



**Aalborg Universitet**

## **PAPER 3: LEAN CONSTRUCTION**

*En redegørelse for det amerikanske produktionskoncept – Lean Construction - udviklet mhp. en effektivisering og reorganisering af byggeprocessen.*

---

ANNI SCHMIDT NIELSEN & EBBE LIND KRISTENSEN  
CIVILINGENIØRSTUDERENDE VED INSTITUT FOR PRODUKTION – BYGGELEDELSE  
DEL AF AFGANGSPROJEKT

---

Udarbejdet i perioden december – februar 2001/2002.



## Forord

Dette paper er udarbejdet som en del af afgangprojektet ”Plan Byg – Effektivisering af byggeprocessen visualiseret ved spillet Plan Byg”. Paperet er udarbejdet i perioden december – februar 2001/2002.

Paperet indeholder en præsentation af det internationalt udviklede byggeproduktionskoncept - Lean Construction. Lean Construction er en videreudvikling af produktionskonceptet Lean Production, der med en række tilføjelser er rettet direkte imod byggeriet. Målet med dette Paper er at introducere Lean Construction konceptet, dvs. give en præsentation af teorien og værktøjerne bag, for herigennem at kunne vurdere de fordele, der er forbundet med anvendelsen af Lean Construction i forhold til byggeriets problemer, samt på hvilke punkter konceptet endnu ikke er fuldstændigt.

Første del af Paperet giver en generel introduktion til baggrunden for udviklingen af Lean Construction samt en kort redegørelse for den danske interesse for emnet. Interessen opstod i Danmark på baggrund af erfaringer fra nogle forsøgsprojekter gennemført omtrent samtidig med, at det internationale arbejde indenfor Lean Construction begyndte. Betegnelsen ”Trimmet Byggeproduktion”, der anvendes i Paperet, er således den danske oversættelse af Lean Construction, der dog nærmere skal opfattes som den danske implementering af konceptet.

Anden del af Paperet præsenterer teorien bag konceptet, TFV teorien, der søger at kombinere tre forskellige opfattelser af produktion. TFV teorien har primært baggrund i fremstillingsteorien, men søger at skabe en fælles forståelsesramme for byggeriet ved at forklare nogle af de vanskeligheder, der er i forbindelse med ændringer i den traditionelle byggepraksis ud fra en række karakteristika, der er gældende for byggeriet.

I sidste del af Paperet introduceres praktiske værktøjer og metoder, der kan anvendes i forbindelse med overgangen fra traditionelt byggeri til trimmet byggeri og der redegøres kort for nogle overordnede implementeringsovervejelser samt på hvilke områder konceptet endnu er ufuldstændigt.

Paperet er primært koncentreret om selve byggeproduktionen, dvs. udførelsesfasen, hvilket også afspejles i de værktøjer, der introduceres. Der arbejdes fortsat på internationalt plan med udvikling af værktøjer, der ligeledes kan understøtte anvendelse af Lean-tankegangen i byggeprocessens øvrige faser for at effektivisere den samlede byggeproces.

Paperet eller dele heraf må ikke offentliggøres eller på anden vis gengives medmindre en tydelig kildehenvisning fremgår.



# Indholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>INTRODUKTION TIL LEAN CONSTRUCTION.....</b>	<b>7</b>
1.1	LEAN CONSTRUCTION – TRIMMET BYGGEPRODUKTION .....	7
1.2	BAGGRUNDEN FOR LEAN CONSTRUCTION .....	8
1.3	HVAD ER LEAN CONSTRUCTION?.....	9
1.4	INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION .....	9
1.5	LEAN CONSTRUCTION INSTITUTE .....	10
1.6	TRADITIONEL BYGGEPRAKSIS VS. LEAN CONSTRUCTION .....	10
<b>2</b>	<b>REDEGØRELSE FOR TFV TEORIEN .....</b>	<b>12</b>
2.1	TEORIER FOR PRODUKTION .....	13
2.2	TFV TEORIEN I PRODUKTION .....	20
2.3	TFV TEORIEN I DESIGN .....	22
2.4	TFV TEORIEN I BYGGERIET .....	23
2.5	DISKUSSION AF TFV TEORIEN .....	33
2.6	SAMMENHÆNG MELLEM TFV TEORIEN OG LEAN CONSTRUCTION .....	35
<b>3</b>	<b>LEAN CONSTRUCTION – TEORI VS. PRAKSIS .....</b>	<b>37</b>
3.1	STABILISERING AF ARBEJDSFORLØBET .....	38
3.2	REDUKTION AF VARIATIONER PÅ INDKOMMENDE FLOWS.....	39
3.3	OPTIMERING AF OPERATIONERNE .....	39
3.4	STRATEGI FOR IMPLEMENTERING I FORHOLD TIL FRIEBLICKS MODEL .....	40
<b>4</b>	<b>UDVIKLING AF VÆRKTØJER .....</b>	<b>41</b>
<b>5</b>	<b>LAST PLANNER SYSTEM .....</b>	<b>45</b>
5.1	STYRING AF ARBEJDSOPGAVER .....	48
5.2	KOORDINERING AF ARBEJDSFORLØB.....	51
<b>6</b>	<b>PRAKTISKE IMPLEMENTERINGSOVERVEJELSER .....</b>	<b>56</b>
6.1	BYGHERREN.....	56
6.2	ØVRIGE AKTØRER .....	56
6.3	STYRING OG OVERVÅGNING.....	57
<b>7</b>	<b>LEAN CONSTRUCTION I FREMTIDEN.....</b>	<b>57</b>
<b>8</b>	<b>VOKABULARIUM .....</b>	<b>61</b>
<b>9</b>	<b>KILDER.....</b>	<b>65</b>



# 1 Introduktion til Lean Construction

Fremstillingsindustrien har gennem de seneste årtier i stadig større grad baseret deres produktion på fortrinsvis japansk inspirerede produktionsfilosofier. Fælles for mange af disse filosofier er deres inddragelse af logistik i et forsøg på at maksimere produktets værdi i forhold til kunden og samtidig minimere spildet i såvel produktion som i administration. I byggeriet har der været flere forsøg på efterligning af metoder og værktøjer fra fremstillingsindustrien - indtil videre dog med begrænset succes. En af forklaringerne på succesens udeblivelse kan findes i, at produktionsfilosofierne alle har været rettet imod fremstillingsindustrien, og at netop byggeriet på afgørende punkter adskiller sig herfra.

De seneste år er der imidlertid sket en international udvikling af produktionskonceptet Lean Production rettet direkte imod byggeriet under betegnelsen: "Lean Construction." Målet med dette Paper er, at introducere Lean Construction konceptet, dvs. en præsentation af teorien og værktøjerne bag, for herigennem at opnå en øget forståelse for byggeriets problemer.

I det følgende afsnit redegøres der kort for oprindelsen og baggrunden for Lean Construction, samt på hvilke områder dette nye begreb gør op med den traditionelle praksis i byggeprocessen.

## 1.1 Lean Construction – Trimmet Byggeproduktion

De kritiske problemer i byggebranchen er velkendte: Lav produktivitet, dårlig sikkerhed, ringe arbejdsbetingelser og utilstrækkelig kvalitet [ATV, 1999]. Flere løsninger er blevet foreslået og prøvet for at afhjælpe byggeriets problemer, bl.a. øget industrialisering, herunder eksempelvis præfabrikation og modularisering, integration af IT i byggeprocessen, automatisering af byggeprocesserne, mm. I mange årtier har fremstillingsindustrien været et referencepunkt og inspirationskilde til innovation i byggebranchen, og de nævnte løsninger på byggeriets problemer har da også rod i netop fremstillingsindustrien. F.eks. er idéen vedrørende anvendelse af industrialisering i byggeriet direkte hentet fra bilindustrien [Koskela, 1993]. På trods af de mange initiativer hentet i fremstillingsindustrien for at gøre byggeriet mere effektivt, dvs. reducere byggeomkostningerne samt -tiden, er det indtil videre kun i begrænset omfang lykkedes at øge produktiviteten – målt som stigningen i værditilvækst pr. medarbejder pr tidsenhed, jf. [Kristensen & Nielsen, 2001 (b) Afsnit 3.2.1].

I starten af 1990'erne begyndte dansk byggeri at interessere sig for de fordele, der var forbundet med at forbedre og forstærke indsatsen på logistikområdet. Bl.a. blev der under betegnelsen BYGGELOGISTIK - Materialestyring i byggeprocessen i årene 1991-1993 gennemført et forsøgsbyggeri, der omhandlede opførelsen af 100 alment nyttige boliger i Hillerød. Byggeriet, der fik navnet "Sophiehaven", satte for alvor fokus på bygge-logistik, primært styring af materialestrømmene. Analyser og erfaringer fra Sophiehaven-projektet indikerer, at mulighederne for at øge produktiviteten og effektivisere byggeprocessen ved i højere grad at indtænke logistikaktiviteterne i planlægningen er gode [Walløe, 2002] og [Kristensen & Nielsen, 2001 (b)]. I forlængelse af

Sophiehaven-projektet er der siden gennemført udviklingsprojekter, hvor metoderne fra Sophiehaven er videreudviklet, herunder PPB-programmet<sup>1</sup> hvor især PPU-konsortiet og Habitat arbejdede med at styrke byggeriets logistik [Bertelsen, 2001] og [SBI-Rapport 316, 1999]. Den begrænsede succes, der hidtil har været med at effektivisere byggeprocessen i Danmark ud fra en indsats på især materialelogistikområdet, er således koncentreret omkring en række udviklingsprojekter og forsøgsbyggerier udført gennem de sidste ti år, hvor det kun i ringe udstrækning har været muligt at overføre de opnåede resultater til praksis. De resultater og erfaringer, der er gjort i forbindelse med Sophiehaven-projektet og PPB-programmet, danner i dag delvist grundlaget for logistikudviklingen i byggebranchen samt en ny måde at opfatte byggeprocessen på - Trimmet Byggeri.

Sideløbende med at interessen for bygge-logistikens indflydelse på produktivetsgevinster i forbindelse med byggeprojekter opstod i Danmark og samtidig med gennemførelsen af Sophiehaven-byggeriet i 1993, blev der internationalt skabt et nyt begreb i byggeriet med den finske forsker Lauri Koskela's afhandling fra 1992: "*Application of the new production philosophy to construction*". Det nye begreb var stærkt inspireret af de tiltag, der blev gennemført i den japanske bilindustri, og som førte til betydelige reduktioner i produktionsomkostningerne. Begrebet fik navnet "Lean Construction" efter den filosofi, som amerikanerne anvendte til at forklare forskellen i effektivitet mellem japansk og amerikansk bilindustri og som blev kaldt "Lean Production"<sup>2</sup>. I Lean Produktion er nøgleord som eliminering af spild, fokus på materiale- og informationsstrømme, tid, løbende forbedringer og generering af værdi centrale [Womack, 1996]. Lean Construction er på dansk blevet oversat til Trimmet Byggeri, der dog nærmere skal opfattes som den danske implementering af principperne bag Lean Construction. Ligesom Lean Construction var de danske logistiktiltag også meget inspirerede af tankerne i den japanske bilindustri.

## 1.2 Baggrunden for Lean Construction

I fremstillingsindustrien er der gennem det sidste årti opnået store forbedringer i produktiviteten ved implementering af principperne i Lean Production. Principperne i Lean Production som fremstillingsindustrien har været i stand til at udnytte positivt er følgende:

- Stop produktionslinien når defekte produkter/komponenter opdages for herefter at sikre, at årsagen til fejl straks fjernes samt for at sikre et pålideligt flow.
- Fastlæg værdier ud fra kundens definition og behov og identificer værdikæden, dvs. de aktiviteter, der tilfører produktet værdi.
- Sørg for, at der er et fortløbende flow i værdikæden ved at fokusere på hele forsyningskæden.

---

<sup>1</sup> Proces- og Produktudvikling i Byggeriet var et 5-årigt udviklingsprogram under By- og Boligministeriet samt Erhvervsfremmestyrelsen, der kørte fra 1995-2001.

<sup>2</sup> Begrebet Lean Production blev især kendt med bogen "*The Machine that changed the world – Lean Production*" af Womack, James P., Jones, Daniel T. & Roos, Daniel, Harper Perennial, New York, 1990.

- Indfør "træk" i produktionen i stedet for "skub" - dvs. at kunden "trækker" værdier fra producenten efter behov frem for at producenten skubber værdier ud på markedet.
- Stræb efter det perfekte (løbende forbedringer): At levere et produkt, der opfylder kundens behov og forventninger til den aftalte tid og uden fejl.

[Womack, 1996]

Specielt har bilindustrien opnået gode resultater efter implementeringen af tankegangen og principperne bag Lean Production. Eksempelvis er tiden til udvikling af nye produkter skåret ned til det halve, investeringerne i nye værktøjer er halveret, og der benyttes kun den halve arbejdskraft i produktionen [Alarcón, 1997].

Lean-tankegangen, der inddrager flere elementer fra de kendte produktionsprincipper, bl.a. Just-In-Time (JIT), Total Quality Management (TQM) og Concurrent Engineering, identificerer to typer af aktiviteter i et produktionssystem. Dels transformationer (bearbejdninger) som direkte tilfører værdi til et produkt eksempelvis ved at omsætte informationer til et produkt, og dels *ikke-værdiskabende* aktiviteter, som kæder transformationerne sammen i flows eksempelvis i form af kvalitetskontrol, varetransport og mellem-lagring osv. Forbedringer skal primært fokuseres omkring reduktion eller eliminering af de ikke-værdiskabende aktiviteter for herigennem af øge pålideligheden af de forskellige flows, som transformationerne afhænger af. Herved kan en samlet effektivitetsforøgelse opnås. [Alarcón, 1997]

### 1.3 Hvad er Lean Construction?

Lean Construction er anvendelsen og udvidelsen af principperne bag Lean Production overført til byggeriet, og er således først og fremmest en anderledes måde at tænke på mht. planlægning og styring af byggeprojekter. Da Lean Construction er baseret på en produktionsfilosofi og ikke på en ny teknologi i modsætning til flere af de øvrige initiativer, der har været prøvet i byggeriet, skønnes det ifølge [Koskela, 1993, s. 1] at Lean-tankegangen vil have mere vidtrækkende konsekvenser for byggeriets effektivisering. Hermed understreges samtidig vigtigheden af en ændret tankegang i form af udvikling af nye metoder og værktøjer for styring af produktionsprocesserne i byggeriet.

I byggeriet har ledelsessystemerne hidtil været fokuseret på udførelsen af arbejdsopgaverne, og har således ikke koncentreret sig om at kontrollere og styre byggeprocessen. Dette har for byggeriets vedkommende bl.a. resulteret i variationer og usikkerheder i de forskellige flows, eksempelvis materiale- og informationsflows. Disse usikkerheder har igen medført en stigning i ikke-værdiskabende aktiviteter (transport, kvalitetssikring osv.) og dermed en forringelse i den værdi, som produktet repræsenterer overfor kunden.

### 1.4 International Group for Lean Construction

På baggrund af det internationale arbejde med at effektivisere byggeprocessen dannedes i 1993 *The International Group for Lean Construction – IGLC*<sup>3</sup>. IGLC udgør et netværk af praktikere og forskere indenfor arkitektur, design/projektering og udførelse, som me-

---

<sup>3</sup> Se IGLC's hjemmeside: <http://www.vtt.fi/re/lean>

ner, at der er brug for forandringer, hvis byggebranchen skal være klar til de fremtidige udfordringer.

*"Our goal is to better meet customer demands and dramatically improve the AEC<sup>4</sup> process as well as product. To achieve this, we are developing new principles and methods for product development and production management specifically tailored to the AEC industry, but akin to those defining lean production that proved to be so successful in manufacturing."*

Siden dannelsen i 1993 har IGLC afholdt årlige konferencer, hvor praktikere og forskere fra hele verden fremlægger deres resultater fra arbejdet med effektivisering af byggeprocessen. På konferencerne udveksles synspunkter og erfaringer, der foreslås nye indgangsvinkler til Lean Construction, og der arbejdes med at udvikle og implementere en ny produktionsteori til byggeriet. Netop arbejdet med udviklingen af en ny teori for byggeriet adskiller IGLC fra de øvrige tiltag, der hidtil er afprøvet. IGLC opfatter den manglende teori i byggebranchen som en flaskehals og dermed som en af årsagerne til den langsomme eller udeblevne forbedring af byggeriets produktivitet. [IGLC, 2002] og [Bertelsen, 2001 (c)]

## 1.5 Lean Construction Institute

I august 1997 blev The Lean Construction Institute<sup>5</sup> (LCI) grundlagt i San Francisco som et partnerskab mellem Dr. Glenn Ballard og Lektor Gregory A. Howell, der desuden begge er medlemmer af IGLC. LCI er en ikke-profitabel forskningsorganisation, der har til formål gennem forskning og udvikling af værktøjer og principper at fjerne spild i byggeprocessen og herigennem hjælpe byggevirksomheder til at øge deres konkurrenceevne og profitabilitet. [LCI, 2002]

Forud for stiftelsen af LCI havde Glenn Ballard i 1992 påbegyndt udviklingen af et planlægningssystem primært rettet imod udførelsesfasen kaldet *"The Last Planner System of Production Control"* (LPS). Efter stiftelsen af LCI påbegyndte Ballard og Howell udviklingen af *"The Lean Project Delivery System"* (LPDS), hvis formål er at skabe en samlet ramme for byggeriet fra idefasen til anvendelse. Der redegøres for elementerne i LPDS i afsnit 2.6. Et af værktøjerne i The Lean Projekt Delivery System er LPS. I forbindelse med udviklingen af LPS har Ballard gennemført en række casestudier, hvor systemet anvendes [LCI, 2002] og [Ballard, 2000]. The Last Planner System gennemgås yderligere i Kapitel 5.

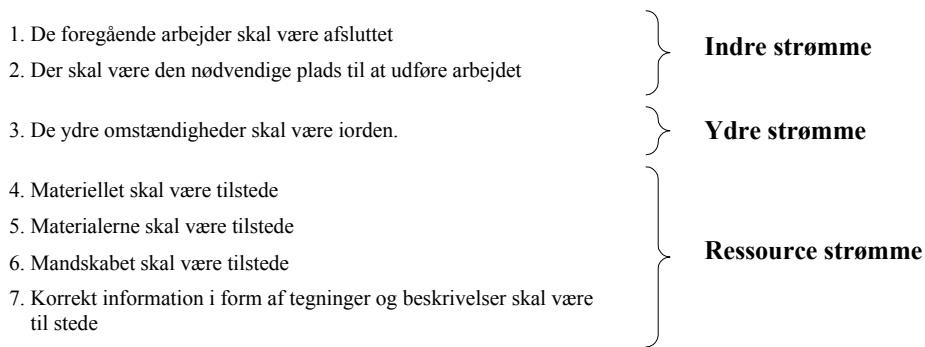
## 1.6 Traditionel byggepraksis vs. Lean Construction

Lean Construction er en produktionsstyret tilgang til en anderledes måde at projektere og udføre byggerier på i modsætning til den nuværende produktionsform, der er baseret på den aktivitetscentrerede tankegang, hvor den typiske holdning er, at nøglen til forbedring ligger i, at forbedre hver enkelt aktivitet for sig. På IGLC's konference i 1999 påpegede Koskela, at syv specifikke strømme skaber forudsætningerne for, hvorvidt en given arbejdsopgave kan gennemføres optimalt. De syv strømme er angivet i Figur 1-1.

---

<sup>4</sup> AEC er akronym for "Architecture, Engineering & Construction", dvs. arkitektur, design og udførelse.

<sup>5</sup> Se LCI's hjemmeside: <http://www.leanconstruction.org>



**Figur 1-1: De 7 strømme der skal opfyldes for, at en given arbejdsopgave kan udføres som planlagt i byggeriet.**

Er alle syv forudsætninger for afvikling af en given arbejdsopgave opfyldt, betegnes arbejdsopgaven som værende *sund*, og den kan således gennemføres. Identificeringen af de syv strømme betyder, at byggeprocessens samlede effektivitet *ikke* kan øges ved alene at effektivisere arbejdsopgaverne enkeltvis, hvilket i stor udstrækning har været den hidtidige praksis.

En af de typiske årsager til, at der forekommer spild i byggeriet er netop, at der kun fokuseres på planlægning og styring af de arbejdsopgaver, der indgår i byggeprocessen - og altså ikke selve processen. Dette har medført, at der i den nuværende byggepraksis forekommer meget spild i form af ikke-værdiskabende aktiviteter. Der har ikke hidtil været gjort et systematisk forsøg på at kortlægge det spild, der forekommer i byggeprocessen. På trods af dette kan tidsstudier give en indikation af, hvor stor en andel af det samlede tidsforbrug spildet udgør. Forskellige undersøgelser indikerer, at spildet svarer til ca. 1/3 af arbejdstiden. Spildet, dvs. de ikke-værdiskabende aktiviteter, er bl.a. kortlagt i et casestudie af en elementmontage i forbindelse med udvidelsen af Nordjyllands Videnspark, etape 6, i Aalborg. Spildtiden blev her målt til at udgøre 39% af det pågældende montagesjaks arbejdstid. Spildet er i forbindelse med casestudiet defineret som dels transport af materialer i forbindelse med udførelsen af en arbejdsopgave, dels af den ventetid der optræder i forbindelse med udførelsen af en arbejdsopgave, og dels af den tid de udførende er borte fra arbejdsstedet. [Kristensen & Nielsen, 2001(a)]

Ifølge [Koskela, 1993] adskiller byggeriet sig fra fremstillingsindustrien ved bl.a. at løse unikke og komplekse projekter under uforudsigelige forhold og i varierende samarbejder samt under stort tidspres. Disse karakteristika kan ifølge [Koskela, 1993] i en vis udstrækning gøre det vanskeligere at styre de enkelte strømme i byggeriet (materialer, informationer, arbejdskraft mm.) lige så effektivt, som det lader sig gøre under fremstillingsindustriens mere stationære forhold. Dette skal dog ikke være en undskyldning i forhold til byggeriets parter, idet de generelle principper for styringen af strømmene gælder for såvel fremstillingsindustrien som for byggeriet.

Styringen af byggeprocessen ved anvendelse af Lean-principperne adskiller sig fra den traditionelle praksis idet:

- Arbejdet struktureres gennem hele byggeprocessen på baggrund af at skabe mest mulig værdi for kunderne (interne såvel som eksterne kunder) og at reducere spildet i udførelsesfasen.

- Anstrengelserne for at styre og forbedre byggeprocessen rettes mod det samlede byggeprojekt, idet det anses for umuligt at reducere de samlede byggeomkostninger og den totale byggetid ved udelukkende at fokusere på en reduktion af omkostninger og tidsforbrug i forbindelse med en enkelt transformation (arbejdsopgave).
- Der fokuseres på "Concurrent Engineering", dvs. at design- og udførelsesfasen i videst muligt omfang overlapper hinanden.
- Styring omdefineres fra at "overvåge resultater" til at "få tingene til at ske", bl.a. ved at materialerne "trækkes" til byggepladsen, hvilket modsvarer det traditionelle "skub-princip".

[Howell, 1999]

Ved implementering af principperne bag Lean Construction i byggeprocessen opnås en pålidelig frigivelse af arbejdsopgaver mellem byggeriets aktører, der sikrer, at kunden – såvel den interne som den eksterne – modtager den forventede værdi til tiden, samt at spildet i byggeprocessen reduceres. Lean Construction gør således op med den generelle overbevisning, der findes i byggeriet, om at der altid eksisterer et kompromis i forholdet mellem tid, omkostninger og kvalitet. [LCI, 2002]

Indenfor det internationale arbejde med Lean Construction er det specielt den finske forsker Lauri Koskela fra VTT i Finland<sup>6</sup>, der arbejder med at udvikle nye teorier for produktionsprocesserne i byggeriet, mens de to amerikanske professorer Glenn Ballard og Greg Howell gennem deres forskning på Lean Construction Institute arbejder med at udvikle praktiske værktøjer og principper til byggeprocessen. I de efterfølgende afsnit redegøres der dels for TFV teorien (Transformation, Flow og Værdi), som Lauri Koskela har udviklet, og dels for nogle af de praktiske værktøjer, der er udviklet gennem arbejdet i Lean Construction regi. Specielt redegøres der for "*The Last Planner System of Production Control*", som er udviklet af Glenn Ballard og primært rettet imod udførelsesfasen.

## 2 Redegørelse for TFV teorien

I det efterfølgende redegøres der for TFV teorien, der integrerer tre produktionskoncepter, der har været dominerende i fremstillingsvirksomheder siden begyndelsen af det 20. århundrede. De tre grundlæggende koncepter baserer sig på tre forskellige opfattelser af produktion, henholdsvis:

- Produktion som en **t**ransformation af input til output.
- Produktion som et **f**low af forskellige ressourcer.
- Produktion som et middel til at skabe **v**ærdi for kunden.

