



UNIVERSITETET I AGDER

# **Arbeidsflyt i byggproduksjon – analyse av målemuligheter**

av

**Marius Salthaug  
Morten Sørensen**

**Masteroppgave i Industriell økonomi og teknologiledelse**

**Fakultet for teknologi og realfag  
Universitetet i Agder**

**Grimstad  
Mai 2010**



## 1 SAMMENDRAG

De siste årene har det vært satt fokus på produktivitet i byggeprosjekter. Det ble i følge statistisk sentralbyrå omsatt for i underkant av 275 milliarder kroner i bygge- og anleggsbransjen i 2009. Forbedringspotensialet er altså stort dersom man kan finne metoder for å effektivisere produksjonen. Et tiltak har vært å trekke erfaringer fra bilindustriens lean thinking og lean production. Lean construction er byggebransjens tilnærming til denne tenkningen. Et sentralt fokus for lean-tankegangen er å skape flyt i produksjonen. Uttrykket flyt er flittig benyttet til tross for at det ennå ikke er klart definert eller konseptualisert. Man kan enkelt forestille seg at det er en kobling mellom flyt i produksjonen og produktivitet. Denne koblingen er imidlertid ikke enkel å påvise eller måle. Man savner en metode for måling av flyt. Dette gjelder både for operasjoner og hele prosesser. For å kunne måle flyt er man avhengige av å ha en entydig oppfatning av hva flyt er. Da flyt foreløpig er en metafor uten klare rammer og begrensninger, har vi først gått gjennom store mengder litteratur både fra byggrelatert forskning, men også teori som omhandler vareproduserende industri, for å se hvorvidt det er mulig å presisere uttrykket *flyt*.

Oppgaven er i hovedsak basert på gjennomgang av publisert litteratur som kan relateres til flyt i byggeprosjekter. Hensikten med dette er å undersøke om det lar seg gjøre å definere og konseptualisere flytbegrepet. Som utgangspunkt for litteratursøket er det utført søk i ulike akademisk anerkjente databaser av tidsskrifter, bøker, protokoller og andre publikasjoner. Litteratur som er referert fra og benyttet som kilde i de mest relevante funnene er fremskaffet og gjennomgått i håp om å finne informasjon av interesse for oppgavens tema. I oppgaven er det også lagt vekt på intervjuer, workshops og målinger på byggeplass. Intervjuene er utført ustrukturert og kvalitativt. Det er også utført tilfeldige spørringer og samtaler blant håndverkere i forbindelse med tidsmålinger på byggeplass. Både samtalen og intervjuene har vist at det er forskjell på folks oppfatning av hva flyt er og hvordan som prosjektleder man skal prioritere.

Temaet for oppgaven er altså flyt og flytens egenskaper, betydning, betingelser og følger. Spørsmålene vi stiller oss er: Hva sier litteraturen om flyt? Hvordan blir flyt oppfattet og prioritert ute i prosjektene? Er det mulig å måle flyt? Forskerspørsmålene er derfor

1. Hva er forutsetninger, egenskaper og kjernen i flyt-begrepet, og er kontinuerlig flyt for person, operasjon og prosess det beste for byggets fremdrift?
2. Hvilken sammenheng er det mellom flyt, produktivitet og effektivitet?
3. Hvilke teorier er sentrale ved utvikling av en metode for måling av flyt i byggeprosjekter?

En del av oppgaven går ut på å finne ut hvilke teorier som er sentrale ved utvikling av en metode for måling av flyt i byggeprosjekter. Det er ikke funnet noen presis definisjon på flyt i litteratursøket, men det er tilsynelatende en taus forståelse for hva flyt er og innebærer. Vi

har foreslått en presisering av uttrykket produksjonsflyt; hvor jevn strømmen av verdiskapning er. Dette kan forklares nærmere med fravær av stopp, hindringer, venting og variabilitet. Koskelas teori for byggproduksjon sier at produksjon består av transformasjon, flyt og verdiskapning. Essensen i flytbegrepet er redusering av ikke-verdiskapende aktiviteter og variabilitet. Dette samsvarer med vårt forslag til presisering av uttrykket.

Videre i oppgaven har vi forsøkt å finne ut *hva som er forutsetninger, egenskaper og kjernen i flyt-begrepet, og er kontinuerlig flyt for person, operasjon og prosess det beste for byggets fremdrift?* For å svare på denne problemstillingen er det i hovedsak benyttet informasjon som er fremkommet i intervjurunden. Viktigste tiltak for å fremme flyt virker å være god planlegging og unngåelse av hindringer underveis. Kommunikasjon og samarbeid er også trukket fram som betingelser for god flyt i prosjekter. Dette er imidlertid subjektive meninger fra gruppen av intervjuobjekter, og bør ikke benyttes som vitenskapelige resultater. Samme gruppen pekte på at hindringer for flyt i prosjekter kan være force majeure<sup>1</sup>, utilstrekkelig planlegging, feil utførelse, dårlig samarbeid og forsinkelser fra leverandører.

