management accounting*: Harvard Business Press.
- Jonsson, J. (1996). *Construction Site Productivity Measurements*: Tekniska Högskolan i Luleå.
- Jørgensen, B. & Emmitt, S. (2008). Lost in transition: the transfer of lean manufacturing to construction. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 15 (4): 383-398.
- Kaizen Institute India. (2014). *Standardize-do-check-act*. Tilgjengelig fra: <https://kaizeninstituteindia.wordpress.com/page/6/>.
- Kalsaas, B. T. (2010). *Work-time Waste in Construction*. IGLC18, Haifa, Israel: IGLC.
- Kalsaas, B. T., Skaar, J. & Thorstensen, R. T. (2010). *Lean Construction i forsyningssystemer*: Universitetet i Agder Skanska Region Agder.
- Kasanen, E. & Lukka, K. (1993). The constructive approach in management accounting research. *Journal of management accounting research* (5): 243-264.
- Kelly, J., Male, S. & Graham, D. (2008). *Value management of construction projects*: Wiley.com.
- Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction*: Stanford university (Technical Report No. 72, Center for Integrated Facility Engineering, Department of Civil Engineering). Stanford, CA.
- Liker, J. K. (2004). *The Toyota Way*: Esensi.
- Liu, Y., Bøegh, J. & Sun, Q. (2013). *Who Can Haul the ANDON-CORD in the Software Development Process*, 320. 714-720 s.
- Lukka, K. (2003). The Constructive Research Approach; Case Study Research In Logistics. 83-101.
- Matthews, O., Howell, G. A. & Mitropoulos, P. (2003). *Aligning the lean organization: a contractual approach*. 11th Annual Conference on Lean Construction, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA, USA.
- Matzler, K. & Hinterhuber, H. H. (1998). How to make product development projects more successful by integrating Kano's model of customer satisfaction into quality function deployment. *Technovation*, 18 (1): 25-38.
- Mitropoulos, P. (2013). *Operations Design (Presentasjon)*. San Diego, CA, USA: San Diego State University (Akademisk).
- Moore, R. (2011). *Selecting the right manufacturing improvement tools: what tool? when?*: Butterworth-Heinemann.
- Oglesby, C. H., Parker, H. W. & Howell, G. A. (1989). *Productivity Improvement in Construction*. New York: McGraw-Hill.
- Olsen, E. & Gjertsen, K. S. (2010). *Byggherrens interesse av Lean Construction med hovedfokus på produksjonsfasen og bruk av Last Planner System*. Grimstad: Universitetet i Agder, Fakultetet for teknologi og realfag.
- Ōno, T. (1988). *Toyota production system: beyond large-scale production*: Productivity press.

- Osborne, P. (1996). The State of Relevance in Management Accounting Research. *British Accounting Association Research Monograph* (No. 1, Ch. 4).
- Pekuri, A., Herrala, M., Aapaoja, A. & Haapasalo, H. (2012). *Applying Lean in Construction - Cornerstones for implementation*. IGLC 20, San Diego, CA, USA.
- Pheng, L. S. & Chuan, C. J. (2001). Just-in-time management of precast concrete components. *Journal of Construction Engineering and Management*, 127 (6): 494-501.
- Project Management Knowledge. (2010). *Activity-on-node*. Tilgjengelig fra: <http://project-management-knowledge.com/definitions/a/activity-on-node/>.
- Rosenthal, M. (2002). *The Essence of Jikoda*. The Lean Thinker. Tilgjengelig fra: <http://theleanthinker.com/wp-content/uploads/2009/04/The-Essence-of-Jidoka-SME-Version.pdf> (lest 15. desember).
- Rosenthal, M. (2008). *The Importance of Heijunka*. The Lean Thinker. Tilgjengelig fra: <http://theleanthinker.com/2008/03/03/the-importance-of-heijunka/> (lest 16. desember).
- Sacks, R. & Partouche, R. (2009). Production Flow in the Construction of Tall Buildings. I: *Construction Research Congress 2009*, s. 1019-1028.
- Salem, O., Solomon, J., Genaidy, A. & Minkarah, I. (2006). Lean Construction: From Theory to Implementation. *Journal of Management in Engineering*, 22 (4): 168-175.
- Samudio, M. (2012). *The Last Planner System in theory and practice (Presentasjon)*. San Diego, CA, USA: San Diego State University (Akademis).
- Shingō, S. & Dillon, A. P. (1989). *A study of the Toyota production system from an industrial engineering viewpoint*: Productivity Press.
- Skagenfondene. (2005). *Produktiviteten helt i tet*. Tilgjengelig fra: <https://www.skagenfondene.no/Nyheter-og-analyse/News-archive/2005/juli/Produktiviteten-helt-i-tet/>.
- SSB, S. S. (2014). *Byggekostnadsindeksen*. Tilgjengelig fra: <http://www.ssb.no/en/priser-og-prisindekser/statistikker/bkibol>.
- Store Norske Leksikon. *Case studie (definisjon)*. Tilgjengelig fra: [http://snl.no/case\\_studie](http://snl.no/case_studie).
- Su, Y.-Y. (2010). *Construction crew productivity monitoring supported by location awareness technologies*: Royal Melbourne Institute of Technology.
- Thune-Holm, E. C. (2009). Feilkostregistrering sluttrapport.
- Tommelein, I. D., Riley, D. R. & Howell, G. A. (1999). Parade game: Impact of work flow variability on trade performance. *Journal of Construction Engineering and Management*, 125 (5): 304-310.
- Womack, J. P., Jones, D. T. & Roos, D. (1990). The machine that changed the world. *Business Horizons*, 35 (3): 81-82.
- Womack, J. P. & Jones, D. T. (2003). *Lean Thinking: Banish Waste And Create Wealth In Your Corporation*, Revised And Updated Author: James P. Womack, Daniel T.
- Yin, R. K. (2014). *Case Study Research - Design and Methods*. 5 utg.: SAGE.
- Østby-Deglum, E., Svalestuen, F. & Drevland, F. (2013). *Prosjekteringsledelse*. Trondheim: NTNU.