Redegørelsen foretages primært på baggrund af [Koskela, 2000] og [Koskela, 1992]. Såfremt andre kilder inddrages angives det i teksten.

Redegørelsen disponeres således, at der først redegøres generelt, for oprindelsen og udviklingen af de tre produktionskoncepter, transformation, flow og værdi, dvs at redegørelsen tager udgangspunkt i fremstillingsindustrien. Dernæst overføres tankesættet til

---

<sup>6</sup> Flere oplysninger om forskningsaktiviteterne på VTT kan findes på: <http://www.vtt.fi/indexe.htm>

produktudviklingsfasen i fremstillingsindustrien. Netop fremstillingsindustriens produktudviklingsfase er af bl.a. Glenn Ballard blevet sammenlignet med byggeprocessen [Ballard, 1995, s. 292]. Slutteligt anvendes tankesættet, TFV teorien, på to af byggeriets faser, henholdsvis design- og udførelsesfasen.

## 2.1 Teorier for produktion

Ifølge Sven Bertelsen [Temagruppe 4, 2000] og Lauri Koskela [Koskela, 2000] er det karakteristisk for megen af den hidtidig beskrevne teori for produktion, at den netop er udviklet efter, at de førende virksomheder i en given industri har skiftet paradigme. Teorierne har baseret sig på etableret praksis, og har således været en hjælp til at forstå denne. Herved mister teorierne evnen til at skabe forståelse for fremtidens udfordringer og de dertil hørende forandringer.

Teorierne må ikke forveksles med de adskillige produktionsfilosofier, der især gennem de sidste 20 år er blevet udviklet, eksempelvis TQM, JIT, World Class Manufacturing, TBM osv. Disse produktionsfilosofier kan i størstedelen af tilfældene karakteriseres som en samling af metoder til efterlevelse af et af de tre grundlæggende koncepters, henholdsvis transformation's, flow's eller værdi's, principper. Et eksempel på en teoretisk og i øvrigt meget udbredt synsvinkel på produktion er netop at anskue produktion som en række af transformationer fra input til output, hvilket gennemgås efterfølgende. Dernæst følger en redegørelse for henholdsvis flow- og værdikonceptet.

### 2.1.1 Produktion som transformation

Transformationskonceptet har gennem det 20. århundrede været det mest udbredte både indenfor videnskab og praksis. Generelt kan transformationskonceptet opfattes som illustreret i Figur 2-1. Fremstilling af varer eller ydelser opfattes her som en række transformationer af et sæt af ressourcer i form af eksempelvis mandtimer, materialer, viden osv. (input) til et nyt sæt af ressourcer med større værdi (output). Disse output bliver så til en ny transformations input osv.



Figur 2-1: Illustration af transformationskonceptet.

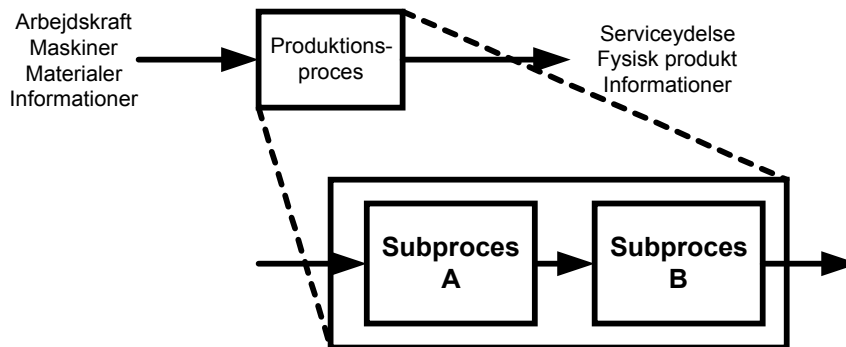
De ledelsesmæssige udfordringer ligger i at styre og til dels planlægge transformationerne i forhold til hinanden. I [Slack, 1995] er transformationsprocessen beskrevet således:

*"All operations produce goods or services or a mixture of the two, and they do this by a process of transformation. By transformation we mean that they use their resources to change the state or condition of something to produce outputs... All operations conform to this general input-transformation-output model."*

Det bør bemærkes, at transformationsmodellen primært sigter på inputtene og outputtene, og altså ikke selve produktionsprocessen, eksemplificeret ved bl.a. processen fra

output til input. Desuden danner modellen også direkte grundlag for måling af transformationens produktivitet, idet der blot kræves en kvantificering af inputtene og outputtene.

Transformationskonceptet udmærker sig bl.a. ved, at det kan anvendes på flere abstraktionsniveauer, hvor den overordnede transformation kan underopdeles i flere subtransformationer med hver deres indbyrdes input-output forhold. Metoden er ofte refereret til som "black-box diagrammering". Et eksempel er vist i Figur 2-2.



Figur 2-2: Eksempel på en hierarkisk opdeling af en overordnet transformationsproces.

Figur 2-2 viser et eksempel på hierarkisk black-box diagrammering, hvilket er et kraftfuldt værktøj til simplificering af eksempelvis en produktionslinie. Af systematiske metoder og værktøjer, der er opbygget ud fra transformationskonceptet, kan bl.a. nævnes MRP II<sup>7</sup>. MRP II er primært en metode til styring af produktion og lagerfaciliteter. Metoden tager udgangspunkt i opsplnitning af en ordre i forskellige komponenter, henholdsvis materialebehov (Bill of Materials, BOM) og ressourcebehov (Bill of resources, BOR). Herefter nedbrydes ordren hierarkisk i transformationer, hvor produktionens ressourcer sammensættes med de nødvendige materialer og sammen skaber et output. [Vollmann, 1997]

Effektivisering eksempelvis mht. omkostningsreduktion af en produktion på baggrund af transformationskonceptet foretages ud fra princippet om, *at de totale omkostninger i forbindelse med produktionsprocessen kan minimeres ved at minimere omkostningerne til hver subproces.*

Såfremt dette udsagn er gyldigt, må det forudsætte, at de enkelte subprocesser er *uafhængige* [Koskela, 2000, s. 42]. Det er af indlysende årsager imidlertid ikke forsvarligt at antage uafhængighed mellem de enkelte operationer. Dette er gennem tiderne klaret ved indførelse af buffere mellem de enkelte operationer. Bufferens primære opgave er, at skærme de interne operationer fra usikkerhederne forbundet med produktionens omgivelser. I [Slack, 1995] er det formuleret:

*"It is advantageous to isolate the production process from the external environment through physical or organizational buffering".*

<sup>7</sup> MRP II er akronym for: Manufacturing Resource Planning, hvilket er en udvidelse af begrebet MRP (Material Requirements Planning), som primært er operationelt/teknisk orienteret.

Der er imidlertid også interne usikkerheder, hvorfor der også i forskellige produktionsvirksomheder er blevet indført interne buffere, specielt omkring dyrt indkøbte produktionsmaskiner, der i nogle tilfælde skal producere døgnnet rundt for at godtgøre investeringen.

Der er gennem de seneste årtier kommet mere og mere fokus på netop buffere, i form af eksempelvis råvare-, mellemvare- og færdigvarelager. I [Schonberger, 1996] refereres til undersøgelser i flere store internationale firmaer, hvor en af konklusionerne bl.a. er, at der i perioden 1950 – 1975 har været en generel tendens imod konstant forøgelse af ”varer i arbejde”, hvilket som bekendt binder kapital. På grund af bl.a. oliekriserne i 1970’erne, der var en af årsagerne til de høje renter i perioden, kom der i den efterfølgende periode ekstra fokus på nedskæring af unødvendige omkostninger, herunder netop lageromkostninger og varer i arbejde, se i øvrigt [Kristensen & Nielsen, 2001 (c)].

### **Transformationskonceptets hovedpunkter**

Transformationskonceptets hovedpunkter, der kort er redegjort for i det ovenstående, kan summeres til følgende punkter:

- Den totale transformation kan nedbrydes i mindre subtransformationer.
- Produktionens omkostninger kan minimeres ved at minimere omkostningerne i subtransformationerne.
- Usikkerheder kan med fordel elimineres ved anvendelse af buffere.

Dette koncept har gennem det 20. århundrede været det dominerende produktionskoncept [Koskela, 2000, s. 48] både hvad angår praksis og produktionsvidenskab. Transformationskonceptet antager produktion som en proces af transformationer.

Transformationskonceptets succes skyldes ifølge [Koskela, 2000] to faktorer. For det første har konceptet været tilstrækkeligt omfattende til at kunne modellere virkeligheden tilfredsstillende, og for det andet er der gennem tiderne blevet udviklet mange forskellige typer af værktøjer baseret netop på transformationsmodellen, hvis formål har været dels at understøtte analyser af produktionen og dels at understøtte ledelse og styring af produktionen.

#### **2.1.2 Produktion som et flow**

Produktion som et flow af eksempelvis materialer og informationer gennem et produktionsapparat har været kendt tilbage til Henry Fords samlebånd i USA i starten af det 20. århundrede. Ligeledes har indflydelsen af buffere og håndteringen af materialerne på det samlede spild været kendt. Eksempelvis skriver Miller i 1922 følgende:

*”...(T)here must be avoidance of the large industrial wastes that come from overloaded inventories; slow movement of materials through the successive operations of manufacturing; ...”.* [Miller, 1922]

Denne tidlige forståelse af flowets betydning for produktionen har dog gennem en lang årrække i midten af forrige århundrede spillet en mindre og ofte ubetydelig rolle i opfattelsen af produktion [Koskela, 2000]. I de seneste år er der dog igen opstået fornyet interesse for emnet. Denne interesse er primært opstået på baggrund af transformations-

konceptets mangler og misforståelser. Kritikken er bl.a. rejst af Shigeo Shingo i [Shingo, 1988].

I hovedtræk tager kritikken udgangspunkt i, at produktion kan forstås ud fra to dimensioner. Den første dimension betegner produktets flow, der overordnet refererer til det forløb produktet gennemgår, og som gradvist forvandler råmaterialerne til det endelige produkt. Den anden dimension betegner forløbet af de enkelte arbejdsoperationer, der repræsenterer mandskabets og maskinernes bearbejdning af materialer. De to dimensioners flow er grundlæggende forskellige, og skal derfor også behandles forskelligt. Til beskrivelse heraf anvender Shingo to begreber, *processer* og *operationer*. Kritikken af transformationskonceptet påpeger netop, at transformationerne udelukkende adresserer *operationerne*. Definitionen af de to dimensioner er:

- Processer kan opfattes som et *forløb* og refererer til produkternes flow fra én arbejdsstation til den næste. Dvs. at det er de trin en given mængde af råmaterialer bevæger sig gennem for slutteligt at ende som færdigvarer.
- Operationer beskriver derimod de diskrete tilstande, hvor en arbejder aktivt udfører forarbejdning af halvfabrikata. Herunder både det fysiske, men også tidsmæssige flow. Det skal bemærkes, at operationerne ikke udelukkende indeholder værdiskabende aktiviteter, men også en betydelig mængde spild, eksempelvis i form af kvalitetssikring, rengøring af maskinel, finde værktøj osv.

Dette forhold bliver åbenlys, såfremt transformationerne nedbrydes detaljeret til de mindste subtransformationer en given produktion tillader. Sammenlignes disse "atomer" med, hvad der egentlig foregår i produktionen afdækkes forskellige aktiviteter, der ikke kan karakteriseres som transformationer. Eksempelvis kan nævnes intern transport, kontrol af materialer, læsning af tegninger, instruktion osv. Shingos skelnen mellem de to forskellige dimensioner giver yderligere en bemærkelsesværdig sammenhæng, nemlig at effektivisering af *operationerne* ikke automatisk medfører større effektivitet i *processerne*, idet det ofte er i relationen mellem de enkelte operationer, at spildet forekommer, eksempelvis i form af ophobning af materialer.

Dette dilemma er gennem tiderne løst forskelligt. En generalisering viser dog to typiske løsninger:

1. De aktiviteter, der ikke indeholder en egentlig transformation, er udeladt fra produktionsovervejelserne.
2. Alle aktiviteter anskues som en transformation i en eller anden forstand.

Den første løsning medfører en situation, hvor der ikke bevidst er hverken noget mål eller nogle metoder til forbedring af de ikke-transformativt aktiviteter. Et eksempel nævnt i [Koskela, 2000] er omkostningsoptimering af subtransformationerne, der forudsætter buffere, således at der kan opnås en stor udnyttelsesgrad af produktionsudstyret.

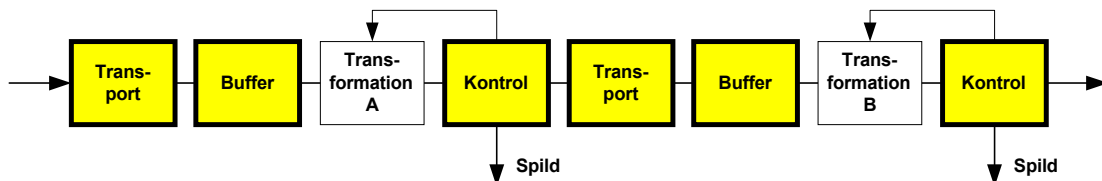
Den anden løsning fører til en situation, hvor de ikke-transformativt aktiviteter optimeres analogt med de aktiviteter, der reelt kan betegnes som transformationer. Dette medfører investeringer i og teknologisk udvikling af ikke-transformativt aktiviteter (lagerfaciliteter, transport, inspektion osv), der muligvis kunne anvendes bedre andre steder.

## Flow-konceptet

Selve flowkonceptet, der udledes i [Koskela, 2000], er bl.a. blevet til på baggrund af Shingos kritik af transformationstankegangen. Konceptet består af to primære pointer:

1. Tid skal opfattes som en ressource (input) til produktionen.
2. Tid forbruges af to forskellige typer af aktiviteter; dels transformative aktiviteter (dvs. værdiskabende aktiviteter ex. forarbejdning, montage mv.) og dels ikke-transformative aktiviteter (dvs. spild ex. transport, inspektion, kontrol mv.).

Disse to pointer opfordrer indirekte til samme mulighed for forbedringer, nemlig eliminering af alt overflødig fra produktionen, hvilket ofte domineres af unødvendigt tidsforbrug. Alt overflødig i forhold til produktionen er ofte blevet betegnet som *spild* eller *ikke-værdiskabende*, eksempelvis i [Womack, 1996]. Figur 2-3 viser produktionen som en flowproces, hvor der skelnes mellem værdiskabende og ikke-værdiskabende aktiviteter.



*Figur 2-3: Produktion som en flow-proces. De markerede kasser illustrerer ikke-værdiskabende aktiviteter i modsætning til de gennemsligtige kasser, der illustrerer de værdiskabende aktiviteter [Koskela, 1992, s. 15].*

## Flow principperne

Koskela identificerer 6 forskellige flowrelaterede principper inddelt i tre kategorier. Princippet i den første kategori kan direkte henføres til selve flowkonceptet, som det er angivet ovenfor. Princippet er:

- Reducer andelen af ikke-værdiskabende aktiviteter.

Principperne i den anden kategori kan udledes fra forskellige produktionsteorier, eksempelvis kø-teori:

- Reducer gennemløbstiden.
- Reducer flowets fluktuationer, herunder også usikkerheder.

Den tredje kategori samler empirisk udviklede principper, der ikke direkte kan knyttes til egentligt teori:

- Simplificer produktionen ved at reducere antal af procestrin og sammenkoblinger så vidt muligt.
- Forøg fleksibiliteten.
- Forøg flowets gennemsigtighed for medarbejderne.

De fleste principper stammer fra produktionsfilosofierne JIT og Lean Production, se evt. [Kristensen & Nielsen, 2001 (c), Bilag A-2].

For yderligere uddybning af principperne henvises til [Koskela, 2000, s. 56-63].

### 2.1.3 **Produktion som værdiskaber**

Næsten samtidig med, at kritikken af transformationskonceptet blev rejst, pga. den manglende hensyntagen til produktionsflowet opstod der tilsvarende en kritik fra dem, der arbejdede med produktionsfilosofier, hvis oprindelse findes i værdikonceptet. Med værdikonceptet forstås en virksomheds evne til via et givent produkt og/eller serviceydelse at generere værdi for sine kunder. Dette betyder dels, at omverdenen (kunderne) inddrages anderledes end tidligere, idet de ikke blot er aftagere af et produkt, men kravstillere til det, der produceres, og dels at prisen for et givet produkt skal ses i forhold til produktets værdi og altså ikke fremstillingsomkostninger samt et fastsat overhead.

I 1960 kritiserede Theodore Levitt transformationskonceptet (her i form af masseproduktion) for netop konceptets manglende evne til at skabe værdi for kunderne.

*"Mass-production industries are impelled by a great drive to produce all they can. The prospect of steeply declining unit costs as output rises is more than most companies can usually resist. The profit possibilities look spectacular. All effort focuses on production. The result is that marketing gets neglected.*

*The difference between marketing and selling is more than semantic. Selling focuses on the needs of the seller, marketing on the needs of the buyer. Selling is preoccupied with the seller's need to convert his product into cash, marketing with the idea of satisfying the needs of the customer by means of the product and the whole cluster of things associated with creating, delivering and finally consuming it.*

*...a truly marketing-minded firm tries to create value-satisfying goods and services that consumers want to buy." [Levitt, 1960]*

Modsat transformations- og flowkonceptet, der udelukkende eksisterer internt i virksomheden, kan værdien kun aflæses i forhold til subjektive forhold, nemlig de interne og eksterne kunders behov. Denne synsvinkel genkendes fra to forskellige udviklingsretninger dels kvalitetsbevægelsen og dels de marketingsorienterede værdibaserede metoder.

Kvalitetsbevægelsen kommer til udtryk bl.a. gennem det internationale arbejde i ISO, men også gennem kvalitetsfilosofierne (ex. TQM) hvor et af målene netop er opfyldelse af kundens behov. I forbindelse med diskussionen af kvaliteten inddrages ofte begreberne store Q og lille q. Store Q refererer til, i hvor stor grad kundens specifikationer er komplette, dvs. i overensstemmelse med dennes behov, hvorimod lille q refererer til, hvorvidt produktet opfylder de angivne specifikationer [Temagruppe 4, 2000]. Denne definition af Store Q og lille q uddybes i Afsnit 2.4.3 i forhold til byggeriets værdi.

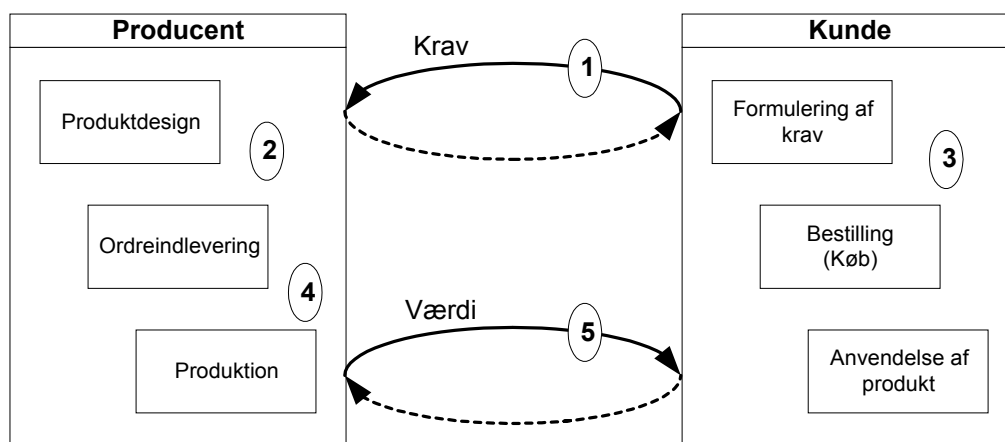
Markedsorienteringen kan føres tilbage til Ford, der allerede dengang havde distanceret sig fra det ellers udbredte syn på virksomheder nemlig, at de udelukkende eksisterede for at skabe profit.

*"The organization of industry to serve the people will not interfere with the profitability of industry, as some seem to imagine." [Ford, 1926]*

Specielt siden 1980'erne har tankegange med baggrund i generering af værdi bredt sig til de store virksomheder i Vesten. Initiativerne har haft forskellige navne, såsom Value Based Management, Customer Orientation og Mass Customization [Koskela, 2000].

### Principper til værdiskabelse

Forudsætningen for, at en virksomhed kan skabe værdi for sine kunder, er at kundernes behov danner baggrund for produktionen, dvs. at de er kendte. Koskela definerer fem principper, der skal sikre denne interaktion mellem virksomhed og kunde. Principperne er angivet i forhold til Figur 2-4.



*Figur 2-4: Principper relateret til konceptet for værdigenerering. Numrene refererer til følgende principper: 1. Fastlæggelse af krav, 2. Overdragelse af krav, 3. Sikring af komplette krav, 4. Produktionssystemets kapacitet, 5. Måling af kundeværdi. Frit efter [Koskela, 2000, s. 79].*

De fem principper er:

1. Sikre at alle kundekravene er fastlagt. Eksempelvis kan Kano-modellen anvendes. Modellen inddeler kundekravene i tre kategorier: de forventede, de fundamentale og de latente krav/behov, eksempelvis beskrevet i [Bergman, 1994].
2. Sikre, at relevante kundekrav er tilgængelige i alle produktets faser, og at ingen går tabt når de oversættes til designløsninger, produktionsplaner og endelig til produktet. Som eksempel på en meget anvendt metode kan nævnes QFD (Quality Function Deployment), der bl.a. synliggør flowet af kundekrav gennem de forskellige faser.
3. Sikre at kundekravene er i overensstemmelse med det leverede produkt, og at produktet opfylder behovene udtrykt i forhold til de forskellige roller kunden varetager (køber, bruger mv.). Leverancerne kan ifølge [Kim, 1997] med fordel inddeles i tre overordnede kategorier, henholdsvis produktet, service og levering.
4. Sikre kapaciteten af produktionssystemet, således at produktet kan produceres iht. kundens krav.
5. Sikre at den ønskede værdi er skabt for kunden. Dette kan eksempelvis gøres ved kundetilfredshedsanalyser.

I [Koskela, 2000, s. 79-84] uddybes principperne yderligere.

## 2.2 TFV teorien i produktion

De tre primære måder at forstå produktion på gennem det 20. århundrede, som er præsenteret i de foregående 3 afsnit, danner baggrund for en samlet teori for produktion. TFV teorien for produktion, som den er præsenteret i [Koskela, 2000] er netop en afbalanceret integration af de tre produktionskoncepter, henholdsvis transformations-, flow- og værdikonceptet. Integrationen foretages på baggrund af en hypotese om, at hvert af de tre koncepter i større eller mindre grad næsten altid inddrages i en given produktionsituation.

*”Thus, we have to believe that the three concepts each capture an intrinsic phenomenon of production, and in a practical production situation, we should almost always act on the basis of advice derived from each of them.”*

*“In production management, the management needs arising from the three concepts should be integrated and balanced”* [Koskela, 2000, s. 88]

På baggrund af de tre koncepter udleder Koskela tre styringsområder, henholdsvis opgavestyrelse (*task management*), styring af flowet (*flow management*) og værdistyring (*value management*).

Tabel 2-1 viser en oversigt over de tre koncepter samt de mest udbredte principper anvendt af industrien i dag.

	<b>Transformation</b>	<b>Flow</b>	<b>Værdi</b>
<b>Produktion ansues som:</b>	En transformation af input til output	Et flow af emner, der er sammensat af transformationer, kontrol, transport og venten.	En proces, hvor kundeværdi kreeres via opfyldelse af kundekrav.
<b>Primær produktionsprincip:</b>	At realiserer produktionen effektivt, dvs. ved anvendelse af færrest mulige ressourcer.	Eliminering af spild, dvs. <i>ikke-værdiskabende</i> aktiviteter.	Eliminering af værditab, dvs. opnået ”værdi” i forhold til størst mulige ”værdi”
<b>Sekundære produktionsprincipper:</b>	Nedbrydelse af produktionsopgaver. Minimere omkostningerne til alle nedbrudte opgaver.	Minimer gennemløbstid. Reducer fluktuationer i flowet. Simplificer. Forøg gennemsigtigheden. Forøg fleksibiliteten.	Fastlæg alle kundekrav. Sikre overdragelse af krav mellem prod.faserne. Sikring af komplette krav. Sikre produktionssystemets kapabilitet. Måling af kundeværdi
<b>Eksempler på metoder og værktøjer:</b>	MRP. MRP II. Nedbrydelse af ordre ex. til BOM.	Løbende forbedringer. Produktion initieres af ”træk”. Der produceres i ”takt”.	Kano-modellen til fastlæggelse af kundekrav. Quality Function Deployment.
<b>Praktisk betydning:</b>	Sørger for at det der skal ”gøres” bliver gjort.	Sørger for at alt ”unødvendigt” bliver gjort så lidt som muligt.	Sørger for at kundekrav mødes på bedst mulig måde.