*Hvilken sammenheng er det så mellom flyt, produktivitet og effektivitet?* Det er diskutert i oppgaven hvilken sammenheng det er mellom disse. Det er da tatt utgangspunkt i at produktivitet er forholdet mellom ressurser og *output* og at effektivitet er *output* i forhold til tid. Vi er med dette utgangspunktet kommet til at er flyt ressursuavhengig i den betydning at man ser bort i fra produktivitet ved beregning av flyt. Dette kan forklares med at man kan øke inngående ressurser i prosjektet for å opprettholde en god flyt i prosessen.

Er det mulig å finne en kvantitativ metode for å måle produksjonsflyt? Med utgangspunkt i Shingos inndeling i operasjon og prosess mener vi at produksjonsflyt bør deles hierarkisk i tre nivåer, prioritert i synkende rekkefølge som flyt i prosess, flyt i operasjoner og flyt for hver enkelt person. Med prosess omfattes hele prosjektets fremdrift. Operasjoner er oppgaver underveis som utføres av lag. Personflyt vil være den enkeltes flyt i sitt arbeid. Det er basert på intervjuer og litteraturstudiet at vi konkluderer med at prosjektets flyt bør prioriteres høyere enn et enkelt lags flyt og den enkeltes persons flyt. Dette vil si at det i visse situasjoner vil det være *prosessoptimaliserende* at en person bruker store deler av dagen på venting.

Flyt kan sannsynligvis ikke måles direkte. En passende sammenligning er å spørre hvordan man måler god helse. Det anses likevel som svært sannsynlig at det lar seg gjøre å aggregere indikatorer som vil gi et godt bilde av flyt i de ulike nivåene som nevnt i avsnittet over. Forslag til videre studier er å se på mulighet for å benytte køteori som grunnlag for måling av flyt i prosess og operasjoner. Data produsert i forbindelse med kalkulasjon og akkordmåling ansees også som svært interessant for videre studier. Tapt tid-data gir sannsynligvis gode muligheter for å måle flyt på personnivå. I disse målingene kommer det tydelig fram hva som er verdiskapende og hva som er venting og hindringer. Et supplement til tapt tid-

<sup>1</sup> Ekstraordinær hendelse utenfor partenes kontroll

målingene for bruk til måling av flyt kan være måling av variasjon i grad av verdiskapning over tid. Det vil også være av interesse å se nærmere på om det er mulig å overføre prinsipper fra industriens oppe- og nedetid til byggebransjen. Dette kan ha betydning for et aggregert flytmål.

Marius Salthaug og Morten Sørensen  
Arbeidsflyt i byggproduksjon  
Analyse av målemuligheter

© University of Agder  
Fakultet for realfag og teknologi  
Institutt for ingeniørvitenskap  
2010

## INNHold

---

1	Sammendrag	3
2	Forord	9
3	Innledning	11
3.1	Forskerspørsmål	12
3.2	Lean Production	12
3.3	Lean Construction	13

---

4	Litteratursøk	15
4.1	Innledning	15
4.2	Produksjonsflyt	16
4.2.1	Transformasjon - Flyt - Verdiskapning	16
4.2.2	Sløsing	18
4.2.3	Stabil og pålitelig arbeidsflyt	20
4.2.4	Bruk av flyt i litteratur	21
4.2.5	Flyt i prosess og operasjoner	22
4.2.6	Flyt i vareproduserende industri	23
4.3	Produktivitet	24
4.3.1	Forskjellige tilnærminger til produktivitet	24
4.3.2	Baseline-produktivitet	26
4.3.3	Arbeids- og totalfaktorproduktivitet	27
4.3.4	Produktivitet versus effektivitet	27
4.4	Fremdriftsoppfølging	28
4.4.1	Enkel oppfølging av fremdrift	28
4.4.2	Work Breakdown Structure	29
4.4.3	Location Breakdown Structure	29
4.5	Måleteknikk	30
4.5.1	Intern benchmarking	31
4.5.2	Konkurrerende benchmarking	31
4.5.3	Generisk benchmarking	31
4.6	Indikatorer	31
4.6.1	Kostnadsindikatorer	33
4.6.2	Indikatorer basert på tid	34
4.6.3	Indikatorer basert på helse, miljø og sikkerhet	37
4.6.4	Indikatorer basert på kvalitet	38
4.7	Quick Response Manufacturing	39
4.7.1	Kapasitet og seriestørrelse	40
4.8	Lov om avtakende marginalt utbytte	40
4.9	Refleksjoner rundt litteraturstudiet	41