# VEDLEGG A: LEAN-ORDLISTE

Under følger en liste med ord og uttrykk brukt i oppgaven. De er oppgitt på norsk, engelsk eller japansk i teksten, og har her en kort forklaring/definisjon.

Norsk	Engelsk	Japansk	Forklaring/definisjon
5S	5S	5S	Fem elementer som er essensielle for å organisere arbeidsplassen og opprettholde systematikken over tid: Sort, straighten, shine, standardize og sustain.
		Andon	Snor som i Toyota ble brukt til poka-yoke.
Buffer	Buffer		”Støtpute”. Ekstra kapasitet, tid, inventar eller penger til å håndtere usikkerhet i prosjektet.
Daglig lagmøte	Daily Huddle Meeting		En veldig kort samling før man går i gang med dagens arbeid, for å sjekke at alle er på bølgelengde.
Fabrikkproduksjon	Manufacturing		Produksjon som foregår i et fabrikkmiljø, for eksempel bilproduksjon.
	First Run Studies		Gjøre en repetitiv arbeidsprosess som forsøk først for å avdekke forbedringspotensial og optimalisere den ved PDCA for å spare ressurser i den etterfølgende tallrike gjentakelsen av den.
Flytdiagram	Flow Diagram		Viser hvordan arbeidet flyter gjennom en arbeidsoperasjon ved å illustrere arbeidsområdet ovenfra.
		Jidoka	Å stoppe en prosess fordi dårlig kvalitet eller feil oppdages, korrigere feilen, avdekke årsaken og iverksette tiltak mot gjentakelse.

Kontinuerlig forbedring	Continous improvement	Kaizen	Man søker alltid forbedringer i arbeidsmetodikken i jakt etter det perfekte.
Kort	Card	Kanban	Visualiseringsverktøy hvor kort plasseres på materialer for å signalisere flyten i systemet.
Last Planner System	Last Planner System		Planleggingsverktøy basert på pull-system og utviklet for bruk i Lean Construction. "Last Planner" er den utførende (siste person i gjennomføringen av arbeid), og er en del av navnet fordi de utførende i langt større grad involveres enn tradisjonell planlegging.
Lean Construction/ Trimmet Bygging/ Involverende Planlegging	Lean Construction		I Norge har ikke bransjen klart å enes om ett begrep for gjennomføringsmodellen. For eksempel bruker Skanska Trimmet Bygging mens Veidekke bruker Involverende Planlegging. I denne oppgaven blir Lean Construction beholdt som begrep.
Mannskapsdiagram	Crew Balance Chart		Diagram med søyler som viser hvordan mannskapet har disponert tiden sin i arbeidsoperasjonen.
	New Production Philosophy		Koskelas begrep på Lean Production anvendt i byggsammenheng; navnet på avhandlingen som introduserte Lean Construction.
Operasjon (arbeidsoperasjon)	Operation (work operation)		Arbeidet som utføres av en produksjonsenhet kan avgrenses til én operasjon. Denne består gjerne av flere oppgaver, som er delprosesser i denne avgrensede operasjonen. Målet med operasjonen er som regel å produsere et bestemt produkt eller delprodukt. I denne masteroppgaven ble en innerveggoperasjon studert, hvor operasjonen skulle starte uten noe foregående produkt, og levere ferdige innervegger klar til spikerslag og gipsing til de etterkommende operasjonene.



Planlegg- utfør- kontroller- korriger (PUKK)	Plan-do- check-act (PDCA)		Metodikk for innføring av hva som helst innen Lean Construction, og for øvrig hele filosofien for seg selv. En iterativ prosess hvor man planlegger implementering, utfører som planlagt, kontrollerer hvor suksessfullt det var og fatter korrigerende tiltak før prosessen gjentas.
		Poka- yoke	Innretning som i Jidoka varsler når dårlig kvalitet oppdages og stopper prosessen for å iverksette tiltak mot feilens årsak.
PPU	PPC		Prosjekt Plan Utført (Project Plan Complete), hvor mange av de ukentlig planlagte oppgavene som faktisk ble utført som planlagt. Oppgis gjerne i %.
Produksjons- enhet	Production unit		Enhetene i produksjonssystemet. Dette kan være så enkelt som én enkeltperson som utfører en oppgave. Ofte er dette lag, grupper eller fag.
Produksjons- kjede			Flere produksjonsenheter etter hverandre, hvor et produkt skal gå fra den ene enden av kjeden til den andre gjennom disse enhetene.
Produksjonssy- stem	Production system		Systemet av prosesser og aktører som sammen produserer noe. For eksempel er en byggeplass et produksjonssystem som skal levere et bygg.
Prosess- diagram- symboler	Process Chart Symbols		Gjennom 5 symboler skal en arbeidsoperasjon kunne beskrives og analyseres
Pull-system	Pull-system		Planleggingsystem hvor arbeid dras nedover produksjonssystemet utfra hva systemet er i stand til å utføre
Push-system	Push-system		Planleggingsystem hvor arbeid skyves nedover produksjonssystemet utfra hva ledelsen føler <b>bør</b> gjøres