*Tabel 2-1: Opsamling på transformation, flow og værdi i produktionen.*

Tabel 2-1 viser integrationen – eller nærmere manglen på integration - mellem de tre dominerende koncepter gennem det 20. århundrede. Denne konceptualisering udgør

fundamentet for Koskelas TFV teori. Indtil videre er produktion blevet betragtet som et generelt fænomen, uden stillingtagen til hvilken type af produktion det drejer sig om. Mange af de udviklede principper til de enkelte koncepter er udviklet i bilbranchen, hvor især Toyota gennem de seneste årtier har stået i spidsen.

En af Koskelas hypoteser mht. teorien er, at anormaliteter<sup>8</sup>, der netop karakteriserer forskellige produktioner, kan afhjælpes ved den rette vægtning mellem de tre elementer T, F og V. I [Kristensen & Nielsen, 2001, (b)] er der bl.a. redegjort for tre af de særpræg, der netop karakteriserer byggeriet:

1. "One-of-a-kind" produkter.
2. Produktionen foregår på stedet under indflydelse af vejrforholdene.
3. Produktionen foregår i vekslende samarbejder fra projekt til projekt.

Desuden er der af Sven Bertelsen blevet påpeget yderligere et særpræg for byggeindustrien, nemlig, at dets produkter kan opfattes som emergente fænomener, hvilket stammer fra kaosteorien. At byggeriets produkter kan opfattes som emergente fænomener kan bl.a. forklares vha. værdifastsættelsen. Et givet byggeri (eksempelvis et enfamiliehus) på en given lokation (eksempelvis en mark) repræsenterer en værdi overfor en kunde udtrykt i, hvad denne kunde vil betale for huset. Værdierne kan bl.a. udtrykkes i, at kunden ønsker at være tæt på naturen, have frisk luft, udsigt til marker og enge, ingen trafikstøj osv. Det emergente kommer til udtryk i, at der over en årrække eksempelvis udstykkes flere grunde rundt omkring huset således, at huset på et tidspunkt bliver en del af en by. Hermed er produktets værdirepresentation over for kunden (ejereren) ændret fra at være tæt på naturen til nu at være tæt på indkøbsmuligheder, skoler, sportshaller osv. Byggeriets fjerde karakteristika, der netop adresserer værdiændringen bliver således:

4. Byggeriets produkter er stedfaste, og kan derfor betragtes som emergente fænomener.

Der refereres dog efterfølgende til de tre førstnævnte karakteristika, idet de knytter sig til faserne forud for afleveringen, hvorimod byggeriets fjerde karakteristika primært kommer til udtryk, såfremt driftsfasen inddrages.

Koskelas hypotese om, at en afvejning af de tre koncepter udgør nøglen til effektivisering af byggeprocessen, er endnu ikke verificeret, men det initierende arbejde med at klarlægge interaktionen mellem koncepterne er påbegyndt [Koskela, 2000].

---

<sup>8</sup> Skal forstås som "mærkværdigheder"

	Indflydelse på T	Indflydelse på F	Indflydelse på V
<b>Indflydelse af T på et andet koncept.</b>		Dyrere transformations-teknologi vil betyde mindre fluktuationer i ressource flowet.	Bedre input bidrager til bedre produkter.
<b>Indflydelse af F på et andet koncept.</b>	Flows med mindre fluktuationer kræver mindre kapacitet. Det er desuden lettere at implementere ny transformationsteknologi, såfremt flowets fluktuationer mindskes.		Mere fleksible produktionssystemer tillader større fluktuationer i flowet. Produktionssystemer med mindre interne fluktuationer producerer produkter med større kvalitet.
<b>Indflydelse af V på et andet koncept.</b>	Variation i kundeforespørgsler modarbejder høje udnyttelsesgrader og skalafordele.	Perfekte interne leverandør/kunde relationer bidrager til reduktion af spild.	

*Tabel 2-2: Interaktion mellem de tre koncepter, oversat efter [Koskela, 2000, s. 92].*

Interaktionerne mellem de tre koncepter, som de er angivet i Tabel 2-2 er naturligvis af generel karakter, hvorfor der kan nævnes tilfælde, hvor interaktionen vil være anderledes. Eksempelvis er det ikke altid tilfældet, at netop dyrere produktionsudstyr (transformationsteknologi) medfører mindre fluktuationer i flowet, idet der her typisk vil være tendens til at udnytte den givne produktionsenhed fuldt ud, dvs. at der stræbes efter en høj udnyttelsesgrad. Dette kan medføre, at der opbygges buffere foran produktionsenheden for at sikre en høj driftstid, hvilket virker forstyrrende på flowet.

Der redegøres heller ikke i tabellen for, hvilke forudsætninger der danner baggrund for interaktionerne. Det er eksempelvis ikke givet, at produktionssystemer med mindre fluktuationer i ressourceflowet producerer produkter med større kvalitet. Dog vil produktionssystemer med mindre fluktuationer i flowet have et større potentiale for kvalitetsforbedringer end andre produktionssystemer.

### 2.3 TFV teorien i design

Der har i det foregående afsnit været fokus på selve produktionen, men en virksomhed består som bekendt af flere funktioner. I det efterfølgende overføres TFV teorien til designfasen. Fremstillingsvirksomheders designfase, produktudviklingen, betragtes af flere som værende nærmere beslægtet med byggeprojekter end den egentlige produktion [Ballard, 1995, s. 292].

I Tabel 2-3 er nøgleord for de tre koncepters fortolkning i designfasen præsenteret. Det skal understreges, at indholdet af de tre koncepter pt. eksisterer i designfasen, dog har der ifølge [Koskela, 2000] været en tendens til, at det udelukkende er transformationskonceptet, der har gennemgået grundige analyser og modelleringer med bedre styring til følge. En undtagelse herfra er dog udviklingsarbejdet omkring ”værdibaseret samarbejde” under Projekt Hus, hvor netop interessenternes værdier søges indtænkt gennem partsmål i designfasen. Dette arbejde er dog i øjeblikket på udviklingsstadiet, hvorfor det må betegnes som værende på absolut forkant med nuværende praksis.

	Transformation	Flow	Værdi
<b>Produktion ansues som:</b>	En transformation af krav og andre inputinformationer til produktdesign (output).	Et flow af information, der er sammensat af transformationer, kontrol, transport og venten.	En proces, hvor kundeværdi kreeres via opfyldelse af kundekrav.
<b>Primær produktionsprincip:</b>	Hierarkisk nedbrydning. Styling af nedbrudte aktiviteter.	Eliminering af spild, dvs. unødvendige aktiviteter ex. reduktion af "gennemløbstid", reduktion af usikkerheder, m.v.	Eliminering af værditab, dvs. opnået "værdi" i forhold til størst mulige "værdi". Herunder ex. tilbundsgående kravsanalyse, systematisk styling af oversættelsen fra kundekrav til specifikationer.
<b>Eksempler på metoder og værktøjer:</b>	Den kritiske vej. Organisationsdiagrammer. Nedbrydelse af ordre ex. til BOM.	Team samarbejde. Integration af værktøjer. Partnering. Concurrent Engineering.	Quality Function Deployment.
<b>Praktisk betydning:</b>	Sørger for at det der skal "gøres" bliver gjort.	Sørger for at alt "unødvendigt" bliver gjort så lidt som muligt.	Sørger for at kundekrav mødes på bedst mulig måde.

*Tabel 2-3: Opsamling på integrationen mellem styling af transformationer, flow og værdi i designfasen. [Koskela, 2000, s. 120].*

Interaktionen mellem de tre koncepter i designfasen er central forud for en optimering af produktdesignet. Koskela identificerer tre problemer med den nuværende interaktion mellem de tre koncepter i designfasen. De tre problemområder er primært identificeret gennem empiriske observationer og opstillet herunder:

1. Der er ofte for lidt tid til analyse af kravene, hvorfor den efterfølgende oversættelse til produktspecifikationer bliver mangelfuld. Dette medfører forstyrrelser i det senere forløb i form af ændringer af produktet.
2. Ofte designes der til hver nedbrudt delopgave kun en løsning. I komplekse designsituationer itereres denne løsning indtil et acceptabelt resultat foreligger. Dette sker ofte uden hensyntagen til de øvrige delopgaver, hvilket medfører suboptimeringer på bekostning af det samlede resultat.
3. I planlægningen af designfasen undervurderes behovet ofte for et tæt samarbejde mellem projekterende med forskellige tekniske kompetencer, eksempelvis projektering af VVS og el.

På baggrund af de tre identificerede problemstillinger omkring produktdesign konkluderer Koskela [Koskela, 2000, s. 122], at der eksisterer et behov for en anderledes styling af designfasen. Dvs. en styling, der integrerer og afbalancerer de tre koncepter.

## 2.4 TFV teorien i byggeriet

Indtil videre er TFV teorien beskrevet ud fra generelle produktionsvilkår, dvs. uafhængig af typen af produktion. Det er samtidig blevet fastslået, at byggeriet har relativt mange fællestræk med fremstillingsindustriens produktudviklingsfase. I det efterfølgende beskrives anvendelsen af TFV teorien i byggeriet, primært med udgangspunkt i udførelsesfasen. Først sammenfattes den nuværende situation i byggeriet mht. inddragelse af de tre koncepter jf. [Koskela, 2000, s. 178]:

- Transformationskonceptet danner grundlag for styring af byggeprocessen.
- De nuværende styringsmetoder modvirker produktivitetsforbedringer, idet de strider imod principperne i både flow- og værdikonceptet.
- Konsekvensen heraf er et betydeligt spild og dermed værditab i byggeriet.

Ofte bliver spildet og det medfølgende værditab i byggeriet forklaret med, at der findes forskelligheder i byggeriet sammenlignet med eksempelvis fremstillingsindustrien, jf. de tre karakteristika der ofte nævnes i forbindelse med byggeriet.

Såfremt TFV teorien skal danne grundlag for forbedringer i byggeriet, er det nødvendigt, at der gennem integration af de tre koncepter tages højde for disse tre karakteristika. I det efterfølgende gennemgås de tre koncepter i forhold til byggeriet.

### **2.4.1 Byggeriets transformationer**

Et af de primære problemer for byggeriet udfra en transformationssynsvinkel er, at transformationskonceptet udgøres af forestillingen om, at de enkelte transformationer kan nedbrydes i enkeltstående uafhængige transformationer (værdiskabende aktiviteter), der opererer i sikre omgivelser, dvs. omgivelser uden variationer på input. Denne simplificering i transformationskonceptet er umiddelbar vanskelig at forene med byggeriets tre karakteristika; "one-of-a-kind" produkter udført på stedet i varierende samarbejder, der i høj grad medfører usikkerhed samt afhængighed transformationerne imellem.

Dette forhold kommer ifølge [Koskela, 2000] til udtryk gennem forskellige problemer i både tilbuds-, design- og udførelsesfasen. Som eksempel kan nævnes problemerne pga. usikkerheder i forbindelse med prisfastsættelsen i tilbudsfasen, bl.a. beskrevet i [Tommelein, 1997], hvor den hidtidig praksis kan sammenfattes til, at de bydende entreprenører har konkurreret om laveste pris for derefter at få monopol på udførelse af ekstrarbejde. Dette har medført, at fejl i udbudsmaterialet ikke er blevet påpeget af entreprenørerne, der derimod har underbudt opgaven vel vidende om, at det nødvendige overskud kunne sikres gennem udbedring af projektets fejl.

Der er dog via den nye tilbudslov fra september 2001 åbnet op for denne problemstilling, idet bygherren ved offentlige og offentligt støttede byggerier ikke længere automatisk skal acceptere laveste bud. Det kan dog diskuteres, hvorvidt denne lempelse gennemtvinger en ændring i entreprenørernes tilbudsstrategi. Denne diskussion falder dog udenfor temaet i dette Paper.

Transformationskonceptet har i byggeriet betydet en meget stram kontraktstyring, idet byggeriet grundlæggende kan opfattes som en bearbejdningsproces, hvor materialer skifter form for herigennem gradvist at øge deres værdi. Gennem denne bearbejdning, håndværket, omsættes bygherrens ønsker til et konkret produkt. Flere i byggebranchen, bl.a. [Bertelsen, 2001 (a)] har fremsat eksempler på, at byggeledelse snarere er kontraktstyring end egentlig ledelse af produktionen.

I praksis kommer kontraktstyringen jf. [Koskela, 2000] til udtryk i udførelsesfasen ved, at underentreprenørerne i stor udstrækning er overladt til sig selv, så længe den overordnede tidsplan ikke overskrides, dvs. så længe den kritiske vej overholdes, således at de kritiske aktiviteter færdiggøres tidsmæssigt. Samme forhold gælder de enkelte sjak

på byggepladsen, der i stor udstrækning selv planlægger deres arbejde på baggrund af en indgået akkord.

Usikkerhederne knyttet til gennemførelsen af de enkelte arbejdsopgaver behandles sjældent, idet de falder imellem to ”interesseområder”. Hovedentreprenøren henholder sig til den indgåede kontrakt med underentreprenøren, og forlanger således at underentreprenøren overholder de i kontrakten indgåede betingelser. Underentreprenøren har på den anden side ikke overblikket til at gennemskue interaktionen mellem de enkelte underentreprenørers arbejde og de heraf fremkomne usikkerheder mht. eksempelvis foregående arbejders færdiggørelse, leveringer, fysisk udnyttelse af byggepladsens areal osv.

I forhold til at betragte byggeriet ud fra transformationssynsvinklen skal det påpeges, at når bearbejdningsprocessen nedbrydes til de enkelte arbejdsopgaver, dvs. de opgaver mandskabet på byggepladsen skal udføre, bliver transformationskonceptet utilstrækkeligt, idet måling af de enkelte arbejdsopgaver effektivitet forudsætter, at byggeriet også betragtes som flow og som værende værdiskabende. Dette gennemgås efterfølgende.

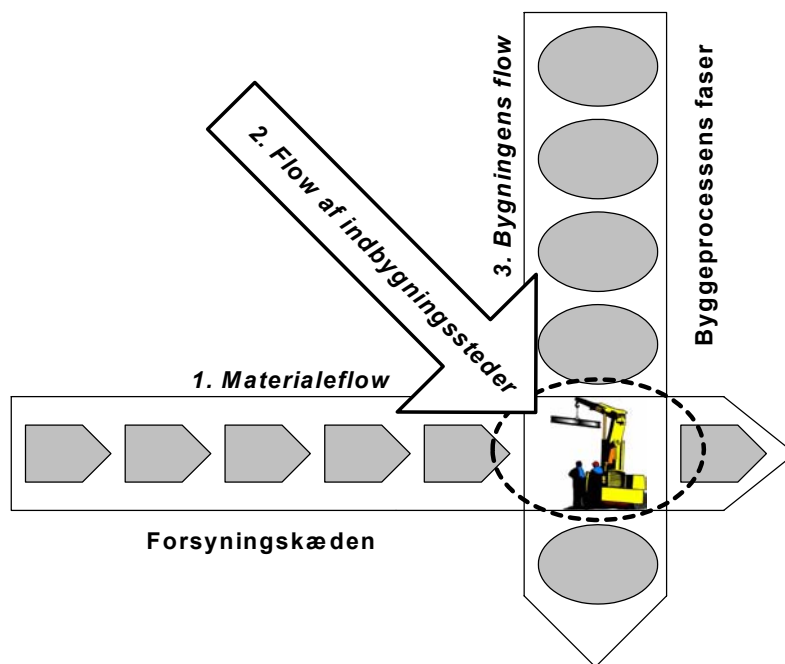
#### **2.4.2 Byggeriets flow**

De tre karakteristika for byggeri - ”one-of-a-kind” produkter udført på stedet i varierende samarbejder - spiller en stor rolle for flowtankegangen i byggeproduktion modsat fremstillingsindustrien. ”One-of-a-kind” produkter nødvendiggør, at projekteringen (produktudviklingen) må inddrages i konceptet. At produktionen foregår på stedet influerer på selve montagen og oprettelsen af midlertidige projektorganisationer medfører yderligere koordineringsopgaver internt i organisationen.

Koskela [Koskela, 2000, s. 186] identificerer umiddelbart tre flows i byggeproduktionen, dvs. med reference til processen og dermed ikke at forveksle med de syv strømme, henholdsvis:

1. Materialeflow: Flow af materialer i forsyningskæden fra producent til indbygning i det endelige produkt på byggepladsen.
2. Flow af ”indbygningssteder”: Internt flow i produktet (eksempelvis en etageejendom), der på grund af størrelsen nødvendiggør, at alle ”indbygningsstederne” passerer forbi en arbejdsstation (et sjak). I praksis betyder det blot, at de forskellige sjak bevæger sig rundt i bygningen til de enkelte ”indbygningssteder”, som fx når malersjakket går fra rum til rum og maler.
3. Bygningens flow: Bygningens primære flow gennem de forskellige monteringsfaser. Hermed menes den gradvise opførelse af bygningen.

Disse tre forskellige flows kan umiddelbart identificeres i forhold til Fredrik Frieblicks model for informationsflowet i forbindelse med byggelogistik, som vist i Figur 2-5.



Figur 2-5: Fredrik Frieblicks model for informationsflow [Olsson, 2000].

Materialeflowet er i Figur 2-5 illustreret netop gennem forsyningskæden, der forsyner byggepladsen med de nødvendige materialer fra leverandørerne. Flow af indbygningssteder, fremgår derimod ikke tydeligt at Figur 2-5, men er at finde i udførelsesfasen, dvs. i skæringspunktet mellem de to kæder. Bygningens flow er vist i faseforløbet for byggeprocessen. Fredrik Frieblicks model er yderligere beskrevet i [Kristensen & Nielsen, 2001 (c) Afsnit 2.2.2].

For at skabe yderligere forståelse for de tre flows i byggeriet sammenlignes installation af sæder i en bilproduktion med monteringen af vinduer i et byggeri. Sammenligningen er beskrevet i Tabel 2-4. Selve opgaven er medtaget for at lette forståelsen, på trods af, at opgaven udgør en egentlig transformation og dermed ikke et flow.

	Bilproduktion	Byggeplads
1. Materialeflow	Et sæde samles på sædefabrikken, transporteres til bilfabrikken, transporteres til arbejdsstationen og monteres.	Et vindue samles på vinduesfabrikken, transporteres til byggepladsen, transporteres til indbygningsstedet og indbygges.
Opgaven	Sædemontøren monterer sædet ved sin arbejdsstation i en bil.	Vinduesmontørerne monterer et (eller flere) vindue i en vinduesåbning.
2. Flow af ”indbygningssteder”	Samme som ovenstående (et sæde monteres i en bil som en opgave ved arbejdsstationen).	Alle vinduesåbninger gennemgår vinduesmontørernes arbejdsstation (i praksis bevæger montageholdet sig gennem bygningen).
3. Monteringsflow	Bilens karosseri bevæger sig gennem alle arbejdsstationerne i bilfabrikken.	Bygningen gennemgår alle monteringsfaserne.

Tabel 2-4: Sammenligning af bilproduktion og en byggeplads, her eksemplificeret ved henholdsvis montering af et bilsæde og et vindue. Opgaven er medtaget for overskuelighedens skyld på trods af at opgaven er en transformation og altså ikke et flow. Frit oversat efter [Koskela, 2000, s. 186].

Efterfølgende gennemgås kort de tre flows i ovennævnte rækkefølge.

### **Materialeflow**

Materialeflowet i forsyningskæden fra råvareproducent til endelig levering på byggepladsen kan tilsyneladende sidestilles med traditionel fremstillingsindustri. Der kan dog identificeres to afgørende forskelle hidrørende fra byggeriets tre karakteristika. For det første er ordrerne ofte mangelfulde og ustabile, og for det andet skal produkterne leveres til midlertidige produktionssteder uden permanente faciliteter i forbindelse med varemodtagelsen [Leikas, 1994].

Muligheden for anvendelse af SCM<sup>9</sup> i byggeriet er undersøgt i [Olsson, 2000], hvilket bl.a. har medført udviklingen af modellen vist i Figur 2-5. Generelt kan byggeriets formål med SCM ifølge [Koskela 2000, s. 192-193] karakteriseres på følgende tre områder:

1. Fokus på selve forsyningskæden mhp. at reducere omkostninger, gennemløbstider og lagre.
2. Fokus på forsyningskædens indblanding i byggeproduktionen, herunder pålidelighed af leverancer mv.
3. Fokus på undersøgelse af muligheden for yderligere ”industrialisering” af produktionen på byggepladsen, eksempelvis ved anvendelse af præfabrikerede produkter.

Disse forhold gennemgås ikke yderligere.

### **Flow af ”indbygningssteder”**

Indbygningsstedernes flow, dvs. de forskellige håndværkere og montørers bevægelse gennem byggeriet, knytter sig til udførelsen af de enkelte opgaver (transformationerne). I den forbindelse identificeres, jf. Afsnit 1.6, 7 strømme, eller betingelser der skal være opfyldt for at garantere transformationens succes [Koskela, 2000, s. 188]. De syv strømme er også anvendt i forbindelse med Temagruppe 4’s udviklingsarbejde under Projekt Hus [Temagruppe 4, 2000, s. 39]. De 7 strømme fremgår af Figur 1-1.

Til at illustrere usikkerheden kan følgende regnestykke anvendes. Såfremt følgende forudsættes:

- Hver af de 7 strømme (plads, forudgående arbejde, ydre forhold, materiellet, materialerne, mandskabet og informationerne) skal være opfyldt for at opnå et optimalt output fra transformationen.
- De syv strømme er indbyrdes uafhængige.
- Der er 5% usikkerhed på hver af de syv forudsætninger, og dermed 95% sandsynlighed for, at de hver især er opfyldt.

Sandsynligheden for, at den aktuelle arbejdsopgaves output er optimalt i forhold til den efterfølgende arbejdsopgave, beregnes til:  $(0,95)^7 = 0,70$ , dvs. 70% sandsynlighed for et

---

<sup>9</sup> Supply Chain Management, hovedprincipperne bag er bl.a. beskrevet i [Kristensen & Nielsen, 2001 (c), Bilag A-2].

optimalt input til den efterfølgende arbejdsopgave. Såfremt to parallelle arbejdsopgavers output er input til en tredje arbejdsopgave, vil sandsynligheden for et optimalt output fra den tredje arbejdsopgave være:  $(0,7 \cdot 0,7 \cdot 0,95^6) \cdot 100\% \cong 36\%$ .

På baggrund af ovenstående opstilles fire generelle forhold for byggeproduktion:

1. Konstruktionen af et bygværk består af monteringsopgaver, der alle forudsætter opfyldelsen af de syv strømme, hvorfor netop denne styring er central for byggeledelsen, dvs. realiseringen af de enkelte arbejdsopgaver er afhængig af de syv strømme. Tilsvarende er udviklingen af strømmene afhængig af opgaverne (foregående arbejder skal være afsluttede), hvilket skaber indbyrdes afhængighed og derved øger kompleksiteten af styringsopgaven.
2. Byggeproduktion kan betegnes som en prototype produktion. Formålet med prototyper er normalt at opdage fejl i designet og produktionsplanerne. Dette indikerer, at tegninger og produktionsplaner er den hyppigste årsag til konstruktionsfejl.
3. I fremstillingsindustrien kan et emne fysisk kun befinde sig i en arbejdsstation, i modsætning til byggeproduktion, hvor forskellige montører (arbejdsstationer) kan befinde sig i samme rum. Dette øger risikoen for kødannelser, idet der i byggeriet kan dannes kø i to dimensioner, henholdsvis i "arbejdsstationen" (rum står tomme og venter på bearbejdning) og produktet (for mange arbejdsstationer i samme rum), hvorimod der i fremstillingsindustrien "kun" kan dannes kø i en dimension – arbejdsstationen, dvs. materialer ligger i kø og venter på bearbejdning.
4. Opgaver udføres ofte uden, at de 7 strømme nævnt ovenfor er 100% opfyldt. Dette gøres for at undgå stilstand i arbejdet. Det betyder imidlertid, at produktionen er mindre effektiv.