---

5	Presisert problemstilling	45
6	Metode	47
6.1	Søk etter litteratur	47
6.2	Målinger på byggeplass	48
6.3	Intervjuer og workshops	49

6.4	Reliabilitet og validitet	50
<hr/>		
7	Diskusjon og empirisk analyse	51
7.1	Innledning	51
7.2	Betingelser og konsekvenser ved flyt	52
7.3	Flere typer flyt	53
7.3.1	Prosessflyt versus operasjonsflyt	54
7.3.2	Operasjonsflyt versus personflyt	56
7.4	Feilretting	56
7.5	Er flyt ressursuavhengig?	58
7.5.1	Flyt og effektivitet	58
7.6	Flyt og byggetid	59
7.7	Køteori	62
<hr/>		
8	Mulige flytmål	67
8.1	Flyt i sammenheng med tapt tid	67
8.2	Avviksmåling ved bruk av WBS i forhold til baseline	68
8.3	Subjektive vurderinger av flyt	69
8.4	Måling av verdiskapende og nødvendig tid	69
8.4.1	Akkorddata som målegrunnlag	71
8.5	Støy	72
8.6	Aggregerte flytmål	72
<hr/>		
9	Konklusjon	73
10	Referanser	75
11	Vedlegg	79
11.1	Vedlegg 1 - Workflow in Construction	79
11.2	Vedlegg 2 - Tapt tid-målinger	89
11.3	Vedlegg 3 - KPI-tabell	91
11.4	Vedlegg 4 - Intervjuguide	92



## 2 FORORD

Denne masteroppgaven skrives som avslutning på masterstudiet i industriell økonomi og teknologiledelse og består i en analyse omkring arbeidsflyt i byggproduksjon, samt et forsøk på å finne en metode for å måle denne. Arbeidsflyt er mye omtalt og blir nevnt som en ønskelig situasjon i dagens sentrale teorier innen byggproduksjon. Da det ikke kjennes til noen gode definisjoner eller målemetoder er arbeidsflyten og dens egenskaper valgt som tema for masteroppgaven.

Oppgaven er en del av Involverende Planlegging, et forsknings- og utviklingsprosjekt finansiert av Norges forskningsråd, hvor et av målene er å forstå og måle flyt i prosjektbasert produksjon. De to store byggentreprenørene Veidekke og Kruse Smith samarbeider med undervisnings- og forskningsinstitusjonene Universitetet i Agder, Universitetet i Oslo og Handelshøyskolen BI om dette prosjektet. Universitetet i Agder ved Bo Terje Kalsaas har fått ansvar for delen av prosjektet som omfatter måling av flyt i byggebransjen. Ifølge fremdriftsplanen for forskningsprosjektet er måling av flyt en milepæl som skal fullføres innen fjerde kvartal 2013. Denne masteroppgaven er et skritt på veien mot milepælen og skal etter planen følges opp av flere masteroppgaver.

Vi ønsker å rette en takk til prosjektgruppen i Involverende Planlegging for innspill og idéer på møtet 1. mars hvor vi presenterte idéer til oppgaven. Det er også planlagt en presentasjon i etterkant av oppgaven i samme fora. Prosjektet har, i tillegg til å komme med gode idéer og innspill, dekket våre kostnader til reise og opphold i forbindelse med møter i prosjektgruppen.

Til slutt retter vi en stor takk til vår veileder Bo Terje Kalsaas (dr. Ing og studiekoordinator for masterstudiet i industriell økonomi og teknologiledelse ved UiA) for gode råd og innspill underveis. Videre vil vi takke Helge Nilsen (prosjektleder, JBU Eiendom), John Skaar (HMS- og KS-ansvarlig, Skanska), Arne Reidar Bronebakk (prosjektleder, Kruse Smith), Øystein Meland (dr. Ing og førsteamanuensis, UiA) og Per Askildsen (formann, Br. Reme) for faglige innspill, data og gjestfrihet i forbindelse med bedriftsbesøk.