Rotårsaker	Root causes		Kjernen til hvorfor oppgaver ikke ble utført på ukentlig basis (ifm PPU). Man bruker gjerne 5 Whys, altså spørre "hvorfor" 5 ganger etter hverandre for å komme til selve kjernen av problemet.
Sløsing	Waste	Muda	Alt ved produksjon som ikke er verdiskapende og heller ikke nødvendig
Sunne aktiviteter	Sound activities		Arbeidsoppgaver hvor følgende 7 forutsetninger foreligger: eksterne forhold, foregående oppgaver, informasjon, komponenter og materialer, arbeidere, utstyr og verktøy og plass.
Svømmebane diagram	Swim Lane Diagram		Viser hvordan oppgaver og informasjon beveger seg mellom de ulike aktørene i en prosess
TFV-modellen	TFV-model		Koskela mente et produksjonssystem kunne sees på som bestående av de tre elementene transformasjon, flyt og verdi.
Variabilitet	Variability		Usikkerhet i form av at ting kan variere. Kan omhandle for eksempel tidsbruk eller kvalitet. Tidsvariabilitet kan deles inn i prosess- og flytvariabilitet. Den første omhandler usikkerhet i tidsbruk for gjennomføring en prosess, mens den andre omhandler tidsbruk i arbeidsflyt mellom produksjonseenheter.
Verdistrømkart	Value Stream Map		Kart over verdistrømmen i systemet, hvordan materialer og informasjon flyter mellom aktørene og prosesseres

# VEDLEGG B: PAPER TIL IGLC 2014

---

## CONSTRUCTION SITE OPERATIONS MADE LEANER AND STANDARDIZED: A CASE STUDY

Roar Fosse [1], Bo Terje Kalsaas [2] and Frode Drevland [3]

### ABSTRACT

This paper tests a method for analysing and improving construction site operations to standardize them as the common way of performing the operation. Analysis tools are used to identify improvement potential and alterations based on Lean Construction principles are implemented to fulfil this potential.

Reducing waste and optimizing production methods are some of the key elements in Lean thinking. Waste and low productivity can be products of several factors, e.g. poor material flow, suboptimal operation design or poor production control. By finding good practices for operations and standardizing the work by this norm, variability can be reduced and production reliability increased.

With thorough analysis and continuous improvement towards better practice, both time and cost expenditures could be greatly reduced both for the single unit and the project, but also throughout an entire organization over time. A field study was conducted to investigate how a traditional production unit's productivity and work flow would be affected by altering its operation according to Lean principles.

The production unit was initially analysed with its traditional practice "as is". The analysis clarified where there was potential for improvement, and alterations were suggested by the crew. Those with foundation in Lean Construction principles were implemented and performance reassessed.

Analysis showed little room for improvement within several of the tasks, as they had no waiting for tools, materials or preceding tasks to finish. On a higher level, the operation was greatly improved by eliminating entire tasks, rearranging the work sequence, increasing visualization and increasing the number of crew members.

### KEYWORDS

Lean Construction, standardization, operation design, productivity analysis, workflow

### INTRODUCTION

Contemporary construction industry has much room for improvement (Koskela 1992; Olsen & Gjertsen 2010). A Norwegian data envelopment study of 122 comparable

---

<sup>1</sup> MSc, Student, Department of Civil and Transport Engineering, Norwegian University of Science and Technology, 7491 Trondheim, Norway, Mobile +47 95910868, e-mail: [roarfo@stud.ntnu.no](mailto:roarfo@stud.ntnu.no)

<sup>2</sup> Dr.Ing, Professor, School of Business and Law, Department of working life and innovation, University of Agder, 4846 Grimstad, Norway, Mobile +47 97082582, e-mail: [bo.t.kalsaas@uia.no](mailto:bo.t.kalsaas@uia.no)

<sup>3</sup> Ass. Professor, Department of Civil and Transport Engineering, Norwegian University of Science and Technology, 7491 Trondheim, Norway, Phone +47 92064262, email: [frode.drevland@ntnu.no](mailto:frode.drevland@ntnu.no)

apartment block projects showed that the average project had an improvement potential of 21% compared to the most efficient projects in the study (Ingvaldsen & Edvardsen 2007), showing a lot of variation in productivity in the industry. But even in the most efficient projects in this study we can expect to find a lot of waste. Swedish studies have found that 10-20% of total project cost on projects were from changes and rework (Cnudde 1991; Jonsson 1996), and several Norwegian analyses have found that the amount of time spent on transformation work is only 41-59% (Bølviken and Kalsaas 2011; Kalsaas and Bølviken 2010, Kalsaas 2010, 2011, 2012, 2013).