Disse suboptimale forhold har tidligere ifølge [Ballard, 1998], [Jensen, 1997] og [Josephson, 1994] medført følgende karakteristik af byggeproduktion:

*"...congestion, out-of-sequence work, multiple stops and starts, inability to do detailed planning in advance, obstruction due to stocks of materials, trying to cope without the most suitable equipment for the task (due lack of planning and preparation), interruptions due to lack of materials, tools or instruction, overtime oversizing of the crew."*

Det er bl.a. disse fænomener, der søges en metodisk indgangsvinkel til at løse gennem arbejdet i Lean Construction Institute med "The Last Planner System", som gennemgås i Afsnit 5.

### **Bygningens flow**

Med bygningens flow menes bygningens gradvise bevægelse og færdiggørelse gennem de forskellige byggefaser, der slutteligt ender i det komplette bygværk. Det primære mål med styring af dette flow er at mindske den samlede byggetid. Der er i bl.a. i forbindelse med forskningen på Lean Construction Institute og gennem udviklingsprojekter i England [CBPP, 2001] undersøgt, hvorvidt der er mulighed for at anvende principperne bag Concurrent Engineering og Fast Tracking i byggeprojekter. De to produktionsfilosofier

sofiers formål er primært gennem overlap af design- og udførelsesopgaver at opnå tidsbesparelser.

En teoretisk, om end simpel tilgang til beskrivelse af den totale tid for opførelsen af et bygværk er givet ved følgende udtryk [Peer, 1974]:

$$T = b(n-1) + t$$

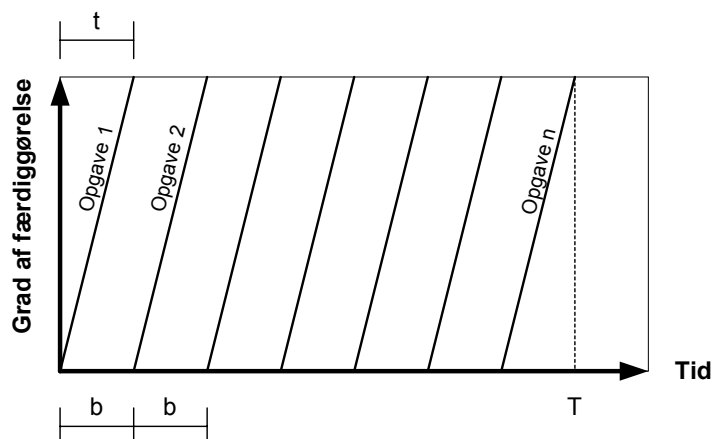
T er den totale opførelsestid.

b er tidsbufferen imellem opstarten af to på hinanden følgende opgaver på den kritiske vej.

n er antallet af opgaver i det givne projekt.

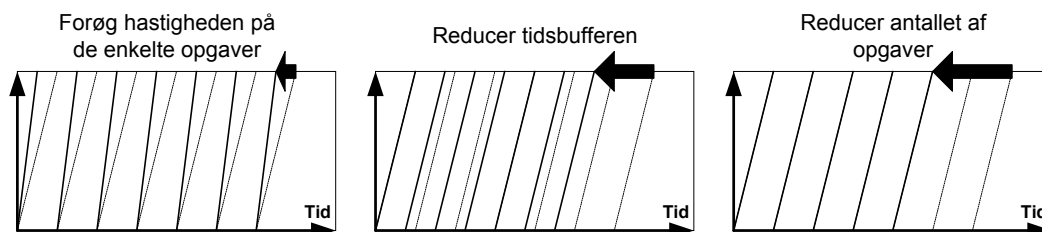
t er varigheden af opgaverne.

Det skal bemærkes, at i praksis varierer tiden, der medgår til de forskellige opgaver og ligeledes varierer tidsbufferen mellem opgaverne. Desuden er der i formlen forudsat en seriel udførelse af opgaverne, hvilket sjældent stemmer overens med virkeligheden. Alligevel kan udtrykket dog anvendes som forklaring af tre forskellige teoretiske muligheder for tidsreduktion i forbindelse med udførelsen af et byggeri. Skematisk kan udtrykket afbilledes, som vist i Figur 2-6.



Figur 2-6: Skematisk oversigt over tidsforbrug under udførelsen, oversat efter [Laurikka, 1995, s. 226].

De tre primære måder at reducere det samlede tidsforbrug på er tilsvarende illustreret i Figur 2-7.



Figur 2-7: Tre teoretiske alternativer til tidsreduktion i udførelsesfasen, oversat efter [Laurikka, 1995, s. 227].

Det skal understreges, at de tre alternativer præsenteret i Figur 2-7 er forholdsvis begrænsede, idet de bygger på den skematiske og simple opfattelse af udførelsesfasen, som er vist i Figur 2-6. De tre alternativer har dog deres berettigelse i deres overordnede indgang til tidsreduktion, idet de repræsenterer tre forskellige fokusområder, hvilke kort beskrives efterfølgende:

1. Forøg hastigheden på de enkelte opgaver: At øge hastigheden på de enkelte opgaver har en naturlig begrænsning bl.a. i den kapacitet (maskiner, mandskab, pladsforhold osv.) der rådes over. En anden indgangsvinkel til forøgelse af hastigheden er at fjerne spildet fra produktionen. Casestudiet hos Skanska viste, at spildet i forbindelse med elementmontagen androg ca. 39% af det samlede tidsforbrug, hvilket indikerer plads/behov for forandringer [Kristensen & Nielsen, 2001 (a)].
2. Reducer tidsbufferen: Tidsbufferen imellem påbegyndelse af de enkelte opgaver tjener til at mindske variationerne fra de foregående opgaver. Disse variationer knytter sig især til de 7 strømme beskrevet i Afsnit 2.4.2. Dvs., at en forudsætning for reduktion af tidsbufferen mellem opgaverne er en tilsvarende reduktion i fluktuationerne i de 7 strømme, hvilket umiddelbart kræver mere detaljeret planlægning og overvågning.
3. Reducer antallet af opgaver: Umiddelbart kan dette opnås gennem større industrialisering af opgaverne (præfabrikation), hvilket i praksis betyder, at en større del af tilvirkningen af byggematerialer foregår under ordnede forhold på fabrikker inden levering til byggepladsen. Dette gælder alle produkter fra eksempelvis på forhånd udskårne gipsplader til levering af vindues-units med huller og skruer eller præfabrikerede badekabiner. En anden mulighed er at sikre en høj bygbarhed<sup>10</sup> gennem projekteringen af bygningsdelene og eventuelt anvende multisjak, hvilket bl.a. er forsøgt i Projekt Renovering [Kristensen & Nielsen, 2001 (c)].

Det er dog ikke så ligetil umiddelbart at reducere tidsforbruget i byggesagen. I praksis forsøges en sådan reduktion ofte opnået gennem en reduceret planlægningstid, hvilket ifølge [Laurikka, 1995] ofte medfører det modsatte, nemlig forøgelse af udførelsestiden. Ligeledes vil der ved en beskåret planlægning opstå større risiko for fejlproduktion.

Der er desuden ifølge [Laurikka, 1995] to praktiske problemstillinger forbundet med reduktion af tidsforbruget, nemlig:

1. At det stigende antal af underentreprenører på pladsen betyder, at totalentreprenøren (eller bygherren i tilfælde af fagentreprise og delvist også hovedentreprise) gradvist mister kontrollen over de enkelte opgaver i udførelsesfasen.
2. At variationerne i eksempelvis de 7 strømme med stor sandsynlighed vil stige under et øget tidspres.

Der kan muligvis findes flere praktiske problemstillinger, der hindrer en umiddelbar tidsreduktion for bygningens flow gennem de forskellige byggefaser, men dette udledes her.

---

<sup>10</sup> Af engelsk "Constructability", hvilket er et udtryk for, hvorvidt noget praktisk kan bygges eller ej. På dansk findes ikke et tilsvarende ord, dog er det her forsøgt oversat med "bygbarhed".

### **Opsamling på byggeriets flow**

Det er i det ovenstående vist, at byggeriets tre karakteristika - ”one-of-a-kind” produkter udført på stedet i varierende samarbejder - har stor betydning for beskrivelsen af byggeriets flow sammenlignet med fremstillingsindustrien. Eksempelvis eksisterer der i byggeriet tre forskellige flows modsat de to flows i fremstillingsindustrien, hvilket er udtrykt i, at et arbejdssted i et byggeri samtidig kan befinde sig på flere arbejdsstationer, eksemplificeret i at flere forskellige håndværkere kan arbejde i samme rum på samme tid, hvilket øger risikoen for kødannelser.

Desuden er det vist, at udførelsesfasen nærmest må betegnes som værende kaotisk, idet en opgave er afhængig af i alt 7 strømme. Det bliver derfor selv med små variationer hurtigt umuligt at forudsige outputtet fra på hinanden følgende opgaver.

Koskela giver tre bud (”penalties”) på optimering af styringen af byggeproduktionen [Koskela, 2000, s. 196]:

1. Oplagring af flows, for derved at opnå en reduktion i variationerne.
2. Nedsættelse af udnyttelsesgraden af ressourcerne.
3. Tabt produktion pga. suboptimale produktionsbetingelser.

Af de tre alternativer bør den, der i en given situation forårsager det mindste tab, vælges.

En optimering af byggeledelsen er en forudsætning for efterfølgende effektivitetsforbedringer, og for at drage en parallel til udviklingen i produktionskoncepter, der er beskrevet i [Kristensen & Nielsen, 2001 (c)], der i høj grad er blevet drevet af fremstillingsindustrien, og i særdeleshed bilindustrien, er det nødvendigt at forstå, at byggeprocessen grundlæggende er anderledes, hvorfor den kræver tilpasning. På samme vis kan det umiddelbart virke som et skridt tilbage, at vælge imellem et af Koskelas tre alternativer, men det er udelukkende et udtryk for, at byggeriet grundlæggende har meget svært ved at styre byggeprocessen vha. de nuværende ledelsessystemer, der i stor udstrækning alle bunder i transformationstankegangen alene. Koskela anser altså de tre alternativer som en metode til med tiden at opnå større effektivitet i byggeriet gennem en pålidelig ledelse og planlægning.

Efterfølgende gennemgås byggeriet som værdiskaber, hvilket er det tredje og sidste af de overordnede produktionskoncepter.

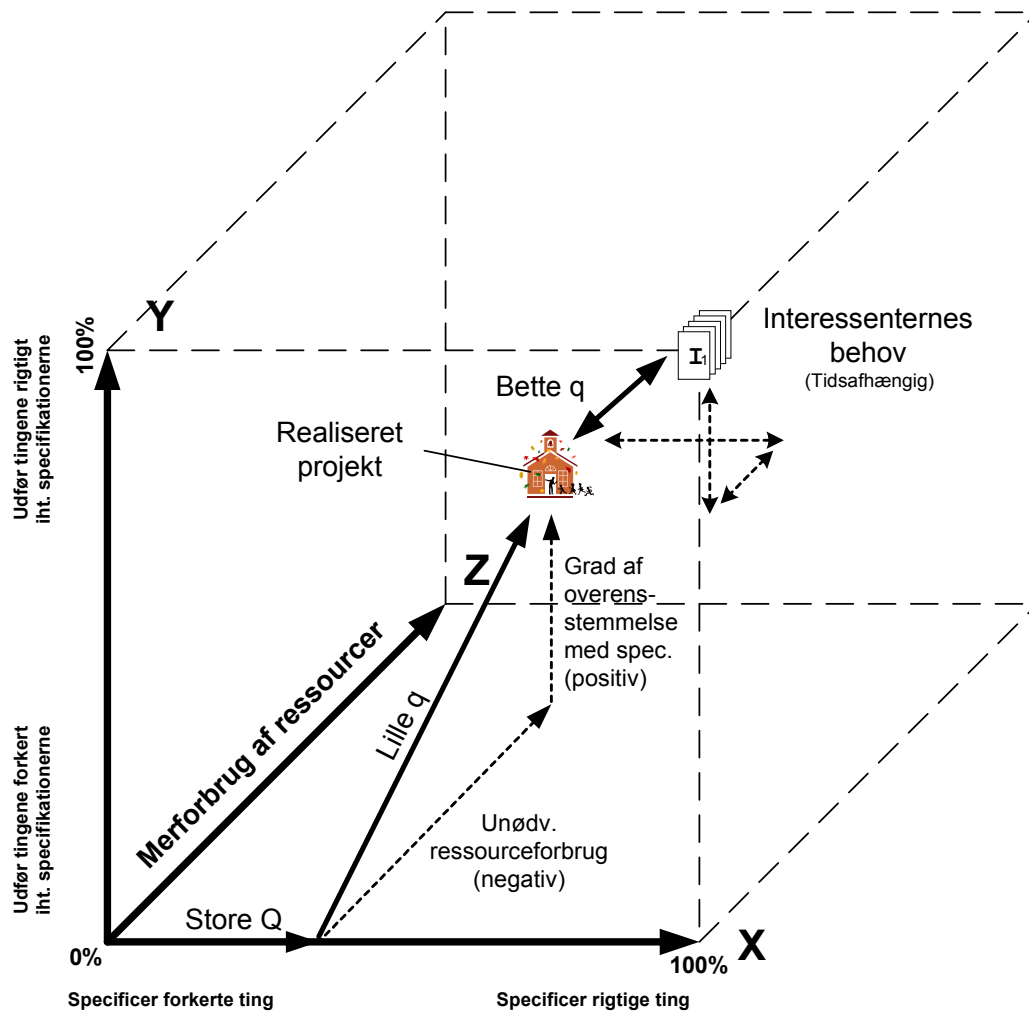
#### **2.4.3 Byggeriets værdi**

Byggeriet som værdiskaber, både i forhold til eksterne kunder – bygherren – og i forhold til interne ”kunder” – de næste i byggefasen – er den senest anerkendte parameter i forståelsen af byggeprocessen. At betragte byggeriets værdi udskiller sig især på ét afgørende punkt fra transformations- og flowtankegangen; værdi er af subjektiv karakter, og kan derfor ikke måles objektivt.

Forståelsen af værdibegrebet i byggeriet kan ifølge diskussionen af byggeriets effektivitet i [Kristensen & Nielsen, 2001 (b), Afsnit 4.1] tage udgangspunkt i begreberne, Store Q, lille q og ”bette” q. Begreberne defineres således:

- **Store Q:** Udtrykker hvorvidt projektspecifikationerne er komplette, dvs. at tegninger, beskrivelser, aftaler mv. på fuldstændig vis udtrykker interessenternes behov – bevidste som ubevidste. Store Q er dermed et mål for den ydre effektivitet.
- **Lille q:** Udtrykker hvorvidt det realiserede produkt er fremstillet uden merforbrug af ressourcer i forhold til det optimale ressourceforbrug, og desuden hvorvidt produktet er korrekt fremstillet i overensstemmelse med projektspecifikationerne. Lille q er et mål for den indre effektivitet.
- **”Bette” q:** Udtrykker gabet mellem det realiserede projekt og interessenternes behov.

Den totale effektivitet i et byggeprojekt, diskuteret i [Kristensen & Nielsen, 2001 (b), Afsnit 4] er vist i Figur 2-8.



Figur 2-8: Billede af den totale effektivitet i et byggeprojekt, den totale effektivitet udgøres af summen af den indre effektivitet (Z-Y planet) og den ydre effektivitet (X-aksen) [Kristensen & Nielsen, 2001 (b)].

Store Q afbildes i 1 dimension (den ydre effektivitet), lille q afbildes i 2 dimensioner (den indre effektivitet), imens ”bette” q, der udtrykker gabet mellem dels den indre og

den ydre effektivitet i projektet og dels interessenternes behov, afbilledes i 3 dimensioner.

Koskela antyder fem områder, der grundet byggeriets tre grundlæggende karakteristika besværliggør overførelse af principperne bag værdistyring fra fremstillingsindustrien til byggeriet [Koskela, 2000, s. 206]. Værdistyringsprincipperne er kort introduceret i Af-snit 2.1.3. Nogle af de problemstillinger, der bør overvejes i forbindelse med værdistyring i byggeprocessen gennemgås kort herunder:

1. Kravfastlæggelsen besværliggøres af, at bygherrerne ofte er urutinerede og kun besidder en begrænset forståelse for vigtigheden af præcise formuleringer af projektets specifikationer. Samtidig er det bygherren, der styrer byggeprocessen i den indledende fase.
2. Overdragelse af kravspecifikationer vanskeliggøres af de midlertidige organisationer (herunder midlertidige forretningsgange).
3. Klarlægning af kundens forskellige roller, henholdsvis ejer, bruger, udlejer mv. vanskeliggøres af den organisatoriske kompleksitet (bygherren er måske ikke den samme som brugeren), samt fremsynetheden i forhold til, hvad bygværkets funktion vil være 10-20 år efter afleveringen.
4. Sikring af, at produktionssystemets kapabilitet er tilstrækkelig, vanskeliggøres af de mange aktører og de midlertidige organisationer.
5. Det har lille interesse for ”engangs-bygherren” at lave egentlige overordnede effektivitetsmålinger på byggeprojektet.

## 2.5 Diskussion af TFV teorien

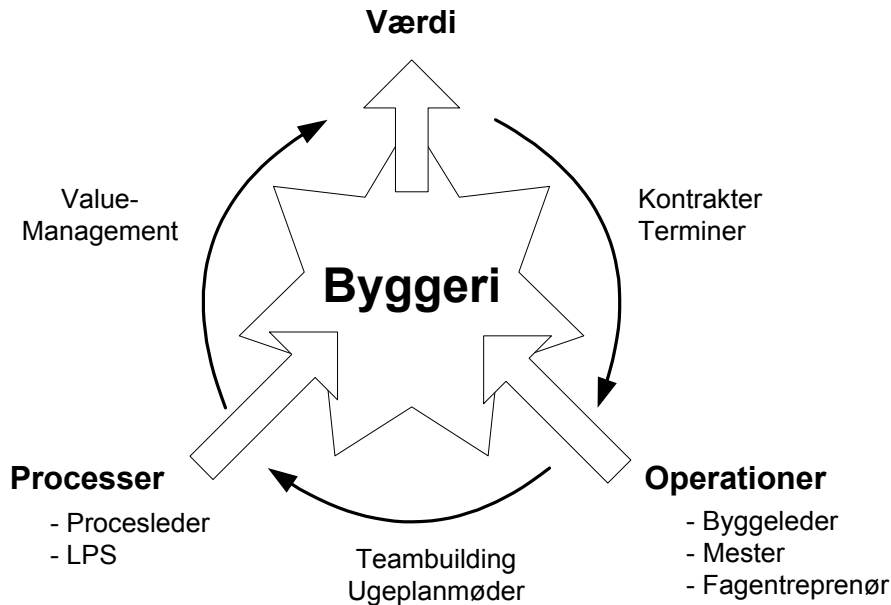
Den ovenstående redegørelse er i udstrakt grad baseret på Lauri Koskelas fortolkning og teoriudvikling. Det er imidlertid særdeles vigtigt at være opmærksom på den anvendte terminologi og begrebsdannelse for at undgå misforståelser ved anvendelse af TFV teorien til udvikling af værktøjer til styring af byggeprocessen, herunder de forskellige flows, der optræder.

Især kan definitionen af transformationer og flows være umiddelbar svær at overføre til byggebranchen, hvor der som udgangspunkt ofte er skarpe skel mellem de forskellige aktørers fagområder. Af hensyn til den nuværende organisering, hvor eksempelvis fagentreprenørerne i nogen grad selv er ansvarlige for planlægningen af deres eget arbejde, kvalitetssikring, afkald af egne materialer, klargøring af materiel osv., kan det hævdes, at Shingo’s fortolkning af produktionen passer bedre på den reelle arbejdsfordeling i byggeriet. I Shingo’s fortolkning, forstås produktionen som henholdsvis *operationer* (hvad mennesker og maskiner gør ved produktet) og *processer* (produktets forløb fra råmaterialer til slutprodukt gennem de forskellige produktionsfaser).

I Koskelas fortolkning udgør transformationerne dermed en delmængde af operationerne, nemlig de værdiskabende aktiviteter – eksempelvis montering af eltavler. I praksis kan det hævdes, at Shingo’s definition af operationer dermed er mere dækkende for de arbejdsopgaver der udføres af de enkelte fagentreprenører da disse også er ansvarlige for arbejdsopgaver, der ikke per definition er transformationer. Som eksempel kan nævnes afkald af eltavlerne og den efterfølgende afprøvning af tavlerne, der ifølge [Womack, 1996] er spild om end arbejdsopgaverne er nødvendige.

Omvendt kan Shingo's processer opfattes som en delmængde af Koskela's flows, idet Shingo's processer udelukkende refererer til den gradvise færdiggørelse af bygværket, imens Koskela's flows endvidere omfatter de interne strømme mellem de enkelte transformationer, altså de 7 strømme.

Sven Bertelsen har bl.a. gennem sit arbejde i temagruppe 4, Projekt Hus, opstillet sammenhængen vist i Figur 2-9 mellem Shingo's operationer og processer samt byggeriets værdi.



*Figur 2-9: Forståelsesramme for den organisatorisk sammenhæng mellem Shingo's operationer og processer og dansk byggeri, frit efter Sven Bertelsen.*

Figur 2-9 viser, at værdien fastlægges gennem en kravspecifikation, der udmøntes i udarbejdelsen af kontrakter og fastsættelse af terminer for byggeriet. På baggrund af de indgåede kontrakter planlægger håndværksmestrene og byggelederen de enkelte operationer, der symbolsk kan opfattes som murstenene i det færdige bygværk. Mørtlen (processerne), der binder murstenene (operationerne) sammen udgøres bl.a. af de ugentlige koordineringsmøder, der netop er en af grundstenene i "The Last Planner System", og som sikrer bygningens forvandling fra råmaterialer til endeligt bygværk. Under arbejdet i Temagruppe 4 anvendes betegnelsen procesleder om personen, der koordinerer disse møder og derudover er ansvarlig for den egentlige produktionsproces, hvilket ligeledes er angivet på Figur 2-9. Via en aktiv værdiledelse, hvor eventuelle korrektioner indarbejdes sikres det, at bygværket efterhånden, som det færdiggøres, opfylder bygherrens krav.

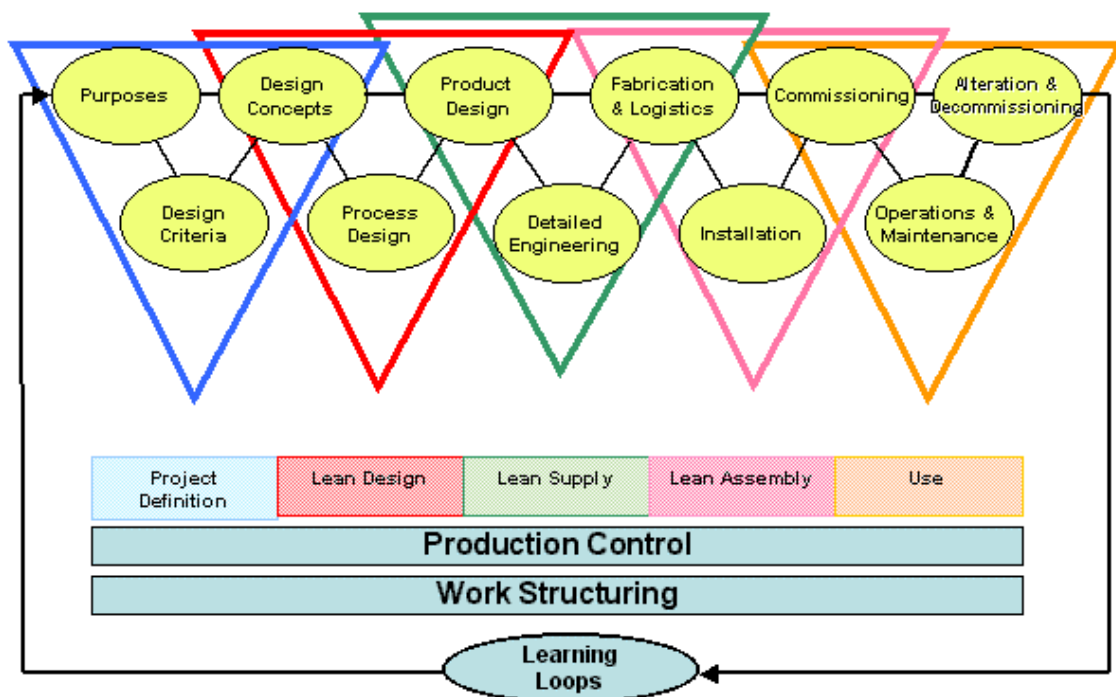
I forhold til Koskelas fortolkning af produktion giver Figur 2-9 ikke megen mening, idet de enkelte transformationer og flows ikke entydigt kan deles op i forhold til de enkelte aktører. Dog synliggøres i Koskelas fortolkning i større grad, hvilke aktiviteter, der er værdiskabende og hvilke der ikke er. Dette er en force i forhold til lean tankegangen, hvor et af målene netop er at fjerne spildet (de ikke værdiskabende aktiviteter).