Kristiansand 24. mai 2010

Marius Salthaug

Morten Sørensen



### 3 INNLEDNING

Å skape flyt i produksjonen er sentralt i teorien bak lean production. Dette er også sentralt i byggebransjens tilnærming til lean thinking – lean construction. De store norske entreprenørbedriftene med blant annet Veidekke og Kruse Smith har iverksatt tiltak for å forbedre planleggingsmetodikk og produksjonen basert på leanprinsippene. I Veidekke kalles prosjektet *Involverende Planlegging*. Tilsvarende prosjekt kalles *Kvalitet i Kruse* hos Kruse Smith. Disse metodene bygger på The Last Planner, som er en praktisk planlegging- og oppfølgingsmetode bygd på prinsipper fra lean construction, utviklet av Glenn Ballard og Greg Howell ved Lean Construction Institute. Metoden ble først presentert i 1993 (Ballard, 1993), og det som skiller The Last Planner fra tradisjonell prosjektledelse er fokuset på sløsing og fokus på *flows*, skissert som overgangen mellom de forskjellige aktivitetene på byggeplassen.

I forordet i Veidekkes veileder om Involverende Planlegging (Veidekke, 2008, s. 1) står det ”Hensikten med *Involverende Planlegging* er å skape flyt i produksjonen gjennom å involvere de som står for produksjonen i planlegging og oppfølging”. Å skape flyt innebærer en form for forbedring og som 100-meterløperen som tar tida for å se hvordan han ligger an i forhold til forrige sesong, må flyt også kunne måles for å kunne bekrefte en forbedring.

Flytbegrepet er heller ikke presisert utover at det har noe med det som skjer mellom aktiviteter å gjøre. Flyt er noe de aller fleste har en oppfatning av hva er og god flyt er noe vi oppfatter som bra. Vi har i denne oppgaven forsøkt å presisere hva flyt er, og om flyt er bra eller dårlig.

Det er ikke funnet noen gode metoder for å måle flyt. Måling av flyt er nødvendig for å kunne etterprøve virkning av de iverksatte tiltak. Det foreligger i denne sammenheng et behov for å kartlegge hva som til nå er publisert av vitenskapelige artikler innen flyt og målemetoder. Problemstillingen er dermed først og fremst å forsøke å konkretisere og presisere flyt-begrepet og dermed bekrefte eller avkrefte hvorvidt flyt er direkte eller indirekte målbart, eller om det er noe som ikke lar seg måle.

Oppgaven fokuserer på produksjonsfasen i byggeprosjekter. Foregående faser som kontrahering og prosjektering, samt etterfølgende faser som forvaltning, drift, vedlikehold og avhending er ikke tatt hensyn til. Oppgaven er delt i tre hoveddeler: et litteratursøk, en diskusjon og empirisk analyse, samt et kapittel med forslag til mulige mål på flyt. I diskusjonskapittelet vil vi diskutere flyt i forskjellige sammenhenger. Diskusjonen og den empiriske analysen består i å diskutere flytens forutsetninger og egenskaper, samt å se flyt i forhold til relevant teori. Vi avslutter med å presentere forskjellige mål på flyt. Disse målene må ikke tas som noen fasit. Det er snarere forslag til flytmål som har oppstått underveis i skriveprosessen. På bakgrunn av dette presenterer vi følgende foreløpige forskerspørsmål:

### 3.1 Forskerspørsmål

1. Hvordan tilnærmer produksjons- og leanteorier seg flyt, og kan en utifra litteraturen lage en operasjonell definisjon av flyt?
2. Hva fremmer og hemmer produksjonsflyt i et byggeprosjekt?
3. Er det mulig å finne en kvantitativ metode for å måle produksjonsflyt?

### 3.2 Lean Production

Lean Production (også kjent som Lean Manufacturing) har sitt utspring fra Toyota Production System (TPS) som i hovedsak er utviklet av Taiichi Ohno. Termen Lean Production og TPS ble gjort kjent gjennom boka "The Machine That Changed the World" (Womack, Jones, & Roos, 1990). Ohno studerte Ford-fabrikkene i USA og ble imponert av det han så, men han innså også at det kunne gjøres så mye bedre. Mens Ford masseproduserte identiske biler (svart T-Ford, svart fordi svart lakk tørket hurtigst), ønsket Ohno å kunne lage biler på bestilling fra kunden, med hurtig levering og uten noen form for lager. Hans første grep var å redusere omstillingstiden på maskiner, og det er gitt et eksempel på hvordan Ohno klarte å redusere omstillingstiden på en stansemaskin fra timer til noen få minutter.