Furthermore, construction costs are increasing at a more rapid pace than the Consumer Price Index, indicating that construction is constantly getting more expensive compared to other goods and services (SSB 2014). This is further motivation for looking for ways of making projects more cost-efficient.

Many in the industry acknowledge that the prevalent project delivery models are directly related to the mediocre performances observed (Byggekostnadsprogrammet 2010), and encourage looking at new ways of conducting projects. Lean Construction is a philosophy that offers such an alternative approach, and with its core values from the Toyota Production System (Koskela 1992), has proven effective in reducing waste and improving productivity (Alves et al. 2012). In Norway, Lean Construction is growing in popularity and is by several industry professionals viewed as the project model of tomorrow (Byggekostnadsprogrammet 2010).

However, the industry is conservative and hard to change (Alves et al. 2012), and convincing companies how Lean Construction is superior to the traditional approach can be laborious without scientific evidence. This paper presents a study of a limited implementation of Lean Construction tools and principles, investigating if performance can be improved by applying these to one single production unit.

The field study was conducted as constructive research, which according to Lukka (2003) means that instead of merely observing, the researcher first observes and analyses the problem, then in cooperation with the organization involved constructs a solution, and finally tests this solution. What is really tested in this paper is the method for improving the work operation, thus basing the method's success on the improvement of the operation it is applied to in the field study.

An inner wall production crew was studied, aiming to improve their operation in collaboration with them. If the revised performance was convincing, this could be the standardized way of performing this operation, both on this project and on all of the contractor's projects in the country.

## **THEORETICAL PERSPECTIVE AND METHOD**

### **Operation Reliability And Improvement Of Workflow**

Achieving less variation and greater predictability is central in Lean Construction and in the Last Planner System (LPS). Initially, LPS was inspired by the quality management and productivity initiatives dominating the improvement works in the industry in the 80's (Ballard, 2000). It thereafter changed conceptually to focus on predictable workflow, reflected by Ballard (2000) and the flow part of Koskela's (2000) works on production theory, the so-called TFV-theory (transformation, flow, value). Productivity seen as input

in relation to output is often associated to transformation, while flow addresses the processes occurring between the work operations. Koskela (1992) claims that the greatest potential for improvement for in construction site operations is related to flow.

### **Analysis As First Step In Standardization**

According to Moore (2011), it is desirable to achieve reliability by first analysing the operation to find the best way of performing it with the current prerequisites. This is then set as the standardized way of performing the operation, either for the specific team or for the entire organization. The process of analysis, improvement and standardization is then continuously repeated.

The empirical analysis in this paper is conducted once, as the first iteration of this repetitive process. The operation is analysed with reference to tools presented in “*Productivity Improvements in Construction*” by Oglesby et al. (1989) as well as common Lean Construction tools such as process mapping. The tools used in the case study have strong focus on both transformation and flow as defined by Koskela (1992), and a strong process orientation, which is a clear trait of the Lean approach.

### **Lean Construction Principles to fulfil improvement potential**

The productivity analysis was used with a Lean Construction setting as theoretical foundation. Several principles were used in the improvement work of the operation:

Principles from Koskela (1992, p. 16):

- *Reduce the share of non-value adding activity*
- *Reduce variability*
- *Simplify by minimizing the number of steps, parts and linkages*
- *Increase process transparency*
- *Build continuous improvement into the process*

Other Lean principles:

- *Better batching of materials (Ōno 1988)*
- *Better sequencing of tasks (Ballard & Howell 1998)*
- *Smoother production (Ballard & Howell 1998; Rosenthal 2008)*
- *Just In Time delivery (Moore 2011)*
- *Establishing a Lean culture for further improvement (Womack et al. 1990)*

### **Productivity And Workflow Analysis**

To identify waste and potential for improvement, the operation was analysed both initially and after the alterations. To gather data, video recording was conducted with the workers’ approval. The aim of the study was presented up front, and they were given the opportunity to review the video material and corresponding results.

Information was also gathered by a log-system developed for this study (example in table 1). This log was based on forms filled out by the workers and served as a source of information about the tasks and their progress. Also, the forms encouraged them to set realistic goal for how much they anticipated produce the next session, enabling us to measure PPC and track root causes for non-completion.

Table 1: Form filled out for progress tracking

Session 1		Morning to lunch	
Initials:	TK	Start:	5-3M
Task:	Sills	End:	5-3F
Time spent:	4	Goal:	5-3F
		Met?:	YES
		If not, reason for non-completion:	
Initials:	BU	Start:	5-1M
Task:	Studding	End:	5-1M/F
Time spent:	3,5	Goal:	5-1F
		Met?:	NO
		If not, reason for non-completion:	
		Plumbers and equipment in my way.	

Three stages of task completion were defined: S, M and F (start, mid, finish). This is specific to the task performed, not for the progress of an apartment's inner walls as a whole. So if an apartment is marked and silled, the condition for each of these is F, but for the studding operation entering the apartment, the condition is S. The workers were given some room for interpretation, so notations like S/M or M/F were allowed.