I det efterfølgende redegøres kort for sammenhængen mellem TFV teorien og initiativerne i Lean Construction, idet det bl.a. er Koskelas begrebsdannelse komplementeret af Shingo's produktionsopfattelse, der ligger til grund for de hidtidige udviklede værktøjer indenfor Lean Construction.

## 2.6 Sammenhæng mellem TFV teorien og Lean Construction

TFV teorien er gradvist blevet udviklet af Lauri Koskela siden 1992, hvor rapporten *"Application of the New Production Philosophy to Construction"* blev udgivet. Denne rapport sandsynliggør, at byggeriet gennem udvikling af TFV teorien kan opnå en bedre styring af byggeriets processer og dermed større effektivitet.

Igennem en årrække har der i fremstillingsindustrien været fokus på bedre styring af de forskellige strømme, der medgår både i produktionen og i administrationen. Eksempelvis satte udviklingen af produktionskonceptet Lean Production, beskrevet i [Womack, 1990] og [Womack 1996], dagsordenen for en floworienteret tankegang. Dette gav sig indenfor byggebranchen i USA udslag i oprettelsen af LCI, jf. Afsnit 1.5. Arbejdet i LCI har foruden inddragelsen af flowtankegangen desuden adresseret kontaktfladerne mellem de traditionelle byggefaser, da det netop er i disse kontaktflader projektets samlede værdigenering hindres. LCI's aktiviteter tager derfor udgangspunkt i udviklingen af et samlet system til levering af projekter, der er funderet i TFV teorien – Lean Project Delivery System, vist i Figur 2-10.



Figur 2-10: The Lean Project Delivery System (LPDS), [LCI, 2002].

Fasemodellen er opbygget af triangler, der illustrerer overlappningen mellem de enkelte faser i byggeprocessen. Formålet med LPDS er at strukturere byggeprocessen, således at den efterlever idealerne i Lean tankegangen, udtrykt ved at levere et produkt der opfylder kundens behov straks og uden spild. Grundlaget, for at projektet genererer værdi

for henholdsvis kunden men også de øvrige interessenter, etableres vha. dialog i den første fase - *Project Definition* – mellem fasens aktører og parter der senere skal involveres i projektet. Opstilling og rangering af interessenternes værdier, designkonceptet samt kriterierne muliggør overgangen til næste fase – *Lean Design*. I design fasen udvikles og overvejes forskellige alternativer til realisering af projektet. De enkelte alternativer sammenholdes med de i den forgående faser værdiparametre. Den endelige fastlæggelse af de enkelte alternativer foretages senest muligt (*last responsible moment*), således at der sikres størst mulig tid til at afprøve og undersøge de enkelte konstruktionsalternativer. Det detaljerede design af de enkelte elementer, der indgår i byggeriet, foregår efterfølgende i fasen *Lean Supply*. Overgangen til udførelsesfasen er ikke tidsbestemt, idet udførelsen ofte påbegyndes inden alle konstruktionselementerne er designet. Bindeledet mellem den detaljerede designfase og udførelsesfasen er vist i Figur 2-10 som ”Fabrication & Logistics”. Den endelige udførelse afsluttes med overdragelse af projektet til kunden, hvorefter produktet er klar til brug.

Det samlede ledelsessystem, der skal understøtte den samlede byggeproces er i Figur 2-10 opdelt i to hovedelementer, henholdsvis produktionsstyring (Production Control) og planlægning af arbejdet (Work Structuring). Produktionsstyringen i LPDS adresserer to forskellige elementer, henholdsvis styring af et stabilt arbejdsforløb gennem hele projektperioden samt styring af de enkelte produktionsenheder (Production Units). Et af de mest anvendte systemer, der dog hidtil primært har fundet anvendelse i forbindelse med udførelsesfasen til at øge pålideligheden af arbejdsforløbet, er ”*The Last Planner System of Production Control*” (LPS), der beskrives nærmere i Kapitel 5. Det er imidlertid vigtigt, at konstatere, at LPS netop tager konsekvensen af den hidtidige negligering af flowenes betydning for udførelsen, ved at indføre buffere, både hvad angår ressource- og opgavebuffere. Ved opgavebuffere forstås oprettelsen af et ”joblager”, med jobs der umiddelbart kan udføres, såfremt der er ledig kapacitet. Det bør bemærkes, at dette forhold strider imod principperne i flere anerkendte produktionsfilosofier udviklet til fremstillingsindustrien, eksempelvis kan nævnes JIT og Lean Production.

LPS er dog af bl.a. Koskela blevet kritiseret for ikke at indeholde en indbyrdes vurdering af de tre ”penalties”, gennemgået i Afsnit 2.4.2, i forhold til omkostninger. De tre ”penalties” er henholdsvis:

1. Oplagring af flows, for derved at opnå en reduktion i variationerne.
2. Nedsættelse af udnyttelsesgraden af ressourcerne.
3. Tabt produktion pga. suboptimale produktionsbetingelser.

Mindst én af de tre ”penalties” skal ligge til grund for nedbringelse af de syv strømme fluktuationer for herigennem at opnå en større effektivitet i byggeprocessen. LPS tager uden forbehold udgangspunkt i oplagringen af flows som nøglen til variationsreduktion.

Der kan hertil tilføjes, at det i forbindelse med forsøgsprojektet ”*BYGGELOGISTIK – Materialestyring i byggeprocessen*” fra starten af 1990’erne, er konstateret:

”...at det ikke er udgiften til at oplagre byggematerialerne, der i sig selv er problemet i byggeriet, men derimod styring af alle byggeriets strømme.” [Temagruppe 4, 2000, s. 35]

Dette forhold indikerer, at indgangsvinklen til realiseringen af mere pålidelige strømme primært skal søges gennem opbygning af lagre, i øvrigt i overensstemmelse med udviklingen af LPS.

Det fremgår dog ikke af ovenstående, hvad denne ”udgift til oplagring” indeholder, dvs., at det er uvist, hvorvidt udgifter til brækage, tyveri mm. er medtaget. Samtidig vil forholdet også være afhængigt af den geografiske placering af byggepladsen samt indretningen af denne.

I Afsnit 3 beskrives den overordnede implementeringsstrategi for Lean Construction, der netop tager udgangspunkt i Shingo’s definitioner af processer og operationer.

### **3 Lean Construction – Teori vs. Praksis**

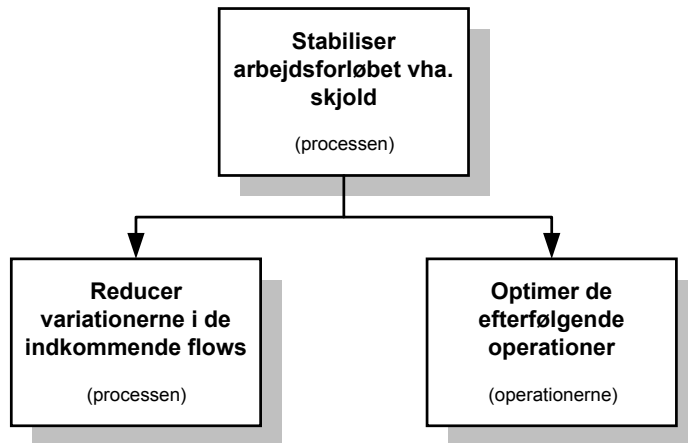
TFV teorien opstiller de grundlæggende forudsætninger for udvikling af et produktionsstyringssystem til byggebranchen. I det efterfølgende redegøres der nærmere for det overordnede tankesæt bag udviklingen. Fokus rettes imod udførelsesfasen, da det er her udviklingen indenfor Lean Construction er startet, og dermed også nået længst.

I forhold til den traditionelle tankegang repræsenteret ved transformationstankegangen skal en effektivisering af byggeprocessen søges gennem en stadig effektivisering af de enkelte arbejdsopgaver, uden hensyntagen til de enkelte arbejdsopgavers indbyrdes afhængigheder. Denne fremgangsmåde har dog vist sig uegnet i forhold til at øge effektiviteten. Dette kommer bl.a. til udtryk gennem dansk byggeris produktivitetstilstand målt over de seneste 30 år, som bl.a. er behandlet i [Kristensen & Nielsen, 2001 (b)].

Tages der udgangspunkt TFV-teorien er det klart, at flowprincipperne i stor udstrækning udgør nøglen til en øget effektivisering, og derfor skal tilgodeses i et produktionsstyringsværktøj udviklet til byggepladsen. Overgangen fra traditionel praksis til en lean byggestyring forklares imidlertid bedst med udgangspunkt i Shingo’s opfattelse af produktion sammenholdt med Fredrik Frieblicks model for byggelogistik. Shingo og Ohno [Ohno, 1988] påpeger yderligere at processerne skal adresseres og afbalanceres førend operationerne effektiviseres.

Dette er i overensstemmelse med fremgangsmåden for implementeringen af Lean Construction, beskrevet i [Ballard, 1994 (a)], [Ballard, 1994 (b)] og [Ballard, 1994 (c)], hvilket ligger til grund for det efterfølgende.

Strategien for implementeringen forholder sig til Shingo’s anvisninger, ved først at søge, at stabilisere arbejdsforløbet, ved at indlægge et ”skjold” omkring byggepladsen, og dernæst at reducere variationerne i de indkommende strømme, dvs. at processerne afbalanceres. Desuden søges at forbedre operationerne indenfor ”skjoldet”, dvs. på byggepladsen. Strategien er vist i Figur 3-1.



Figur 3-1: Strategi for implementering af Lean Construction, oversat fra [Ballard, 1994 (c), s. 124].

Efterfølgende gennemgås de tre elementer enkeltvis.

### 3.1 Stabilisering af arbejdsforløbet

Det første skridt imod at opnå en trimmet byggeplads er at sikre, at arbejdet på byggepladsen kan forløbe jævnt uden afbrydelser fra variationer og usikkerheder knyttet til de foregående faser samt de syv strømme.

Ifølge [Ballard, 1994 (a), s. 104] er en grundlæggende forudsætning for et stabilt arbejdsforløb, at der på det sidste planlægningstrin, dvs. i forbindelse med planlægning af de enkelte arbejdsopgaver umiddelbart før udførelsen, kan opnås en forpligtelse blandt håndværkerne, således at de forpligter sig til at udføre arbejdsopgaverne. Det forudsættes naturligvis, at arbejdsopgaverne skal udføres, og at de er sunde, hvilket i praksis kan sikres ved, at de arbejdsopgaver håndværkerne har mulighed for at forpligte sig til alle kommer fra en opgavebuffer, der udelukkende indeholder sunde opgaver. I praksis har det vist sig effektivt bl.a. grundet usikkerheder forbundet med vejrforholdene, leverancer mv. at operere med en ugentlig arbejdsplan, hvortil der således kan opstilles følgende tre kvalitetskrav:

1. Arbejdsopgaverne udvælges i den rette sekvens i forhold til hinanden.
2. Arbejdsomængden tilpasses i forhold til mandskab, materiel osv.
3. De udvalgte arbejdsopgaver er sunde.

Disse tre punkter gennemgås yderligere i forbindelse med redegørelsen for The Last Planner System, jf. Kapitel 5.

Tilsvarende er det nødvendigt med ressourceagre til at udjævne variationerne i ressourceforsyningen til byggepladsen. Størrelsen samt placeringen af disse lagre skal planlægges nøje i forhold til det enkelte projekts øvrige bindinger, eksempelvis plads.

Den bevidste opretholdelse af lagre strider umiddelbart imod JIT tankegangen, som er gennemgået bl.a. i [Kristensen & Nielsen, 2001 (c)]. Det skal understreges, at lagre naturligvis skal holdes på et minimum, men pga. de variationer, der på nuværende tidspunkt forekommer i eks. materiale- og informationsflows, er det nødvendigt at oprette

lagre/buffere til at udjævne variationerne, der netop er en forudsætning for øget effektivitet i byggeriet. Når først variationerne er under kontrol, dvs. at de ydre påvirkninger på arbejdsforløbet er reduceret, kan bufferne gradvist fjernes.

### **3.2 Reduktion af variationer på indkommende flows**

For til stadighed at kunne reducere lagrene, der sikrer de stabile arbejdsbetingelser, men til gengæld er omkostningsfulde grundet dobbelthåndtering, lagerplads, styring af lageret, opfyldningstid mv., skal årsagerne til variationerne på ressourcestrømmene, der nødvendiggør opretholdelsen af lagre, undersøges. Disse variationer undersøges med henblik på en senere reduktion, således lagrene tilsvarende kan reduceres/elimineres.

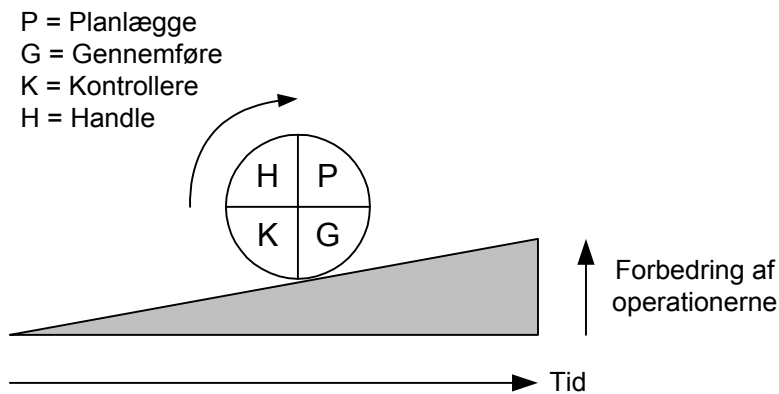
Ifølge [Ballard, 1994 (b)] påpeges, at variationer på indkommende ressourcestrømme i form af materiale- og informationsstrømme mv. kan reduceres ved at stabilisere alle trinene i byggeprocessen fra konceptfasen til afleveringen. Dertil tilføjes, at en øget forståelse blandt byggeriets interessenter for henholdsvis konsekvensen af usikkerheder og variationer samt en gensidig forståelse for hinandens behov gennem hele byggeprocessen ligeledes er en nødvendighed for at opnå en reduktion i de forskellige strømmes variationer.

### **3.3 Optimering af operationerne**

Efter at selve byggeprocessen er blevet afbalanceret i forhold til at oprette skjoldet samt reducere variationerne på de indkommende ressourcestrømme kan opmærksomheden nu rettes imod operationerne. Faktisk kan dette gøres parallelt med undersøgelsen af de indkommende ressourcestrømme, idet skjoldet som beskrevet afskærmer selve produktionen.

En generel forudsætning for en optimering af operationerne er, at det nederste niveau af planer, dvs. de planer, der foreligger umiddelbart forud for arbejdets udførelse, overholdes. Disse planer kan således fungere som en indikator for det udførte arbejde, og der kan ved svigt i planerne foretages årsags-virkningsanalyser. Identifikation af de grundlæggende årsager til forstyrrelser af arbejdsgangen kan ifølge [Ballard, 1994 (c), s. 118] sammenlignes med fremstillingsindustriens standsning af transportbåndet i det øjeblik en fejl identificeres. Især Toyota har med deres *Toyota Production System* praktiseret metoden til systematisk fjernelse af fejlårsager, og derved opnået forbedringer af operationerne.

Ændringer af selve arbejdsmetoden, dvs. den metode der ligger til grund for en given operation, kræver en grundigere analyse af operationen. En anerkendt fremgangsmåde til ændring af arbejdsmetoderne er Deming-Cirklen, jf. Figur 3-2, oprindeligt udviklet af amerikaneren W. Edward Deming i forbindelse med kvalitetsstyring.

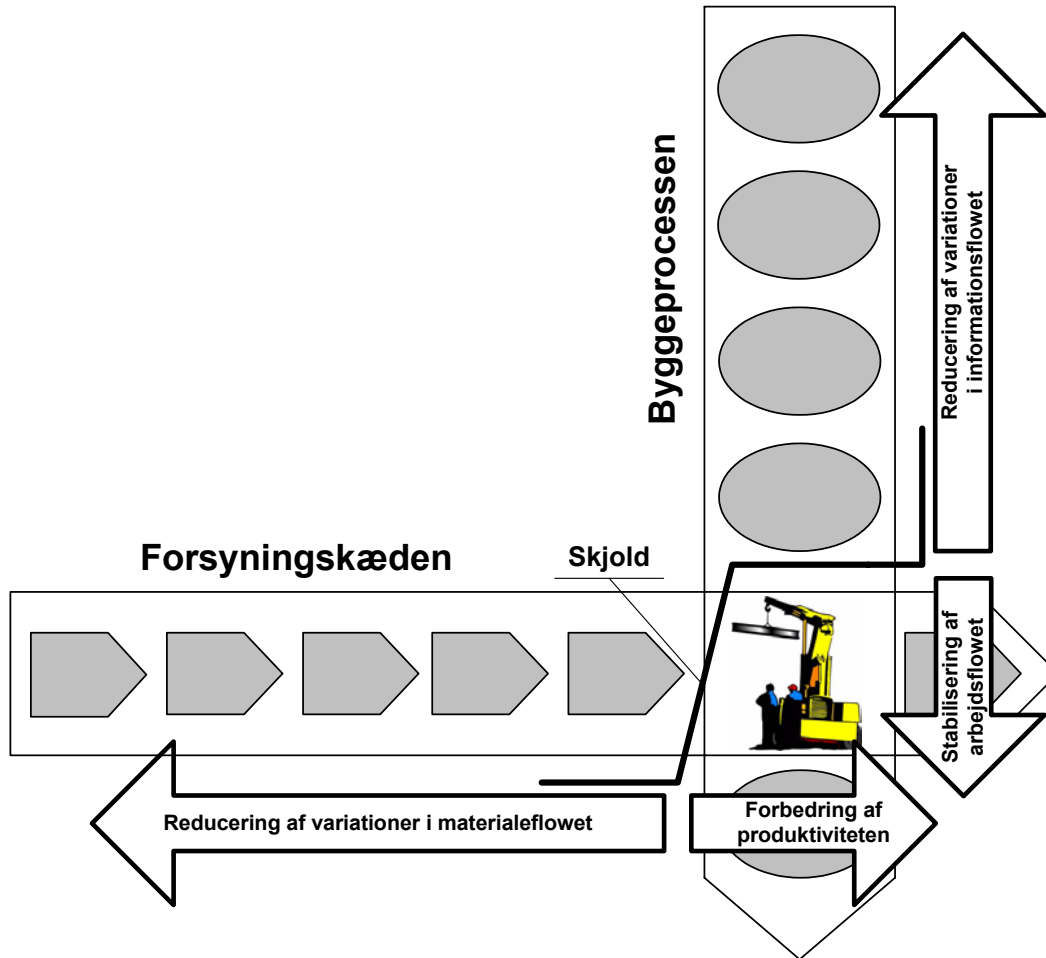


*Figur 3-2: Deming Cirkel, beskriver et eksempel på en fremgangsmåde til at ændre arbejdsmetoderne, frit efter [Møltoft, 1996, s. 22].*

Deming-cirklen beskriver et firefase forløb, her anvendt til at ændre en given arbejds- metode. Først planlægges ændringen i samarbejde med de berørte medarbejdere. Herefter prøves ændringen i henhold til planen – en ”prøvekørsel”. Tredje trin udgøres af en kontrolfunktion der kortlægger på hvilke punkter arbejdsmetoden er bedre/dårligere end den oprindelige, samt på hvilke punkter den evt. skal redigeres osv. Sidste trin udgør den endelige implementering af metoden, hvorefter denne udgør den nye arbejdsrutine. Forløbet kan herefter gennemløbes på ny.

### 3.4 Strategi for implementering i forhold til Frieblicks model

Sammenholdes strategien for implementering af Lean Construction, repræsenteret af de tre gennemgåede elementer vist i Figur 3-1, med Fredrik Frieblicks model for logistik i et byggeprojekt kan implementeringen afbilledes, som vist i Figur 3-3.



Figur 3-3: Fredrik Frieblicks model i forhold til implementeringsstrategien for Lean Construction.

Figur 3-3 illustrerer tydeligt skjoldets formål i forhold til at skærme produktionen fra udefra kommende påvirkninger, således et stabilt arbejdsforløb kan opretholdes.

I det følgende redegøres der mere detaljeret for udviklingen af værktøjer, til understøttelse af implementeringen af Lean Construction ud fra de gennemgåede principper.

## 4 Udvikling af værktøjer

I forhold til at trimme byggeriet ud fra anvendelse af strategien gennemgået i det foregående skal der udvikles konkrete værktøjer i form af processtyringssystemer eller lignende. Det er ikke afgørende, hvorvidt disse systemer baseres på højteknologi, dvs. computere og lignende, eller lavteknologi i form af eksempelvis diverse skemaer, papir og blyanter. Det er derimod centralt, at systemerne fremmer videreudvikling af Lean-tankegangen i forhold til byggeriet. I det efterfølgende redegøres kort for de principper og mål, som skal tilgodeses ved udviklingen af værktøjer til Lean Construction og endvidere defineres de vigtigste krav til værktøjerne.

Ved udviklingen af værktøjer til Lean Construction er det ifølge [Tanskanen, 1993] vigtigt at tage højde for følgende principper og mål, der er fundamentale for en trimmet produktfremstilling:

- Fokuser på materiale- og informationsflows. Effektiviteten af hele produktionsprocessen, der starter ved designprocessen og slutter ved afleveringen af det endelige produkt til kunden, er vigtigere end effektiviteten af delprocesser i den samlede produktionsproces.
- Eliminer spild. De aktiviteter i produktionsprocessen, som ikke tilfører det endelige produkt nogen værdi, skal identificeres og herefter tilpasses således, at spildet elimineres.
- Minimer variationer. Der bør i videst muligt omfang anvendes standardprocedurer for at sikre, at forudsigeligheden i produktionsprocessen øges. Hermed øges endvidere gentagelseeffekten i processerne således, at der opnås en effektiv udvikling.
- Tid bør opfattes som et nøgleord i alle forretningsprocesser.
- Fokuser på løbende forbedringer i forbindelse med processerne i stedet for pludselige og revolutionære ændringer.

Principperne kritiseres ofte for ikke at gælde for byggeriet, idet der i byggeprocessen ikke findes de samme muligheder og fordele i at udnytte gentagelseeffekten, som det er tilfældet under fremstillingsindustriens mere ordnede forhold. Dette forhold understøttes af Koskela, der netop fremfører, at byggeriet er karakteriseret ved at fremstille unikke produkter i varierende projektorganisationer og under uforudsigelige forhold påvirket af vejr og vind (byggepladsen) [Koskela, 2000]. Byggeriets tre karakteristika udgør således en barriere for optimal udnyttelse og anvendelse af Lean-principperne i byggeriet. Denne betragtning gælder dog kun så længe, der fokuseres på selve produktet. Såfremt byggeprocessen betragtes ud fra en processynsvinkel, findes der adskillige eksempler på, hvordan gentagelseeffekten udnyttes i byggeprocessen. Overvejes for eksempel processen i forsyningskæderne i forbindelse med materialeleverancer til byggepladsen kan denne grupperes i to kategorier:

- Processer for standardmaterialer (made to order)
- Processer for kundespecifikke materialer (designed to order)

De to typer af processer vedrørende materialeleverancer følger hver især den samme fremgangsmåde fra projekt til projekt, eksempelvis mht. bestilling, afkald, design, levering osv. og udnytter således gentagelseeffekten i byggeprocessen. [Tanskanen, 1993]

Af andre barrierer, der umiddelbart kan vanskeliggøre anvendelsen af principperne bag Lean tankegangen, kan bl.a. nævnes byggeriets kultur, der er relativt traditionsbundet i forhold til andre brancher, primært begrundet i de forskellige håndværks udvikling gennem tiderne. Desuden må lønforholdene ligeledes forventes at udgøre en barriere, idet arbejdet i akkord modvirker medarbejdernes lyst til at bruge tid på ting, de ikke direkte betales for. Det kræver en grundig analyse af lønforholdene, at udforme et nyt lønsystem, hvilket ligger udenfor rammerne af dette paper.

Værktøjerne, som understøtter principperne i Lean Construction, kan umiddelbart kategoriseres i to grupper, nemlig:

1. Værktøjer som understøtter BPR, dvs. ændring af de nuværende processer.
2. Værktøjer som understøtter planlægning og styring af forretningsprocesser.