In the example in table 1 the workers have documented one work session from morning to lunch. One worker has installed sills in apartment 5-3 (5<sup>th</sup> floor, 3<sup>rd</sup> apartment). When he started, the apartment had approximately half of the sills already installed (therefore M). He expected to complete the apartment (therefore F), and did so. The other worker installed studs in apartment 5-1. Half of the studs were installed when he started (therefore M), and he expected to finish it, but did not reach this goal due to coordination problems with other trades.

## CASE STUDY – INTERIOR WALL PRODUCTION

### Background For The Study

The study looked at a residential construction project by a well-known contractor, both nationally and internationally. It was the third block being produced in the last stage of a large residential block contract. Floors two through five were identical, with seven apartments per floor, varying between 55m<sup>2</sup> and 139m<sup>2</sup> in size. Inner wall production had just commenced on the 5<sup>th</sup> floor at the start of the study, and took about a week and a half per floor. The block consisted of 36 apartments over 6 floors.

Although the apartments varied notably in size, it took approximately the same amount of time to produce each of them, as the process time of a few more meters wall was just a matter of minutes and therefore not decisive. Hence, it proved reasonable in the study to use “apartments” as the standard unit of quantities produced.

### Description Of Initial Operation

By inner walls we refer only to the walls *within* one single apartment, excluding the walls *separating* the apartments. However, a gap is left in the separating walls for the following work to move between the apartments, and *closing* this gap is part of *this* operation.

The inner wall production comes fairly early in the production process of the interior work of each floor. The following operation is plastering. Most trades are scheduled to work from the top down, while some, e.g. electricians, work the opposite way.

The operation of producing the inner walls can be divided into 5 tasks: (1) Marking wall location on the concrete floor, (2) cutting and placing sills according to the marking,

(3) installing sills where they are placed, (4) cutting studs and finally (5) installing studs in the installed sills.

Marking is a two man job in which, according to the drawings, wall locations are marked on the floor with a red-chalked string. During the marking, gypsum wallboards for plastering the inner walls will arrive on site and are transported inside. This is done by the markers and considered part of the “marking”-task due to the coinciding time frame and crew. The gypsum is ordered and delivered per floor, approximately once a week, and allocated to the respective apartments.

After marking, one worker cuts sills and places them out on the floor according to the marking, while another worker installs them. The sills in the ceiling are identical in length and placement and the steel sills are manufactured so that the top and the bottom are attached in one detachable piece for easy instalment. Instalment in the concrete floor is done by drilling through the sills and into the floor before nailing into the drilled hole. In the ceiling the sills are installed by nailing with a nail gun.

Once sills in an apartment are installed, studs can be installed. First, a worker cuts the studs in the correct height and places them in their respective apartments for installation. A steel stud system is used, compatible with the sills, with a centre-to-centre distance of 60 centimetres. The studs are installed by being clipped in place at the top and bottom. Around the doors however, wooden studs are used as this offers more stiffness than the steel studs. To finish the work, a worker installs two wooden studs onto the bathroom cabin as a strong toilet attachment point, as well as installs sills and studs for the remainder of the walls separating the apartments.

### **Durations Of Initial Operation**

In this study we operated with the term “sessions” as a time unit; One session from morning to lunch (7am-11am), one from lunch to afternoon (11.30am-3.00pm) and also an occasional evening session (3pm-7pm). The reason for this is that it was found that many tasks’ durations fit well with this, as they took either one or two sessions. Also, “one session” is perceived as more systematic than “half a day” with regards to time.

While observing the work, the production rate was documented. The durations of the unaltered tasks (marking and installing sills and studs) remained the same during the study, showing that the general pace of the work was constant and the results obtained were not gained from working faster, but working smarter.

The marking took approximately three sessions per floor. Receiving and transporting materials inside took approximately one session, making the total time of the marking-task four sessions. Cutting the sills for one zone (half a floor) took about one session, and installing them took about one session per apartment. Cutting studs took one session for one zone as well. Installing the studs took two sessions.

## **RESULTS AND DISCUSSION**

### **Quantitative Results**

Performance was measured for the initial and then the revised operation. By “revised operation” we refer to the alternative method of executing the inner wall production, which was tested in the last week of the study. From a representable starting point it was measured how much time and how many man hours would be spent in producing the inner walls for exactly one floor. That entailed marking, cutting sills, installing sills,

cutting studs (not for revised method) and installing studs for seven apartments. As the floors were identical, both variations of the operation produced identical walls.

<b>Initial operation</b>	<i>Cycle Time</i>	<i>71.25 work hours (19 sessions)</i>
	<i>Man hours</i>	<i>150 MH</i>
<b>Revised operation</b>	<i>Cycle Time</i>	<i>37.5 work hours (10 sessions)</i>
	<i>Man hours</i>	<i>120 MH</i>
<b>Improvement</b>	<i>Cycle Time</i>	<i>47.4%</i>
	<i>Man hours</i>	<i>20.0%</i>
	<i>Cost of changes</i>	<i>0.-</i>

The revised operation is both significantly faster and more cost-efficient. There are several changes that contribute to this result, some more easily quantifiable than others, and in the following sections these improvements will be presented and discussed.