Udvikling af nye processer er en ledelsesopgave, men for at processerne opnår størst mulig effekt bør de personer, der står for den daglige ledelse, inddrages i udviklingen. For at anvendelsen af værktøjerne i den første gruppe kan fungere optimalt, er det endvidere nødvendigt at kende ydeevnen for den hidtidige praksis for på baggrund heraf at kunne identificere dels udviklingspotentialet og dels de processer, som skal udvikles. Et af problemerne i byggeriet, der bl.a. underbygges af undersøgelser i den finske byggeindustri, er, at processerne i byggeriet er udokumenterede, samt at ydeevnen af den nuværende praksis og udviklingspotentialet ikke kendes. I stedet designer byggelederne eller formændene processerne i byggeriet ud fra transformationstankegangen, dvs. med fokus udelukkende på de enkelte transformationer – eller også sker tingene ”af sig selv”. [Tanskanen, 1993]

I forbindelse med planlægningen og styringen af de nuværende processer kan der med fordel drages nytte af den moderne informationsteknologi, således at evnen til at lagre, sortere, foretage beregninger og præsentere store mængder data kombineres med personers evne til at kombinere informationer, resonere og tage beslutninger. Kravene til værktøjer, der understøtter planlægnings- og styringsprocesserne i Lean Construction kan ifølge [Tanskanen, 1993, s. 337] sammenfattes til følgende punkter:

- Grafisk præsentation af informationer.
- Interaktiv behandling af informationer.
- Forståelse for og specificering af målene for planlægningen og styringen.
- Understøtte løbende forbedringer i forhold til processernes ydeevne.
- Sikre opdatering vedrørende ydeevnen af de planlagte processers aktuelle stade.

Disse krav til udviklingen af værktøjer til Lean Construction er senere konkretiseret ifølge [Koskela, 1999], der hævder, at nedenstående design kriterier eller principper skal være indeholdt i udviklingen for et produktionsstyringssystem, for at sikre systemets anvendelse i praksis. Principperne er efterfølgende anvendt i udviklingen af det amerikanske produktionsstyringssystem ”*The Last Planner System of Production Control*”, [Ballard, 2000, s. 2-14]:

1: Styring af de syv strømme:

De enkelte opgaver skal være sunde før de påbegyndes. Det betyder, at de syv strømme skal styres samtidig med, at der gennem planlægningen sikres, at en opgave ikke kan påbegyndes, før det er konstateret, at alle ressourcer er tilstede og klar til brug. Denne funktions formål er at minimere/forhindre, at der arbejdes under suboptimale betingelser.

- 2: Måling af Procent Planlagt Udført (PPU)<sup>11</sup>:

Der måles på, hvorvidt de opgaver, der er planlagt udført i en uge, gennemføres. Målingerne kan foretages på forskellige niveauer, henholdsvis projektniveau og entrepreniveau. PPU angives i procent og ligger for en "normal" byggesag mellem 35% og 65% [Bertelsen, 2001 (a)].
- 3: Opfordre til løbende forbedringer:

Der udarbejdes årsags- virkningsanalyser for de planlagte opgaver, der ikke blev udført. Årsagerne til, at opgaverne ikke kan gennemføres som planlagt, fjernes.
- 4: Planlægning af opgavebuffer:

Der oprettes og vedligeholdes et lager af opgaver, der alle er sunde, dvs. at de umiddelbart kan gennemføres. Formålet med opgavebufferen er, at have alternativt arbejde parat til eksempelvis et montagesjak, såfremt den planlagte opgave hindres. Denne funktion medvirker til at sikre opretholdelse af produktionen, idet ressourcspildet i form af mandtimer mindskes. Herved sikres også en højere produktivitet.
- 5: Rullende planlægning:

Den rullende planlægning har en tidshorisont på 3-6 uger afhængig af projektets størrelse. Den rullende planlægning skal sikre, at de kommende opgaver aktivt klargøres, samtidig med, at udnyttelsen af ressourcerne forberedes. Den rullende planlægning baseres på pull-logistik, der trækker ressourcerne til de enkelte opgaver, efterhånden som de klargøres. Ligeledes sikrer den rullende planlægning grundet den overskuelige tidshorisont, at der ikke optræder for store materialelagre på byggepladsen, hvilket reducerer især brækage og svind.

Disse fem funktioner er centrale for en forbedret logistik på byggepladserne. Nogle af funktionerne er delvist blevet afprøvet igennem By- & Boligministeriets forsøgsprojekter, eksempelvis blev der i Habitat konsortiet under PPB-projektet<sup>12</sup> arbejdet med rullende arbejdsplaner og produktivitetsindikatorer, der netop fremhæves i principperne for Lean Construction. En af konklusionerne fra Habitat konsortiet er netop, at der mangler effektiv styring af byggeriets processer, eksemplificeret i bl.a. de syv strømme. I et andet af konsortierne under PPB - Comfort House - blev der arbejdet med løbende forbedringer i form af registrering af "snublesten", hvilket skulle forhindre gentagne fejlsopståen. Sammenfattende for de offentligt støttede udviklingsprojekter gælder, at der indenfor byggelogistikken er blevet afprøvet forskellige delelementer, med større eller mindre grad af succes. Først i 2001 er der i Danmark med MT Højgaard's TrimByg-koncept set eksempler på udviklingsprojekter, der søger at samle de fem nævnte funktioner i en samlet helhed for her i gennem at udvikle et generelt logistikstyringssystem til styring af byggelogistikken.

---

<sup>11</sup> Ikke at forveksle med udviklingsprojektet "*Programprojekt – Projektforlag – Udførelsesprojekt*" under PPB programmet.

<sup>12</sup> "Proces- og Produktudvikling i Byggeriet" (PPB) er et erhvervsfremme-initiativ, der bestod af i alt 4 konsortier. Initiativet løb til ultimo 2001. Bag initiativet stod Erhvervsfremme Styrelsen og By- og Boligministeriet. For yderligere information se evt. rapporten: "Logistik i byggeprocessen" udgivet i November 2001 af Erhvervsfremme Styrelsen.

## 5 Last Planner System

I det efterfølgende afsnit redegøres der for det amerikanske udviklede produktionsstyringssystem "*The Last Planner System of Production Control*" (LPS). Mange af elementerne i LPS er senere anvendt i det danske TrimByg-koncept udviklet af MT Højgaard, dog med visse tilføjelser. I det efterfølgende gennemgås udelukkende de grundlæggende principper og metoder i LPS primært på baggrund af [Ballard, 2000].

Det kræver planlægning af forskellige personer på forskellige niveauer i projektorganisationen for at gennemføre et byggeprojekt. Planlægningen højt i projektorganisationen fokuserer oftest på de overordnede mål og rammer for det samlede projekt, mens planlægningsprocesserne lavere i organisationen er koncentreret om, hvordan projektet skal gennemføres, således at de overordnede mål opfyldes. Generelt for disse planlægningsaktiviteter kan siges, at deres output består af nye og mere detaljerede planer.

Det nederste planlægningsniveau foregår på selve byggepladsen, hvor en person eller gruppe, som regel byggelederen, varetager den endelige planlægning af hvilket specifikt fysisk arbejde, der skal udføres indenfor en relativ kort tidshorizont, ofte 5 arbejdsdage. Planen for hvilke opgaver, der skal udføres er unik, idet den medfører, at der udføres et direkte arbejde på byggepladsen modsat generering af yderligere planer. Den eller de personer, der udarbejder planer for hvilke arbejdsopgaver, der skal udføres på byggepladsen kaldes i LPS terminologien for "Last Planner(s)", fordi de er sidste led i planlægningskæden.

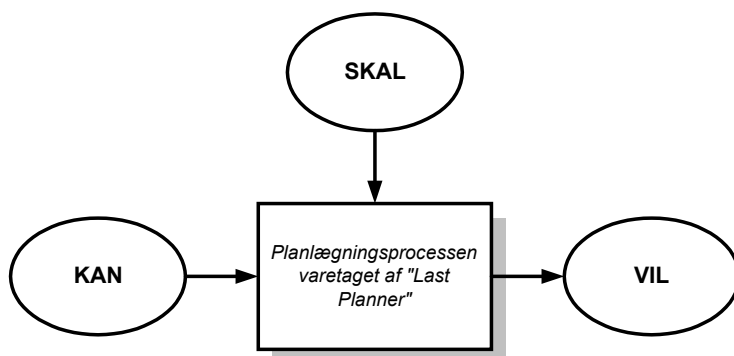
De traditionelle funktioner i et produktionsstyringssystem er planlægning, styring og kontrol. Planlægningen fastsætter mål og en sekvens af begivenheder, der stræber mod at opfylde målene, mens styringen og kontrollen sikrer, at den forudsatte sekvens af begivenheder fastholdes, og at der foretages justeringer i planlægningen såfremt rækkefølgen i de planlagte aktiviteter ikke længere er fleksibel eller aktuel. Styringen sikrer endvidere, at der sker en form for læring (i form af personlige erfaringer) i det tilfælde, hvor aktiviteterne ikke fører til det planlagte mål.

LPS er et processtyringssystem til byggeriet udviklet af Lean Construction Institute ud fra en grundlæggende erkendelse af, at byggeprocessen er kaotisk, dvs. uforudsigelig blot nogle få tidsskridt frem. En konsekvens heraf bliver, at planlægningen af de arbejdsopgaver, der skal udføres, ofte følger hovedtidsplanen, der blev fastlagt ved projektets begyndelse. Dermed tager planlægningen ikke højde for eventuelle senere ændringer i forhold til projektets udførelse. Ud fra denne erkendelse accepterer Lean Construction tankegangen, at det er umuligt at gennemføre en pålidelig og detaljeret planlægning, indtil kort før arbejdsopgaverne udføres.

Udarbejdelsen af planer over hvilke opgaver, der skal udføres af håndværkerne på byggepladsen, forudsætter, at kommunikationen mellem "Last Planner" samt de projekterende og sjakkene på pladsen fungerer. Kommunikationen er central fordi den planlægning, der foretages i byggefasen (af "Last Planner"), er et løfte til resten af projektorganisationen om, hvad der VIL blive udført. Samtidig skal det, der VIL blive udført gerne være resultatet af en planlægningsproces, der sikrer, at det, der VIL blive udført, samtidig SKAL og KAN udføres.

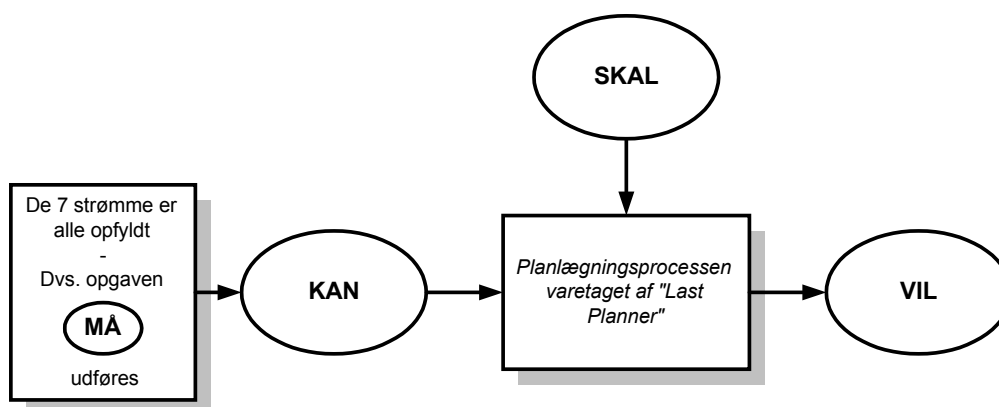
Det betyder, at det, som SKAL udføres, og det som VIL blive udført, planlægges indenfor begrænsningerne af, hvad der KAN udføres. Oftest forholder det sig dog sådan, at der på byggepladsen ikke skelnes mellem, hvad der SKAL udføres, og hvad der rent faktisk KAN udføres. Dette medfører, at planlægningen af den kommende uges arbejde gennemføres uden skelen til, hvorvidt der er opstået forhindringer, som gør det umuligt at følge planlægningen.

LPS sikrer ud fra en række regler og procedurer samt nogle simple værktøjer, at de opgaver, der SKAL udføres også KAN udføres, og dermed VIL blive udført. Figur 5-1 viser princippet i planlægningsprocessen, der varetages af Last Planner.



*Figur 5-1: Princippet i "Last Planner" planlægningsprocessen. Oversat efter [Ballard, 2000, s. 3-2].*

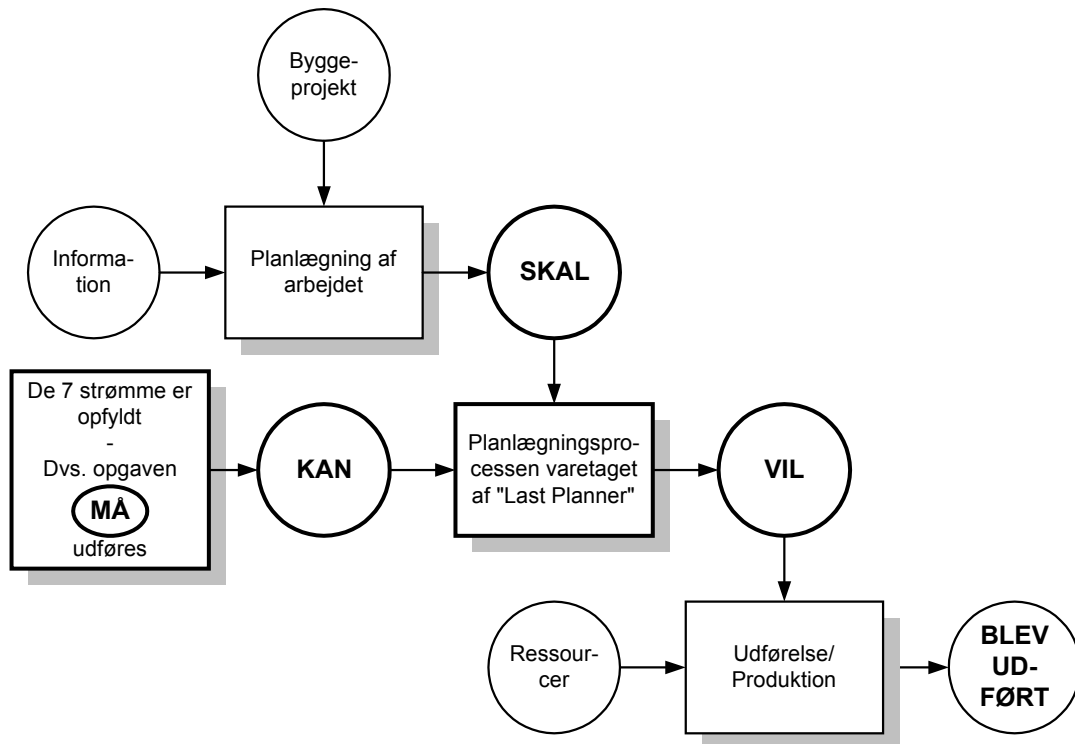
Hvorvidt en opgave KAN udføres er bestemt af, hvorvidt opgaven er sund, altså om de syv flows er opfyldte. Er de syv strømme opfyldt for en given arbejdsopgave, gives der fra Last Planners side "grønt lys" til, at opgaven MÅ udføres. Dvs. Last Planner har sikret sig, at diverse tilladelser er på plads, den foregående opgave er afsluttet, mandskabet er tilstede osv. Kriteriet for, at en opgave KAN udføres, afhænger dermed alene af om den person eller gruppe, der SKAL udføre opgaven er fysisk i stand til at gøre det. I forhold til den oprindelige opfattelse af LPS betyder dette, at der skelnes imellem, hvorvidt arbejdsopgaven MÅ udføres, og hvorvidt den KAN udføres. Forholdet mellem MÅ og KAN er illustreret i Figur 5-2.



*Figur 5-2: Princippet i "Last Planner" planlægningsprocessen i forhold til MÅ og KAN.*

LPS kan samlet set opfattes som en oversættelse af, hvad der SKAL udføres til, hvad der KAN udføres. Herved skabes der efterhånden et lager af sunde arbejdsopgaver og på baggrund heraf, kan der udarbejdes en ugentlig arbejdsplan. Ved at tilføje konkrete op-

gaver til arbejdsplanen afgives der samtidig et løfte til hele organisationen om, hvad der VIL blive udført i den kommende uge. The Last Planner System fremgår i sin helhed af Figur 5-3.



Figur 5-3: Last Planner System, frit efter [Ballard, 2000, s. 3-15].

Udviklingen af LPS er baseret på erkendelsen af, at det er nødvendigt at udvide planlægningsprocessen fra kun at fokusere på hvilke opgaver, der skal udføres (produktionsstyring) til også at omfatte det arbejdsforløb, der repræsenterer produktets gradvise tilblivelse (processtyring). For at sikre, at ikke blot produktionsstyringen men også processtyringen varetages i projektets planlægningsproces, er der i LPS indeholdt to hovedelementer, henholdsvis:

1. Styring af arbejdsopgaver og
2. Koordinering af arbejdsforløbet

Styring af arbejdsopgaver refererer til styringen af det arbejde, der udføres *indenfor* de enkelte sjak. Dvs., opmærksomheden rettes imod en bedre opgavedefinition samt en løbende læringsproces blandt de udførende på byggepladsen primært via erfaringsopsamling.

Koordineringen af arbejdsforløbet har til formål at sikre, at der aktivt arbejdes imod at skabe et glidende arbejdsforløb, hvor arbejdsopgaverne udføres i den optimale rækkefølge.

I det efterfølgende introduceres der en række værktøjer til, hvorledes planlægningssystemet kan anvendes i praksis i forhold til de to hovedelementer i LPS.

## 5.1 Styling af arbejdsopgaver

Det centrale indenfor styling af arbejdsopgaverne, er sikring af pålidelige output data fra planlægningssystemet, herunder bl.a. sikring af at kvaliteten af de ugentlige arbejdsplaner, der udarbejdes af Last Planner, er i orden. Af kvalitetskrav til planerne kan følgende nævnes:

- Arbejdsopgaven skal defineres, således at arbejdsopgavens forberedelser samt udførelse og færdiggørelse er utvetydigt beskrevet.
- Den korrekte sekvens af arbejdsopgaver skal udvælges.
- Den korrekte mængde af arbejdsopgaver skal udvælges.
- De udvalgte arbejdsopgaver skal alle være sunde i henhold til de syv strømme.

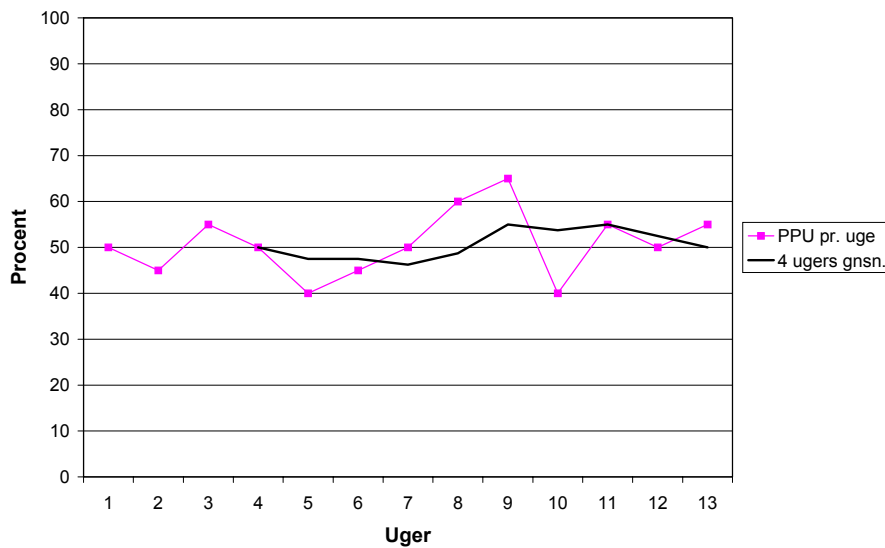
I forbindelse med stylingen af arbejdsopgaverne til en konkret byggesag kan følgende værktøjer benyttes, som indikatorer på udførelsesfasens state og dermed kvaliteten af de ugentlige arbejdsplaner, som byggelederen udarbejder:

- Procent Planlagt Udført – PPU
- Løbende forbedringer

### 5.1.1 Procent Planlagt Udført – PPU

Effektiviteten og dermed også kvaliteten af Last Planners ugeplanlægning kan indirekte måles igennem, hvor mange af de planlagte arbejdsopgaver for en given uge, der blev gennemført. En opgave skal være helt afsluttet, førend den kan betegnes som gennemført, idet afslutning af foregående arbejder jo netop er en af forudsætningerne for, at den næste opgave er sund.

Ved hjælp af målingerne af PPU gøres de enkelte sjak opmærksomme på de bindinger, som deres arbejde udgør i forhold til de øvrige sjaks arbejde på byggepladsen. Gennem dette forhold søges det med LPS at skabe motivation for at flytte fokus fra forbedring af effektiviteten internt i de enkelte sjak til de fordele, som et øget fokus på den samlede "holdpræstation" ville give for alle aktørerne. I Figur 5-4 er vist et eksempel på en PPU måling. Amerikanske forsøg har vist, at PPU i størrelsesorden 35-65% typisk karakteriserer almindelige "velfungerende" byggepladser, hvilket for den pågældende byggeplads indikerer et væsentligt forbedringspotentiale.



**Figur 5-4: Eksempel på PPU måling, henholdsvis uge for uge samt et 4 ugers bevægeligt gennemsnit.**

Afhængigt af projektets omfang kan målingerne af PPU dels foretages for det samlede projekt og dels for de enkelte fagentrepriser. Resultaterne for de enkelte fagentrepriser kan herefter danne baggrund for en vurdering af projektet som helhed.

Registreringen af PPU er altså et mål for, i hvor høj grad de afgivne løfter fra byggeleder og formænd til projektorganisationen er realiseret. Ved efterfølgende at analysere *hvorfor* der er afvigelser mellem planlægningen og realiseringen af arbejdsopgaverne, kan årsagerne kortlægges, således at den fremtidige planlægning kan forbedres.

PPU udgør imidlertid "kun" én indikator på, hvorvidt byggeledelsen fungerer. Der kan desuden måles på flere andre, eksempelvis produktivitsindikatorer i form af "Orden på arbejdspladsen", "Mangler ved afleveringen", "Rettelser i projektet" osv. Disse produktivitsindikatorer anvendes således i det TrimByg-koncept, som MT Højgaard har udviklet, og som er den danske udvikling af LPS. Emnet behandles dog ikke yderligere her.

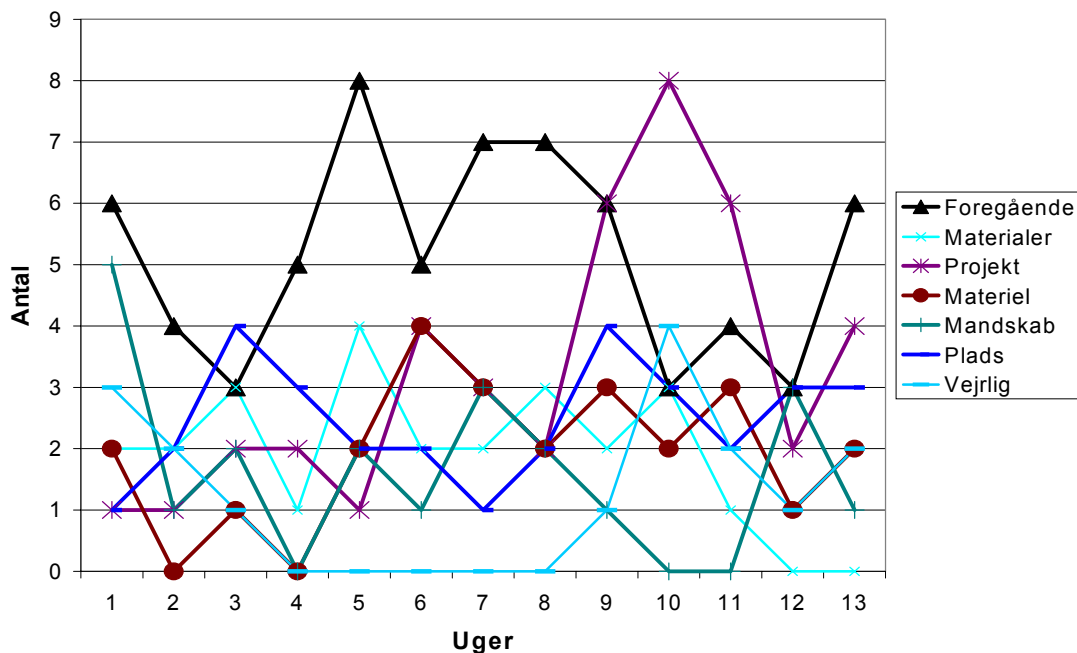
### 5.1.2 Løbende Forbedringer

PPU er som nævnt en indikator for, hvor godt byggepladsen fungerer, men målingerne siger ikke noget om, *hvorfor* byggepladsen fungerer som den gør. Ved at supplere PPU registreringerne med årsags-virkningsanalyser skabes der et udgangspunkt for løbende at opnå forbedringer i forbindelse med ledelsen af en byggesag. Løbende forbedringer af de daglige arbejdsgange på byggepladsen er en forudsætning for fortsat effektivisering af byggebranchen som helhed. Formålet med aktivt at arbejde med løbende forbedringer er bl.a. gradvist at ændre byggelederens opgaver fra "brandslukningsopgaver" til en mere effektiv procesledelse.

For at identificere årsagerne til afvigelserne mellem de planlagte opgaver og de opgaver, der ikke blev planmæssigt gennemført spørges: *Hvorfor*. Nedenfor er illustreret et eksempel, der tager udgangspunkt i en dækelementmontage:

- *Hvorfor* er dækelementmontagen på 1. etage ikke påbegyndt?
  - Fordi montagen af gavlelementer i stueetagen blev forsinket.
- *Hvorfor* blev montagen af gavlelementer ikke afsluttet til tiden?
  - Fordi de blev leveret i forkert rækkefølge.
- *Hvorfor* blev de leveret i forkert rækkefølge?
  - Fordi blokvognenes kapacitet forsøges udnyttet maksimalt.
- *Hvorfor* forsøges blokvognenes kapacitet..... og så videre.

De umiddelbare årsager til, at en opgave svigter kan inddeles i hovedkategorier ud fra de syv strømme, hvor et eksempel på en sådan analyse er illustreret i Figur 5-5.



**Figur 5-5: Umiddelbare årsager til at planlagte arbejdsopgaver ikke gennemføres.**

De umiddelbare årsager angivet i Figur 5-5 forekommer alle i forbindelse med projektets udførelsesfase, men dette udelukker ikke, at de grundlæggende årsager til afvigelser mellem planlægning og realisering, kan findes tidligere i byggeprocessen. De grundlæggende årsager til ugeplanernes ringe kvalitet eller evnen til at følge disse kan således findes på et hvilket som helst organisatorisk niveau eller i en hvilken som helst proces eller funktion [Ballard, 2000].

Til grundigere analyse af årsags-virkningssammenhænge er det imidlertid nødvendigt med metoder, der kan illustrere problemernes sammenhæng på tværs af de forskellige faser. Af sådanne metoder kan nævnes problemmatrixen udviklet som en del af ViPS<sup>13</sup>, bl.a. beskrevet i [Kristensen & Nielsen, 2001 (a), Afsnit 5] eller ”fiskebensdiagrammet” også kaldet ”Ishikawa-diagrammet”, der stammer fra Japan og bl.a. er beskrevet i [Møltoft, 1996, s. 327].

<sup>13</sup> ”Virksomhedstilpassede ProduktionsSystemer” et udviklingsprogram fra midten af 80’erne.

På baggrund af årsags-virkningsanalysens resultater kan de årsager, der hyppigst forhindrer en effektiv byggeproduktion, efterfølgende identificeres og elimineres. Resultaterne vil ofte afsløre at årsagerne til de opståede problemer skal findes tidligere i byggeforløbet, i form af eksempelvis tegningsfejl, og dermed kan årsagerne ikke helt fjernes i det igangværende projekt. Disse årsager bør i stedet noteres ned og inddrages i en efterfølgende projektevaluering, som igen skal danne grundlag for en effektiv erfaringsopsamling (læring), for at hindre lignende problemers opståen i fremtidige projekter.

## 5.2 Koordination af arbejdsforløb

Formålet med at koordinere arbejdsforløbet på byggepladsen er, at få arbejdet til at bevæge sig mellem de enkelte sjak i den rette sekvens og mængde.

Traditionelt udarbejdes der en hovedtidsplan for den samlede byggeproces i form af en tids- og aktivitetsplan, der dog som regel hurtigt overskrides, hvorefter byggeledelsen foretager en opdatering af tidsplanen. Efter adskillige opdateringer og justeringer af den oprindelige tidsplan afleveres projektet ofte med forsinkelser til følge [Temagruppe 4, 2000]. Ifølge Lean Construction tankegangen forekommer overskridelserne af tidsplanen som følge af kompleksiteten i byggeprocessen, der er uforudsigelig blot en kort tidshorisont frem og dermed gør det næsten umuligt overholde en oprindelig tidsplan. Endvidere opfylder hovedtidsplanen, som den anvendes i traditionel byggepraksis, forskellige funktioner og resulterer dermed i en ujævn arbejdsproces.

De funktioner som hovedtidsplanen har til formål at fastlægge er ifølge [Bertelsen, 2001 (b)]:

- Rækkefølgen som de forskellige opgaver skal udføres i.
- Hvem der skal udføre de forskellige opgaver.
- Tidspunktet for hvornår de forskellige opgaver skal udføres.
- Hvornår de forskellige opgaver skal være afsluttede.

En af de grundlæggende tanker i Lean Construction er, at der ved en stabilisering af arbejdsflowet kan opnås en effektivisering af byggeprocessen. I LPS søges forudsigeligheden øget og arbejdsflowet stabiliseret ved at oprette et lokalt vindue med en overskuelig tidshorisont og derefter søge at skabe orden indenfor dette vindue. Dette gøres praktisk ved at flytte fokus fra, hvad der SKAL ske, til hvad der KAN ske, for til sidst at fastlægge hvad der VIL ske. Til dette formål opereres der i LPS med tidsplaner på forskellige niveauer. En oversigt over tidsplanerne, som anvendes i Lean Construction tankegangen, er angivet i Tabel 5-1.

Tidsplan	Funktion	Tilknytning til LPS
Masterplan	Fungerer som overordnet tidsplan for det samlede projekt fra programmering til aflevering og fastlægger projektets hovedterminer. Anvendes til overordnet at konstatere om projektet er på rette spor og ikke til at styre efter.	SKAL
Periodeplan	Fungerer som en rullende plan med en tidshorisont på 3-6 uger afhængigt af projektets omfang. Planen sikrer, at de arbejdsopgaver, der skal udføres i den nærmeste fremtid alle er sunde opgaver, dvs. at de kan gennemføres uden forhindringer.	KAN/(MÅ)
Arbejdsplan	Fungerer som en plan med en tidshorisont på en uge for hvilket arbejde, der gennemføres på byggepladsen. Kun opgaver, der kan gennemføres uden forhindringer, medtages i den ugentlige arbejdsplan.	VIL

**Tabel 5-1: Oversigt over tidsplaner i Lean Construction tankegangen.**

Eksempler på hhv. Periodeplanen og Arbejdsplanen, der indgår i det lokale planlægningsvindue, der oprettes, fremgår af Figur 5-6 og Figur 5-7. Planerne varetager forskellige funktioner, herunder bl.a.:

- Tilrettelægger rækkefølgen af arbejdsopgaverne og indholdet af disse.
- Tilpasser arbejdsforløbet i forhold til kapaciteten.
- Foretager en underopdeling af hovedtidsplanens aktiviteter i arbejdsopgaver.
- Fastlægger detaljerede metoder for arbejdsopgavernes udførelse.
- Opretholder en buffer af sunde arbejdsopgaver.
- Ajourfører overordnede tidsplaner efter behov.

VVS	Uge	24	25	26	27	28		
Aktivitet	Ansvar	+1	+2	+3	+4	+5	Sund?	Bemærkninger
Stigrør opg. 4	Peter	X					OK	
Radiatorer lejl. 15-18	Peter	X						Radiatorer skal afkaldes
Radiatorer lejl. 19-23	Peter		X					Radiatorer skal afkaldes
Radiatorer lejl. 24-28	Peter			X				Radiatorer skal afkaldes
Badeværelse lejl. 1-3	Jørgen		X					VVS unit skal afkaldes
Badeværelse lejl. 4-6	Jørgen			X				VVS unit skal afkaldes
Badeværelse lejl. 7-9	Jørgen				X			VVS unit skal afkaldes
Fællesvaskeri	Ole		X	X				Vask.mask. leveres ons. uge 25
Fællesrum	Ole				X	X		Opv.mask. leveres man. Uge 27

**Figur 5-6: Eksempel på Periodeplan.**

## VVS Uge 23

Aktivitet	Ansvar	Man	Tir	Ons	Tor	Fre	Bemærkninger
Radiatorer lejl. 12	Peter	X X					
Radiatorer lejl. 13	Peter		X X				
Radiatorer lejl. 14	Peter			X X			
Stigrør opg. 3	Peter				X X	X X	
Bicentral 2	Hans	X X	X X	X X			
FV tilslutning	Hans				X X	X X	Bekræft aftale med FV-værket

Figur 5-7: Eksempel på Arbejdsplan.

I forhold til hovedtidsplanens traditionelle funktioner er disse i LPS fordelt på flere planer, således at der opnås en mere overskuelig byggeproces. Eksempelvis skubbes fastsættelsen af tidspunktet for, hvornår de forskellige opgaver skal udføres til så tæt på udførelsen som muligt. Ved denne form for planlægning søges at undgå de ”normale” overskridelser af tidsplanerne. De ovenfor nævnte funktioner, som varetages af hhv. Periodeplanen og Arbejdsplanen søges opnået dels gennem styring af de syv strømme, dels planlægning af opgavebuffer og dels rullende planlægning. Disse processer gennemgås i det efterfølgende.

### 5.2.1 Styring af de syv strømme

Inden aktiviteterne fra Masterplanen overføres til Periodeplanen, foretages der en underopdeling af disse i specifikke arbejdsopgaver. Underopdelingen i arbejdsopgaver foretages for, at der efterfølgende kan udarbejdes Periodeplaner, der med et passende detaljeringniveau fastlægger hvilket arbejde, der skal udføres på byggepladsen i den nærmeste fremtid (3-6 uger). Når underopdelingen af aktiviteter i arbejdsopgaver er foretaget, og disse er overført til Periodeplanen, foretages der en analyse af de enkelte arbejdsopgaver for at sikre, at disse kan gennemføres uden forhindringer. Konkret sikres herved, at arbejdsopgaverne er sunde, og at de med sikkerhed kan gennemføres, når tiden er inde. Eventuelle forhindringer kortlægges ud fra de syv strømme samt en åben kategori:

- De foregående arbejder skal være afsluttede.
- Der skal være den nødvendige plads til at udføre arbejdet.
- De ydre<sup>14</sup> omstændigheder skal være i orden.
  - Kontrakter.
  - Godkendelser.
- Materiellet skal være tilstede.
- Materialerne skal være tilstede.
- Mandskabet skal være tilstede.
- Information i form af tegninger og beskrivelser skal foreligge.
- Andet.

<sup>14</sup> At de ydre omstændigheder skal være i orden omfatter også vejet, der i sin natur ikke kan planlægges. Forhindringslisten indeholder derfor kun forhindringer, der kan planlægges i forhold til de arbejdsopgaver, der skal udføres.

Kun de arbejdsopgaver, der med sikkerhed kan gennemføres, markeres som sunde, og de har dermed mulighed for at indgå i den kommende uges Arbejdsplan. Alle øvrige arbejdsopgaver markeres som usunde, og årsagen hertil anføres. Eksempler på årsager, der fører til usunde arbejdsopgaver, kan være tegninger, der ikke foreligger, eller mursten, der ikke er afkaldt osv. Der udarbejdes en forhindringsliste over problemstillinger, der skal løses, før arbejdsopgaverne er sunde. Ud fra Periodeplanen og forhindringslisten søges det således, at styre byggeprocessens flows og dermed sikre sunde arbejdsopgaver. Et eksempel på udformningen og indholdet af en forhindringsliste er vist i Figur 5-8.

Id	Arbejdsopgave	Start	Forudgående	Materialer	Materiel	Mandskab	Informationer	Plads	Ydre		Andet
									Kontrakter	Godkendelser	
45	Stignor opg. 4	2/9/98	Ikke afsluttet	OK	OK	OK	Venter på reviderede tegninger fra projekteringen	OK	OK	OK	Ingen
12	Radiator lejl. 15-18	2/9/98									
30	Radiator lejl. 19-23	2/9/98									
33	Radiator lejl. 24-28	3/9/98									
96	Badeværelse lejl. 1-3	3/9/98									
15	Badeværelse lejl. 4-6	17/9/98									
14	Badeværelse lejl. 7-9	17/9/98									
78	Fællesvaskeri	19/9/98									
22	Fællesrum	1/10/98									

Figur 5-8: Eksempel på forhindringsliste. Oversat fra [Ballard, 2000, s. 3-11].

### 5.2.2 Planlægning af opgavebuffer

På baggrund af den i Masterplanen fastlagte sekvens af aktiviteter foretages underopdelingen i arbejdsopgaver løbende, hvorefter arbejdsopgaverne medtages i Periodeplanen. Ud fra styringen af de syv strømme i byggeprocessen sikres, at arbejdsopgaverne efterhånden bliver sunde, således at de kan medtages i Arbejdsplanen for den kommende uge. Ud over arbejdsopgaverne, der indgår i Arbejdsplanen, opretholdes der samtidig et lager af sunde arbejdsopgaver, der med sikkerhed kan gennemføres, såfremt der skulle opstå problemer i udførelsen af de planlagte arbejdsopgaver. Denne planlægning af opgavebufferen foretages for at sikre kontinuiteten i arbejdsforløbet. Opgavebufferen vedligeholdes, således at den indeholder arbejdsopgaver svarende til 2 ugers arbejde, hvoraf den ene uge udgøres af Arbejdsplanen.

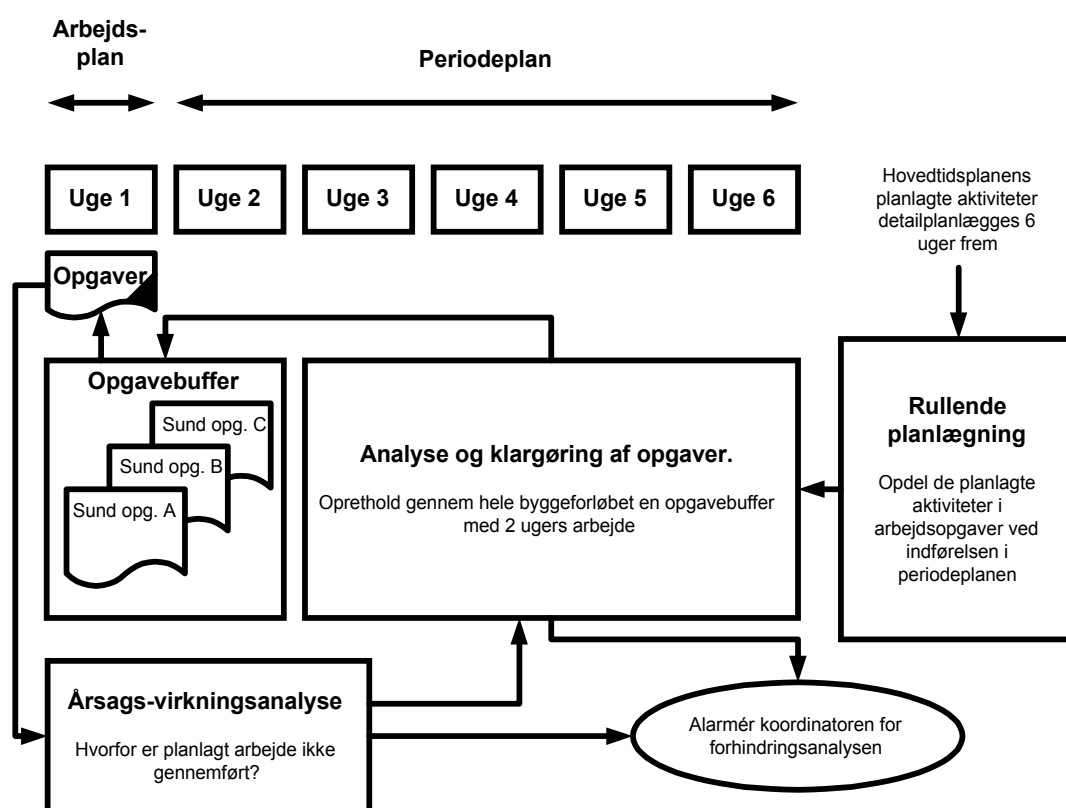
### 5.2.3 Rullende planlægning

Den rullende planlægning sikres gennem Periodeplanen, der opdateres ugentligt på byggemøder i samråd mellem byggeledelsen og de forskellige sjakbajser og formænd. Periodeplanen omfatter ikke den førstkomende uge, der er omfattet af Arbejdsplanen. Periodeplanen baseres på et træksystem, der er en metode til at afkalde de nødvendige materialer eller informationer på. Ved på denne måde at trække de forskellige ressourcer, der er nødvendige for de enkelte arbejdsopgavers gennemførelse, efterhånden som arbejdsopgaverne flyttes frem i Periodeplanen sikres, at der opretholdes et minimalt lager på selve byggepladsen, hvorved svind og brækage undgås. Afhængigt af i hvilket omfang, der opretholdes materialelagre på byggepladsen udarbejdes Arbejdsplanen for den kommende uge enten midt i eller i slutningen af den foregående uge, således at der rettidigt kan afkaldes materialer (afkaldstidspunktet er naturligvis afhængig af typen af

levering, hvorfor dette på nogle leverancetyper foregår tidligere i forløbet, dvs. tidligere i Periodeplanen). For at sikre, at trækssystemet anvendes mest effektivt, er det nødvendigt, at planlægningsvinduet for den periode, hvor byggeprocessen er forudsigtelig, er større end leveringstiden på materialerne, da det ellers risikeres, at materialer og arbejdsopgave ikke er klar på samme tid.

#### 5.2.4 Planlægningsprocessen for koordinering af arbejdsforløbet

Figur 5-9 viser en skematisk oversigt over planlægningsprocessen for koordinering af arbejdsforløbet, hvor arbejdsopgaverne flyder fra højre til venstre i oversigten. Potentielle arbejdsopgaver overføres fra Masterplanen til planlægningsvinduet 3 - 6 uger før den planlagte udførelse og bevæger sig herefter fremad hver uge, indtil de kan indgå som sunde arbejdsopgaver i opgavebufferen, for til sidst at medtages i Arbejdsplanen for den kommende uge.



Figur 5-9: Skematisk oversigt over planlægningsprocessen for koordinering af arbejdsforløbet [Ballard, 2000, s. 3-10].

For at opnå størst mulig effekt af LPS er det desuden vigtigt, at de nedenfor angivne generelle regler overholdes i forbindelse med koordineringen af arbejdsforløbet i byggeprocessen.

- Regel 1: Tillad at planlagte aktiviteter bibeholdes i Masterplanen, såfremt de ikke kan udføres som planlagt.
- Regel 2: Tillad kun at planlagte arbejdsopgaver bibeholdes i Periodeplanen, hvis byggeledelsen er sikker på, at de aktuelle arbejdsopgaver kan gøres sunde og dermed gennemføres som planlagt.
- Regel 3: Tillad kun at arbejdsopgaver, der med sikkerhed kan gennemføres til tiden, rykkes frem i Periodeplanen.
- Regel 4: Tillad kun sunde arbejdsopgaver at indgå i Arbejdsplanen, dvs. arbejdsopgaver der med sikkerhed kan gennemføres uden forhindringer.

## **6 Praktiske implementeringsovervejelser**

Forud for indføring af principperne bag Lean Construction i praksis, er det nødvendigt med en omhyggelig forberedelsesperiode. I det efterfølgende gennemgås enkelte af de generelle elementer, der skal overvejes i forbindelse med en byggesag.

### **6.1 Bygherren**

Først og fremmest er det en forudsætning, at bygherren træffer den overordnede strategiske beslutning om anvendelse af Lean-principperne forud for byggesagens opstart. Dette kan eventuelt ske i samarbejde med totalentreprenøren eller rådgiverne afhængig af entreprisformen eller udfra bygherrens tidligere erfaringer. Bygherrens beslutning er central, idet det er bygherren, der i idefasen opstiller rammerne for værdigrundlaget i form af de udspecificerede krav til bygværket. I praksis vil bygherrens egne processer også berøres af beslutningen om anvendelse af Lean-principperne, fx i form af krav om rettidige beslutninger. Det kan dog tilføjes, at såfremt mindre virksomheder ønsker at anvende enkelte af principperne, for derved dels at være på forkant med udviklingen og dels at trimme egne forretningsgange, er bygherrens mening naturligvis uvedkommende. Når bygherrens beslutning her nævnes som en forudsætning refereres til anvendelse af Lean-principperne på en hel byggesag.

### **6.2 Øvrige aktører**

Såfremt bygherrens beslutning om anvendelse af Lean-principperne foreligger, handler det om så tidligt i forløbet som muligt, at holde et opstartsmøde, eksempelvis i form af en workshop, hvor de øvrige aktører i byggesagen bekendtgøres med de nye værktøjer (PPU, Rullende planlægning, Løbende forbedringer, Opgavebuffer og Byggeprocessens syv strømme), samt de bagvedliggende årsager til anvendelsen af disse værktøjer.

Aktørerne omfatter her såvel fagentreprenørerne, grossister, byggeledere som de projekterende og bygherrens rådgivere.

For at fastholde de forskellige aktører i henhold til de indgåede aftaler bør der udarbejdes en aftale, der i detaljer beskriver anvendelsen af de forskellige værktøjer i forhold til de enkelte aktører.

### 6.3 Styling og overvågning

Anvendelsen af Lean-princippet skal styres, især hvad angår indførelse og anvendelse af de 5 værktøjer introduceret i Afsnit 4. Stylingen bør varetages af en styringsgruppe med repræsentanter fra hovedaktørerne, dvs. bygherren, rådgiverne, hovedentreprenøren - afhængigt af byggesagens type samt dennes organisering. Styregruppen mødes efter behov og skal omgående gribe ind, såfremt værktøjerne misbruges.

Overvågning af korrekt brug af værktøjerne kan med fordel overdrages til en ekstern auditor, enten i form af en for byggesagens vedkommende helt udenforstående, eller blot én, der til daglig ikke er involveret i anvendelsen af værktøjerne. Udpegningen af en ekstern auditor berettiges af erfaringer fra byggeriet, hvor der ofte pga. travlhed kan være tendens til at udsætte arbejdsopgaver, der ikke direkte truer tidsplanen eller på anden vis bidrager til projektets umiddelbare økonomi. Det er imidlertid vigtigt, at værktøjerne anvendes omhyggeligt, således at den løbende rapportering samt analyse-ning af især PPU finder sted uden svigt.

## 7 Lean Construction i fremtiden

I det følgende afsnit redegøres kort for fremtidsudsigterne for Lean Construction, mht. fokusområder samt det organisatoriske opdeling i byggeriet. Desuden foretages der en vurdering af Lean Construction konceptet, der udfordrer den traditionelle gennemførelse af byggeprojekter både i forhold til tid og omkostninger.

Generelt genereres der i traditionel byggepraksis - som tidligere beskrevet - store problemer i forhold til at planlægge og styre forløbet af den samlede byggeproces. Problemerne opstår allerede i designfasen, og ofte endnu tidligere, hvor konfliktende designkriterier må afvejes i forhold til hinanden ofte med manglende informationer til følge, idet afvejningen foretages under pres både i relation til tidsplanen og projektets budget. Konsekvensen heraf bliver, at byggebranchen præges af varierende grader af usikkerheder, idet parterne løbende presses i forhold til teknologiudviklingen, de skiftende markedsmuligheder samt de konkurrerende parters adfærd og kompetencer. Størrelsen af usikkerheden afhænger af, hvilke fagområder der refereres til. Eksempelvis er områder såsom VVS og el blandt de mest udviklede områder indenfor byggebranchen med en større grad af usikkerhed overfor teknologiudviklingen til følge.

Den traditionelle praksis er ofte baseret på kontraktmentalitet, hvor det i højere grad drejer sig om at styre kontrakter ved at uddelegere "lokalt" ansvar for gennemførelsen af byggeriets forskellige entrepriser til fagentreprenørerne end om at styre produktionen og arbejdsforløbet. Kriteriet for, hvorvidt projektets gennemførelse har været en succes, bliver dermed, i hvor høj grad de enkelte fagentreprenører har kunnet opfylde deres respektive kontrakter tilfredsstillende. Dette kriterium holder dog ikke i det tilfælde, hvor noget i byggesagen går galt, hvilket ofte sker grundet byggeprocessens uforudsigelighed. Til eksempel kan nævnes forsinkelser hos en fagentreprenør, hvilket får indflydelse på det efterfølgende arbejde jf. de syv strømme. Byggeprocessens struktur er således ifølge [Ballard, 2000] dømt til at kollapse bl.a. fordi der i kontraktstyringen kun tages hensyn til transformationsvinklen i forhold til TFV-teorien.