At the start of each session, each worker made an estimate on how much he would be able to produce. To see to what extent these commitments were met, PPC was measured. 81.4% of the promises made were completed as planned, showing that the crew close to execution had a fairly good idea of how productive the next session would be. However, one could argue not being able to foretell the production for the next 3-4 hours in 18.6% of the cases is actually not too impressive. Causes for non-completion were tracked:

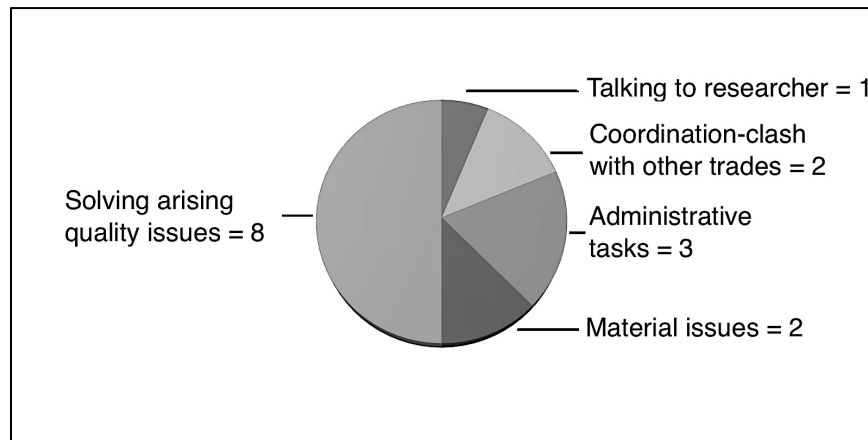


Figure 1: Causes for non-completion  
(Four weeks, PPC=81,4%, 16 non-completions of 86 promises made)



## Qualitative Results

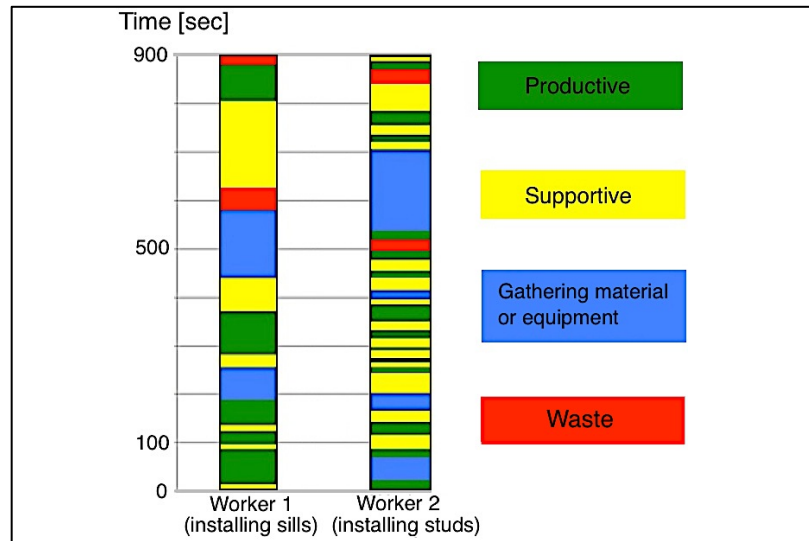


Figure 2: Crew Balance Chart for two workers, initial operation

The crew balance chart focuses mainly on work close to the actual transformation of input to output, and looks at how the workers physically perform their tasks for a short period of time. In this case, it shows that working with the prerequisites present, the work is fairly productive. The tasks of installing sills and studs were therefore left unchanged. As described later in the paper, the sill-cutting task was changed due to the changed material system and the stud cutting task eliminated. These were therefore irrelevant to consider in the crew balance chart analysis.

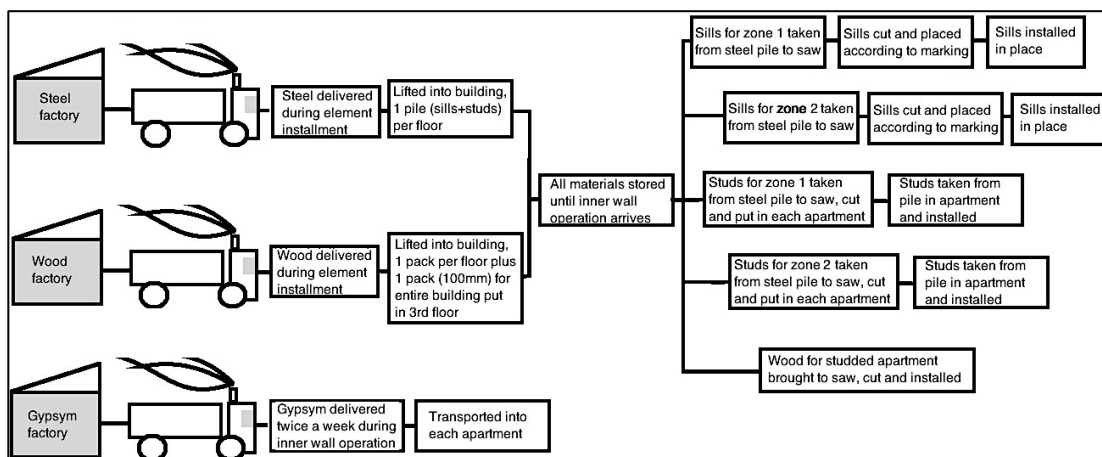


Figure 3: Process Map for all materials, initial operation

The Process Map focuses on the material flow and depicts a complicated system with several unnecessary steps. It was paramount in constructing the revised operation to reduce material handling and create a more sensible material flow. This is described later in this paper under the section about improvements made to the material system. Durations are often included in maps of this kind (Alves et al. 2005), but in this case the

durations are hard to present in an informative way. For instance, the time span for storage of materials in the original operation is highly variable and uncertain.