Ifølge [Jensen, 2001] kan styring opfattes som lokaliseret i en kontraktuel relation mellem en principal og en agent, der handler på vegne af principalen. Den grundlæggende antagelse ved styringsformen er, at både principalen og agenten handler opportunistisk. I forhold til byggeriet kan styringsformen eksempelvis karakterisere forholdet mellem fagentreprenøren og totalentreprenøren. Den opportunistiske adfærd svarer her til den traditionelle byggepraksis, hvor de enkelte fagentreprenører søger at suboptimere egne arbejdsopgaver på bekostning af forbedring af den samlede byggeproces. Styringsformen skaber ifølge [Jensen, 2001] problemer i situationer, hvor der er mangelfuld information, i særdeleshed i situationer hvor den manglende information vedrører transformation fra input til output.

I byggeriet har agenten, dvs. den enkelte medarbejder på byggepladsen, en stor grad af frihed i forhold til at træffe beslutninger vedrørende eget arbejde. Beslutningsprocessen forudsætter dels, at medarbejderne på pladsen har de nødvendige kompetencer til at foretage de rigtige beslutninger (de kan selv), dels at de er selvmotiverende (de vil selv), og dels at de har pladsen til at kunne foretage beslutningerne (de må selv). På baggrund heraf opstår der et stort behov for information for de enkelte medarbejdere. [Jensen, 2001] betegner en medarbejder, for hvilken disse forudsætninger er opfyldt, for en *selvgående* medarbejder. Ud fra denne definition kan aktørerne på byggepladsen karakteriseres som værende selvgående medarbejdere, idet de både kan selv, dvs. at de er fagligt kompetente, de vil selv, dvs. at de på baggrund af deres faglige stolthed samt i nogle tilfælde de indgåede akkorder er motiverede for at udføre arbejdet, og de må selv, dvs. at beslutningsprocessen fra de forskellige virksomheder er decentraliseret til medarbejderne på byggepladsen. Problemet opstår, når der optræder grupper af selvgående medarbejdere, dvs. sjak, idet det for at opnå det mest optimale resultat for byggesagen som helhed er nødvendigt, at alle de selvgående medarbejdere har en fælles forståelsesramme. Forudsætningerne for at have en fælles forståelsesramme er, at de selvgående medarbejdere er gode til at kommunikere, samt at de har et fælles sprog og fælles mål. Problemet vurderes ikke at være aktuelt internt i de enkelte sjak men derimod nærmere sjakkene imellem. Konflikten opstår i forbindelse med den traditionelle fagopdeling i byggeriet og den heraf følgende opportunistiske adfærd. Der er især gennem udviklingsarbejdet med Projekt Renovering<sup>15</sup> forsøgt at imødegå problemet ved at indføre multisjak, der skulle reducere byggeomkostningerne og skabe en fælles forståelse på tværs af faggrænser. Anvendelsen af multisjak er imidlertid ikke blevet generelt udbredt i praksis, bl.a. på grund af arbejdsmarkedets struktur.

I forhold til den ovenstående kritik af den traditionelle byggepraksis anses udviklingen af "*The Last Planner System of Production Control*" som et skridt på vejen til at opnå større forudsigelighed i byggeprocessen og dermed undgå nogle af de mange uforudsete hændelser, der ofte fører til overskridelser af tidsplanerne og højere byggeomkostninger. LPS integrerer dermed gennem de forskellige værktøjer, herunder bl.a. den rullende planlægning, flow perspektivet i byggeprocessen. Anvendelsen af LPS sikrer desuden, at behovet for information i højere grad end tidligere tilgodeses samt, at pålideligheden af den tilgængelige information øges. I forbindelse med udviklingen og anvendelsen af LPS skønnes det endvidere, at byggeriet har nærmet sig en løsning på konflikten i forbindelse med de selvgående medarbejdere. Hermed menes, at byggeriet med Lean

---

<sup>15</sup> Se eksempelvis [Kristensen & Nielsen, 2001 (c), Afsnit 3.3]

Construction tankegangen nærmer sig en fælles forståelse for mange af problemernes opståen i byggeprocessen.

Der er dog langt fra med de nuværende udviklede teorier og værktøjer til Lean Construction nået en løsning på byggeriets effektivitetsproblemer. De hidtidige resultater knytter sig således primært til udførelsesfasen, hvorfor yderligere forskning og udvikling af værktøjer er nødvendig. LPS knytter sig endvidere primært til styring i forbindelse med byggeriets udførelsesfase frem for den forudgående planlægning, dvs. bl.a. identificering samt strukturering af arbejdsopgaver (Work Structuring). Dog kan hertil nævnes, at flere amerikanske firmaer pt. på forsøgsbasis arbejder med at implementere og tilpasse LPS til designfasen, eksempelvis kan nævnes The Boldt Company<sup>16</sup> og Southland Industries<sup>17</sup>. I forhold til at udgøre et fuldstændigt koncept for byggeprocessen er det ligeledes nødvendigt i højere grad at integrere værdigenereringsprocessen i Lean Construction. I den henseende kan der med fordel hentes inspiration i produktudviklingsprocessen i de brancher, der designer og fremstiller kundespecifikke produkter, som for eksempel skibsindustrien. Der forskes dog i øjeblikket på at skabe en mere struktureret proces til sikring af værdigeneringen i den initierende projektfase<sup>18</sup>. Dette arbejde er dog endnu ikke tilendebragt.

På baggrund af, hvad der er fremstillet i dette Paper, må det konstateres, at Lean Construction konceptet repræsenteret ved *"Lean Project Delivery System"* med de dertil hørende principper og værktøjer strækker sig væsentligt ud over betydningen af Lean Production, hvorfra der især i begyndelsen er hentet en del inspiration. Titlen *"Lean Construction"* skal derfor mest af alt betragtes som en arbejdstitel (en paraply), der som tiden går vil dække over stadig flere forskellige udviklingstiltag.

Samlet set konkluderes, at Lean Construction tankegangen er et skridt i retning af en forbedret effektivitet i byggeriet. Dette skyldes primært, at teorien, metoderne og værktøjerne der i dag udgør fundamentet for Lean Construction tankegangen er udviklet på de præmisser, der adskiller byggeriet fra anden industri. Det kræver dog stadig udvikling af nye metoder og værktøjer, hvis der med dette nye koncept skal opnås en fælles forståelsesramme for byggeriets parter, således at udviklingen af samarbejder mellem byggevirksomhederne i et netværk fremmes. Følgende citat illustrerer derfor meget godt det nuværende stade for Lean Construction.

*"På IGLC-8 konferencen i sommeren 2000 virkede det imidlertid som om, at der er ved at være en fælles erkendelse af, at nu ved vi, hvordan man skal tackle udførelsesfasen, nu må vi til at nyfortolke projekteringen og den værdifastlæggelse, den rummer"*.

[Bertelsen, 2001]

IGLC, der dannedes i 1993, udgiver størstedelen af litteraturen omhandlerende Lean Construction, hvorfor de kilder, der ligger til grund for redegørelsen i dette paper, alle vurderes at være aktuelle. På nogle områder har der dog ikke været adgang til de nyeste udgivelser, der kun er tilgængelige for medlemmer af IGLC. Det vurderes dog, at for-

---

<sup>16</sup> Se evt. Boldts hjemmeside på adresse: <http://www.boldt.com>

<sup>17</sup> Se evt. Southland Industries hjemmeside på adressen: <http://www.southlandind.com/>

<sup>18</sup> Bl.a. i PhD projektet "Group learning in the preface of a project, translating the buyers' needs" by Michael Whelton, PhD student, University of Berkeley, California.

målet med dette paper, dvs. at give en overordnet forståelse for Lean Construction, er opfyldt på baggrund af det forhåndenværende materiale.

## 8 Vokabularium

<b>Aktivitet</b>	Overordnet opgaverne, dvs. koordinering af disse eksempelvis planlægning af elementmontage.
<b>Aktører</b>	De personer/virksomheder, der direkte er tilknyttet en given fase i et byggeri – en delmængde af byggeriets <i>interessenter</i> .
<b>Arbejdsopgave</b>	Se opgave.
<b>Arbejdsplan</b>	En plan for hvilket arbejde, der gennemføres på byggepladsen med en tidshorizont på en uge. Kun opgaver, der kan gennemføres uden forhindringer, medtages i den ugentlige arbejdsplan.
<b>Arbejdsstation</b>	Arbejdssted for montagegruppe, sjak eller lignende, eksempelvis i forbindelse med montage af frontrude i en bil, hvor selve monteringen foregår på arbejdsstationen. I byggeriet udgør selve montagegruppen, sjakket eller enkeltindividet arbejdsstationen, der derved er mobil.
<b>BOM</b>	Bill of Materials, opsplitning af en ordre i forskellige komponenter, eksempelvis et givet produkts stykliste.
<b>BOR</b>	Bill of Resources, klarlægning af ressourcebehovet for en given ordre.
<b>Buffer</b>	Oplagring af ressourcer, eksempelvis materialer, informationer, arbejdsopgaver osv.
<b>Byggeprocessen</b>	Betegner forløbet for en bygnings tilblivelse fra ide til færdigt produkt. Kan anvendes på flere niveauer, jf. <i>byggeprocesserne</i> , der her betegner processer på et ”lavere” niveau.
<b>Concurrent Engineering</b>	Produktionsbegreb, der retter fokus imod en overlappende design- og produktionsfase.
<b>Flow</b>	En strøm – der optræder adskillige strømme i en given produktion, eksempelvis materialestrømme, informationsstrømme osv. Strømme betragtes udfra 2 dimensioner. <ol style="list-style-type: none"><li>1. Strømme (flows) mellem de enkelte arbejdsstationer.</li><li>2. Strømme (flows) der karakteriserer det overordnede forløb af et produkts tilblivelse, dvs. produktets flow.</li></ol>
<b>Fluktuationer</b>	Variationer fra en stabil/konstant tilstand.

<b>Fremstillingsindustri</b>	Betegner bredt industriproduktion, der modsat byggeriet kan foregå indendørs, dvs. uafhængigt af vejret, i faste leverandørsamarbejder, og et produktsortiment, der grundet størrelsen kan transporteres rundt i produktionen.
<b>IGLC</b>	International Group for Lean Construction, et internationalt netværk af praktikere og forskere indenfor arkitektur, design/projektering og udførelse, der målrettet arbejder med Lean Construction. Netværket er dannet i 1993.
<b>Interessenter</b>	De personer/virksomheder der har interesser knyttet til en givet byggeri. Interessenterne inkluderer foruden aktørerne naboer, myndigheder mv.
<b>JIT</b>	Just-In-Time, japansk inspireret produktionsfilosofi, der i hovedtræk søger at undgå oplagring ved at levere materialer til tiden.
<b>Kano-modellen</b>	Model til fastlæggelse af kunders behov. Inddeler behovene i tre kategorier, henholdsvis latente, normale og forventede behov.
<b>Lager</b>	Se Buffer.
<b>Last Planner</b>	Betegnelse for den eller de personer, der udarbejder planerne for hvilke arbejdsopgaver, der direkte skal udføres på byggepladsen. Last Planners er dermed sidste led i planlægningskæden.
<b>LCI</b>	Lean Construction Institute, grundlagt i San Francisco som et partnerskab mellem Prof. Glenn Ballard og Prof. Gregory A. Howell, der desuden begge er medlemmer af IGLC.
<b>LPDS</b>	Lean Production Delivery System, udgør den samlede ramme for forståelsen af Lean Construction i LCI. LPDS er betegnelsen for en procesmodel der afspejler byggeriets faser fra idé til brug.
<b>LPS</b>	The Last Planner System of Production Control, et planlægningsværktøj rettet primært imod udførelsesfasen. LPS er udviklet af Glenn Ballard.
<b>Masterplan</b>	Overordnet tidsplan for det samlede projekt fra programmering til aflevering og fastlægger projektets hovedterminer. Anvendes til overordnet at konstatere om projektet er på rette spor og ikke til at styre efter.
<b>MRP</b>	Material Requirements Planning, produktionsstyringssystem primært operationelt/teknisk orienteret.

<b>MRP II</b>	Manufacturing Resource Planning, en udvidelse af begrebet MRP, heri inddrages tillige ressourceplanlægningen og analyse af produktionens flaskehalse.
<b>NOVI</b>	Nordjyllands Videnspark
<b>Opgave</b>	Direkte knyttet til arbejdet udført på produktet – værditilførsel. Eksempelvis montering af elementer eller indbygning af vinduer. Se også transformation.
<b>Operation</b>	Betegner de diskrete tilstande, hvor en arbejder eller et sjak aktivt udfører forarbejdning af halvfabrikata. Operationerne indeholder ikke udelukkende værdiskabende aktiviteter, men også en betydelig mængde spild, eksempelvis i form af kvalitetssikring, rengøring af maskinel, finde værktøj osv.
<b>Periodeplan</b>	En rullende plan med en tidshorisont på 3-6 uger afhængigt af projektets omfang. Planen sikrer, at de arbejdsopgaver, der skal udføres i den nærmeste fremtid alle er sunde opgaver, dvs. at de kan gennemføres uden forhindringer.
<b>PPB</b>	Proces- og Produktudvikling i Byggeriet. Et erhvervsfremmeinitiativ, der bestod af i alt 4 konsortier. Initiativet løb til ultimo 2001. Bag initiativet stod Erhvervsfremme Styrelsen og By- og Boligministeriet.
<b>PPU</b>	Procent Planlagt Udført, angiver i procent, hvor mange af de planlagte opgaver i en given uge gennemføres.
<b>Proces</b>	Et forløb af hændelser. En proces refererer overordnet til et produkts flow mellem arbejdsstationerne.
<b>QFD</b>	Quality Function Deployment, foreslår en struktureret metode til fastlæggelse af kundekrav.
<b>Spild</b>	Alt, hvad der ikke direkte tilfører produktet nogen værdi.
<b>Strømme (de syv)</b>	De syv strømme er forudsætninger for en optimal afvikling af arbejdsopgaverne. Såfremt de alle er opfyldt betegnes arbejdsopgaven som værende <i>sund</i> .
<b>Sund</b>	Sund betegner en arbejdsopgave, hvor de syv strømme er opfyldt.
<b>TFV teorien</b>	Koskelas teori, der kombinerer transformations-, flows og værdikonceptet.

<b>TQM</b>	Total Quality Management, kvalitetskoncept.
<b>Transformation</b>	Arbejdsopgave, der ændrer (transformerer) et sæt af ressourcer i form af eksempelvis mandtimer, materialer, viden osv. (input) til et nyt sæt af ressourcer med større værdi (output).
<b>TrimByg-konceptet</b>	MT Højgaards nyfortolkning af byggeprocessen, inspireret dels af danske udviklingsprojekter og dels af det internationale arbejde omkring Lean Construction.
<b>Trimmet Byggeproduktion</b>	Dansk oversættelse af Lean Construction.
<b>Værdi</b>	Evnen til gennem et produkt eller serviceydelse at opfylde interne såvel som eksterne kunders behov.
<b>Værdiskabende</b>	Direkte bearbejdning af materialer og montering, der øger produktets værdi.

## 9 Kilder

- [ALARCÓN, 1997] Alarcón, Luis, Editor  
*"Lean Construction"*  
A. A. BALKEMA/ROTTERDAM/BROOKFIELD, 1997
- [ATV, 1999] Akademiet for de Tekniske Videnskaber  
*"Byggeriet i det 21. århundrede - Industriel reorganisering af byggeprocessen"*  
ATV, Januar 1999
- [Ballard, 1994 (a)] Ballard, G. & Howell G.  
*"Implementing Lean Construction: Reducing inflow variation"*  
IGLC 2<sup>nd</sup> workshop, 1994  
Artikel i "Lean Construction", s. 93-100  
Editeret af Luis Alarcón,  
A. A. Balkena, Rotterdam, 1997
- [Ballard, 1994 (b)] Ballard, G. & Howell G.  
*"Implementing Lean Construction: Stabilizing work flow"*  
IGLC 2<sup>nd</sup> workshop, 1994  
Artikel i "Lean Construction", s. 101-110  
Editeret af Luis Alarcón,  
A. A. Balkena, Rotterdam, 1997
- [Ballard, 1994 (c)] Ballard, G. & Howell G.  
*"Implementing Lean Construction: Improving downstream performance"*  
IGLC 2<sup>nd</sup> workshop, 1994  
Artikel i "Lean Construction", s. 111-126  
Editeret af Luis Alarcón,  
A. A. Balkena, Rotterdam, 1997
- [Ballard, 1995] Ballard, G. & Howell G.  
*"Toward construction JIT"*  
IGLC 3<sup>rd</sup> workshop, 1995  
Artikel i "Lean Construction", s. 291-300  
Editeret af Luis Alarcón,  
A. A. Balkena, Rotterdam, 1997
- [Ballard, 1998] Ballard, G. & Howell G.  
*"Shielding production: Essential step in production control"*  
Journal of Construction Engineering and Management,  
Vol. 124, No. 1, s. 11-17, 1998

- [Ballard, 2000] Ballard, Glenn  
*"The Last Planner System of Production Control"*  
Doktorafhandling, University of Birmingham, Maj 2000
- [Bergman, 1994] Bergman, Bo & Klefsjö, Bengt  
*"Quality from customer needs to customer satisfaction"*  
McGraw-Hill, London, 1994
- [Bertelsen, 2001 (a)] Seminar hos MT Højgaard den 11.10.01  
Indlæg ved Sven Bertelsen  
*"Trimmet byggeproduktion"*  
Aalborg, den 11. oktober 2001
- [Bertelsen, 2001 (b)] Bertelsen, S.  
*"Lean teori om udførelsen"*  
Udkast 2. oktober 2001, Strategisk Rådgivning APS
- [Bertelsen, 2001 (c)] Bertelsen, Sven  
*"Trimmet Byggeri – Oversigt"*  
Sven Bertelsen, Strategisk Rådgivning Aps, 2001
- [Bruzelius, 1989] Bruzelius, Lars H og Skärvad, Per-Hugo  
*"Integrerad organisationslära"*  
Studentlitteratur, Lund 1989
- [CBPP, 2001] <http://www.cbpp.org.uk>
- [EB, 2000] Erik Bejder  
*Notat til Projekt Hus*  
AAU, 2000
- [Ford, 1926] Ford, Henry  
*"Today and Tomorrow"*  
Doubleday, Page & Co., Garden City, 1926  
Reprint edition: Productivity Press, Cambridge MA, 1988
- [Howell, 1999] Howell, Gregory A.  
*"What is Lean Construction – 1999"*  
IGLC 7th workshop, 1999
- [IGLC, 2002] <http://www.vtt.fi/re/lean>
- [Jensen, 1997] Jensen, D. m.fl.  
*"The seven legal elements necessary for a successful claim for a constructive acceleration"*  
Project Management Journal, March, s. 32-44, 1997

- [Jensen, 2001] Jensen, I. & Dissing, O.  
*"Hinsides magten og reglerne: Styring og kontrol i organisationer"*  
 Artikel til MMT-3000 afviklet i Horsens den 8/11-2001
- [Josephson, 1994] Josephson, Per-Erik  
*"Orsaker till fel i byggandet"*  
 Chalmers University of Technology, Gothenburg, 1994
- [Laurikka, 1995] Laurikka, P., Koskela, L. & Lautanala, M.  
*"Rapid Construction as a change driver in construction companies"*  
 IGLC 3<sup>rd</sup> workshop, 1995  
 Artikel i "Lean Construction", s. 223-236  
 Editeret af Luis Alarcón,  
 A. A. Balkena, Rotterdam, 1997
- [Leikas, 1997] Leikas, J. & Koskela, L.  
*"Lean manufacturing of construction components"*  
 IGLC 2<sup>nd</sup> workshop, 1994  
 Artikel i "Lean Construction", s. 263-271  
 Editeret af Luis Alarcón,  
 A. A. Balkena, Rotterdam, 1997
- [Kim, 1997] Kim, W & Mauborgne, R  
*"Value innovation: The strategic logic of high growth"*  
 Harvard Business Review, January-February, 1997
- [Koskela, 1992] Koskela, Lauri  
*"Application of the new production philosophy to construction"*  
 Stanford University, CIFE Technical Report #72, 1992
- [Koskela, 1993] Koskela, Lauri  
*"Lean production in construction"*  
 IGLC 1st workshop, 1993  
 Artikel "Lean Construction", s. 1-9  
 Editeret af Luis Alarcón  
 A. A. Balkema/Rotterdam/Brookfield, 1997
- [Koskela, 1999] Koskela, L.  
*"Management of Production in Construction: A Theoretical View"*  
 IGLC 7th Annual Conference, 1999  
 University of California, Berkeley, CA. p. 241-252

- [Koskela, 2000] Koskela, Lauri  
*"An exploration towards a production theory and its application to construction"*  
 VTT, ESPOO 2000
- [Kristensen & Nielsen, 2001 (a)] Kristensen, Ebbe Lind & Nielsen, Anni Schmidt  
*"Casestudie – Tidsstudie af vægelementmontagen på NOVI Park 6, udført i samarbejde med Skanska A/S"*  
 AAU, November 2001
- [Kristensen & Nielsen, 2001 (b)] Kristensen, Ebbe Lind & Nielsen, Anni Schmidt  
*"Paper 1: Byggeriets Tilstand"*  
 AAU, November 2001
- [Kristensen & Nielsen, 2001 (c)] Kristensen, Ebbe Lind & Nielsen, Anni Schmidt  
*"Paper 2: Anvendelse af produktionskoncepter i danske forsøgsprojekter"*  
 AAU, November 2001
- [Levitt, 1960] Levitt, Theodore  
*"Marketing Myopia"*  
 Harvard Business Review, Juli-August, s. 45-56, 1960
- [LCI, 2002] <http://www.leanconstruction.org>
- [Miller, 1922] Miller, Fred J., 1922  
*"Prevention of Wastes in Industry"*  
 Mechanical Engineering, January 2000, s. 9-10, 42
- [Møltoft, 1996] Møltoft, Jørgen m.fl.  
*"Grundbog i kvalitetsstyring og måleteknik"*  
 Industriens Forlag, København, 1996
- [Ohno, 1988] Ohno, Taiichi,  
*"Toyota Production System"*  
 Productivity Press, Cambridge MA, 1988
- [Olsson, 2000] Olsson, Fredrik  
*"Supply Chain Management in the Construction Industry – Opportunity or utopia?"*  
 Ph.D. afhandling Lunds Universitet, 2000
- [Peer, 1974] Peer, Shlomo  
*"Network analysis and construction planning"*  
 Journal of the Construction Division,  
 Vol. 100, No. CO3, s. 203-210, 1974

- [SBI-Rapport 316, 1999] Clausen, Lennie  
*"Byggelogistik – Erfaringer fra seks forsøgsbyggerier, SBI-Rapport 316"*  
 Statens Byggeforskningsinstitut, 1999
- [Schonberger, 1996] Schonberger, Richard J.  
*"World Class Manufacturing: The next decade."*  
 The Free Press, New York, 1996
- [Shingo, 1988] Shingo, Shigeo  
*"Non-stock production"*  
 Productivity Press, Chambridge, MA, 1988
- [Slack, 1995] Slack, Nigel, Chambers, Stuart m.fl  
*"Operations Management"*  
 Pitman Publishing, London 1995
- [Tanskanen, 1993] Tanskanen, K, Wegelius, T & Nyman, H  
*"New tools for Lean Construction"*  
 IGLC 1st workshop, 1993  
 Artikel i *"Lean Construction"*, s. 335-341  
 Editeret af Luis Alarcón  
 A. A. Balkema/Rotterdam/Brookfield, 1997
- [Temagruppe 4, 2000] Temagruppe 4 – Projekt Hus  
*"Industrielle processer, byggeri som en produktion"*  
 September 2000
- [Tommelein, 1997] Tommelein, Iris & Ballard, Glenn  
*"Coordinating Specialists"*  
 IGLC 5<sup>th</sup> workshop on Lean Construction, Brasilien, 1997
- [Vollmann, 1997] Vollmann, Thomas, Berry, William & Whybark, Clay  
*"Manufacturing Planning and Control Systems"*  
 Irwin/McGraw-Hill Inc., 1997
- [Walløe, 2002] Walløe, Pernille  
*"Logistik på byggepladsen"*  
 Erhvervsfremme Styrelsen, 2002
- [Womack, 1990] Womack, James P., Jones, Daniel T. & Daniel, R.  
*"The machine that changed the world"*  
 Rawson, New York, 1990
- [Womack, 1996] Womack, James P. & Jones, Daniel T.  
*"Lean Thinking"*  
 Simon & Schuster Inc., 1996