## IMPROVEMENTS MADE TO THE OPERATION

### Crew Members

The inner wall operation is typically performed by a crew of 2-4 workers plus one worker on battens, who is able to contribute when needed. In the months before and during the entire field study however, the number of crew members was constantly two plus the worker on battens. This introduced noticeable variability in the progress of the individual tasks of the operation.

Naturally, when both workers are needed for marking, all other tasks stop. Then both workers commence working on the sills, with one cutting and placing and the other installing. Only when the sills are installed for most of the floor does the work on studs start. To summarize, it is extremely hard to maintain a smooth, well-flowing production with only two workers.

It was therefore proposed as an improvement to standardize the amount of workers to three. When planning the work for a floor, it quickly became apparent that it was possible to maintain progress on every task at almost all times and get a much smoother production flow through the building. This effect is best illustrated through the cumulative progress presented on the next page.

### Work Sequence

It was a common conception among the crew that the best approach was to first do *all* the marking, then *all* the sills, then finally *all* the studs for a floor. Then the entire crew would move down one floor and repeat the operation. However, focusing manpower on one task at a time, while all other tasks stop, is not pursuing smooth production. The stairwell diagram shows that with the revised operation, all the tasks gradually evolve.

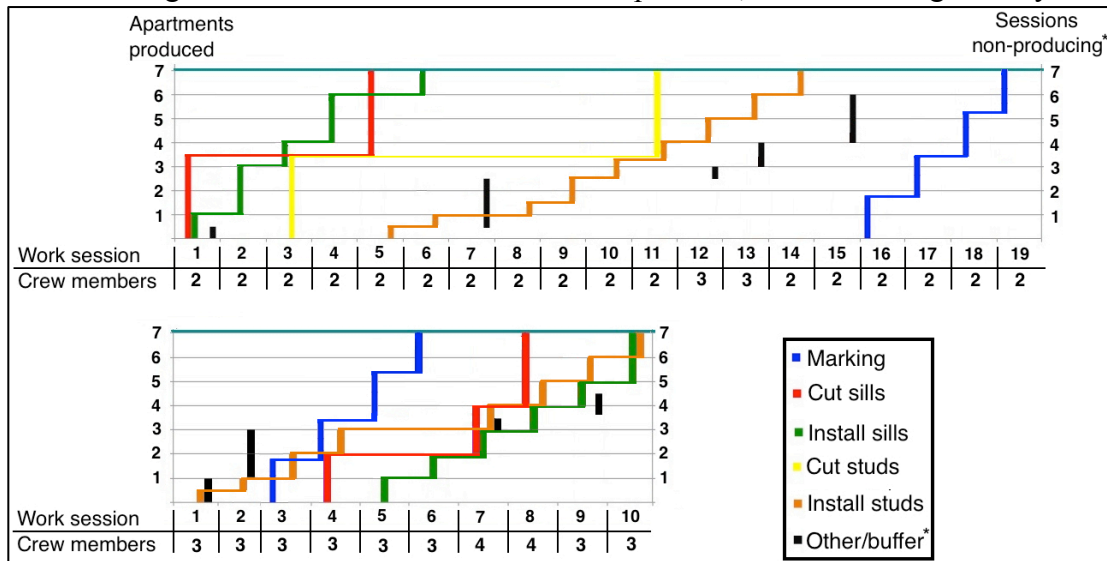


Figure 4: Cumulative progress, original (above) and revised (below) operation. Note that the right hand side scale is for the other/buffer category only.

## Material System

The reasoning behind the initial material system is understandable in one way: Getting all the steel delivered during concrete element installation enables the crane to lift the material straight into the floors in between the installation, instead of the workers getting it on the delivery ramp and having to transport it in during production.

Unfortunately this means that all the steel is ordered and delivered for the building at once, and wrong quantities is not easily correctable during the following production. Considering that orders are based on experience rather than quantity take-offs from BIM or actual measurements, this introduces substantial uncertainty.

Also, steel was delivered in one package for each of the 6 floors as it would not make sense having the crane lift in 48 packs of steel (12 packs of sills and 36 packs of studs). This material system might seem superior at the point in time of the concrete element installation, but problems arise once the crew starts using the steel for inner wall production. A lot of material handling is required during the operation due to the batching and kitting of the steel packs. A more efficient system would be as follows:

- Just in time (JIT) ordering per floor so that materials arrive during the marking. This reduces both double-handling of materials and allows for corrections in material quantities from floor to floor.
- ALL the materials arrive at the same time (gypsum, steel, wood).
- The sills arrive in two piles that are transported straight to the two positions where the saw will be located on the floor.
- Studs are pre-cut to exact length (see next section) and delivered in one pack per apartment from the supplier.
- Studs are put on top of the gypsum packs and transported to their respective apartments. Added time from putting them on the packs is negligible.
- Wood is transported in and placed on a central location on the floor.

## Increased Visualization

It was early noticed that other trades took up space needed by the inner wall operation, especially for storage of equipment and materials. Inner walls require few square meters, but are spread out all over the floor. There *is* in other words enough room for other trades, given that they use the *correct* space.

In week one, the inner wall operation entered an apartment that a plumber had used for storage of equipment and materials, which was obstructing the inner wall operation. The amount stored was not *too* extensive, but was placed in a way that setting up the saw and sills for cutting was impossible.

A suggestion for dealing with the situation was using spray paint to mark the ground well ahead of time where the saw, steel, wood and gypsum packs would be located. This took only a few minutes for an entire floor, and ensured that the other trades had physical cues where they couldn't take up space. The spraying was done during the marking, but could also have been done before this. Already after the concrete elements were installed, the interior wall crew knew how they wanted to solve their logistics and could mark this on the concrete floors. After the spray was introduced, no conflicts of space between trades were observed.

### **Eliminating Cutting Of Studs**

The steel studs used was already pre-cut by the supplier, but to a length of 5cm longer than required, and therefore needed to be cut again on site to the correct length. By doing measurements of the actual height on each floor, studs could be ordered cut to the correct length, thus eliminating the entire cutting operation and enabling the material batching described earlier. Also, deeper sills could be ordered to allow more inaccuracy on the length. Studs pre-cut to correct length and deeper sills is done at another project in the region by the same contractor, where they have had excellent experiences with the system.

### **More Efficient Logistics for Cutting Sills**

Both considering time and ergonomics it is advisable to avoid the sills being placed on the floor at any time before the actual placement. In the initial operation, the sills were put in the steel pile, picked up and carried to the saw, put on the ground, and then one by one picked up and cut and placed on the marking on the floor.

It was therefore perceived as a great improvement that the sills were delivered straight to the saw location and placed on A-frames at the same height as the saw. This allowed sliding the sills straight onto the saw from the pile, cutting them and placing them on the floor, thus reducing both the amount of material handling and the number of times bending down from three to one.

### **General Lean Thinking**

A constructive study is based on collaboration between the researcher and the observed organization. It was a natural effect from the study that the observed team got interested in Lean Construction and requested additional information on the topic. The two workers observed the first week actually asked to read the preparing report for this very paper and gradually acquired a Lean Construction language. The last week of the study, talks with the team with terms like push and pull, variability, waste, standardization and even kaizen were occurring.

During the study, the team undoubtedly acquired a way of thinking that involved continuously looking for improvement in their practices, eliminating waste and viewing production analytically. Thoughts on how tasks, crew, equipment and materials should flow smoothly were clearly awoken in them.

It seems ambitious to expect a similar response on any project where a similar study is conducted, and the researcher got confirmation from administration that this project was well developed in Lean thinking. Much of the progress was clearly dependent on the attitudes of the people involved, both researcher and the workers. In this case it was clear that a respectful understanding, that this could be a positive experience with learning potential for both parties, was present.

## **CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS**

This paper has investigated the effect of analysing a work operation and implementing Lean Construction principles to improve its performance and reliability. The study was conducted as a constructive study, with the researcher first analysing the operations in its initial state, then improving it in collaboration with the workers. The suggested improvements were then tested in the final week of the field study. The performance of this revised operation was superior to the initial operation. The cycle time for producing one floor was improved from 71.25 to 37.5 hours and the amount of man hours were

reduced from 150 to 120. In other words improvements of 47.4% in time and 20% in cost were achieved.

The most notable improvements to the operation were increasing the number of crew members from two to three, changing the work sequence to ensure smoother progress for the different tasks, changing the material system, introducing spray paint to mark the floor to visualize material and equipment flow, eliminating a cutting operation and bettering the logistics for the cutting of sills.

The empirical improvement work benefited from the application of generic lean principles such as striving to achieve smoother production, good sequencing and batching, Just In Time, simplifying by minimizing steps, parts and linkages, increase the transparency, reducing non-value adding activity and to establish a Lean Construction culture for further improvement and to build continuous improvement into the process.

When it comes to the last principle, which is also related to the validity and reliability of the results, the study seems to have created an improvement atmosphere indicated by proactive attitudes by those involved on the construction site.

A challenge in analyzing the study was that some of the effects from the implementation of the lean oriented changes were hard to quantify. Further work should therefore be done to understand in which ways the different alterations improved performance.

## **ACKNOWLEDGEMENTS**

John Skaar, head of the department for Lean Construction in Skanska Norway, was very influential in arranging the field study, as well as Per Ivar Mathiassen with Skanska Rogaland. Furthermore, Even Kvan Frøland (project manager) and Odd Knudsen (production manager) are thanked for their continued support, assistance and hospitality on-site throughout the field study. The crew studied with their enthusiastic and positive attitude must also be acknowledged.

## **REFERENCES**

*Se bibliografi for masteroppgaven.*