Sentralt i Lean Production står tankegangen om å eliminere sløsing. Det er syv typer sløsing (muda):

- Transport, av produkter som ikke er nødvendig for produksjon.
- Lager, av både råvare, varer i arbeid og ferdigvare.
- Bevegelse, utover det som er nødvendig for å fullføre produksjon.
- Venting, typisk buffere mellom produksjonssteg.
- Overproduksjon, produsere uten etterspørsel
- Overprosessering, lage bedre eller med høyere enn nødvendig.
- Feilretting, og tiden som går til inspeksjon og feilretting.

Å redusere disse er kjernen i Lean Production. Transport av produkter og varer ble redusert ved å tilpasse det fysiske arbeidsområdet på en logisk måte som reduserer transport. For å redusere lager benyttes just-in-time (JIT) og kanban, et kort som gir beskjed til oppstrøms aktør i verdikjeden at de må fylle opp varebeholdning. Overproduksjon tilsvarer push, at varer blir produsert uten at det foreligger en bestilling. Måten Toyota reduserte feilretting var å desentralisere kvalitetskontroll, enhver arbeider hadde rett (og plikt) til å stoppe produksjonslinjen dersom de oppdaget feil. Dette i motsetning til hos Ford, hvor produksjonen skulle gå kontinuerlig for enhver pris. Det Toyota oppnådde med å stoppe produksjon der feil ble oppdaget var læring. Ettersom arbeiderne stoppet umiddelbart kunne de se sine egne feil – og forhindre at samme feil ble begått igjen. Denne kontinuerlige læringen kalles på Toyota-språk *kaizen*. Dette gir også et system-fokus på produksjon. Istedenfor suboptimalisering ved at hver maskin produserer maksimalt av egen kapasitet ser Toyota på hvordan de kan få hele systemet til å prestere best mulig.

Toyota fokuserte altså på kunden og hva som skaper verdi for kunden. De var opptatt av å eliminere alt annet. Gjennom JIT og kanban-systemet ble produksjonen fleksibel og lite sårbar for endringer i design da det til enhver tid var få varer som ble vraket på grunn av for eksempel endring i design. Det førte også til at mindre kapital blir bundet opp i varer. Gjennom kontinuerlig forbedring søkte de hele tiden å oppnå perfektjon i produksjonen.

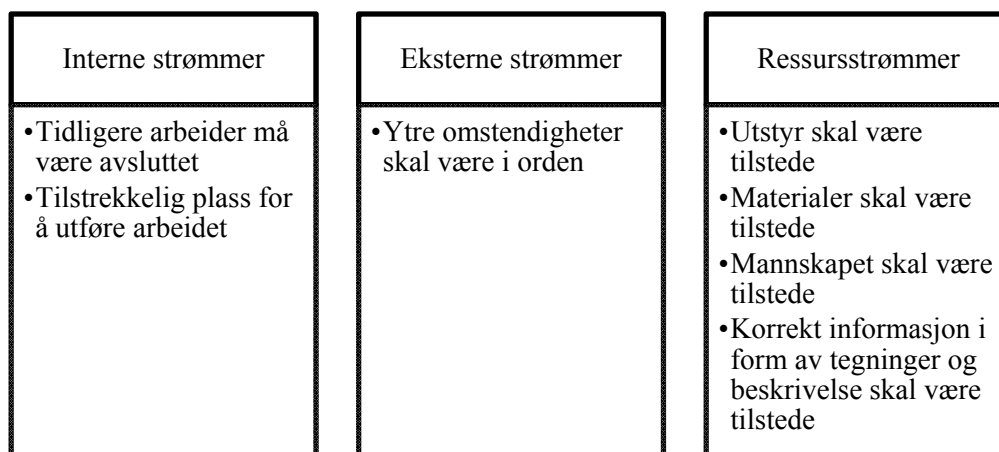
### 3.3 Lean Construction

*”Lean Construction bygger først og fremst på en inngående forståelse av samspillet mellom avhengighet og variasjon i forsyningskjedene og selve arbeidsprosessen, og konsentrerer seg derfor om den fysiske organiseringen av produksjonen”(Andersen, 2004, s. 105)*

Lean Construction er byggebransjens forsøk på å lage et system for tilsvarende lean production, en ny måte å organisere byggproduksjon. Byggproduksjon er ifølge lean construction bestående av transformasjon, flyt og verdiskapning (Koskela, 2000). Transformasjon er det direkte arbeidet som utføres, flyt er strømmen av materialer og arbeidsoppgaver, mens verdi fokuserer på å skape verdi for kunden.

Det Koskela har gjort er å samle disse tre teoriene, transformasjon, flyt og verdi, til én teori (TFV). Flyt er det sentrale innen teorien hans, og med det samkjøring av logistikk, variasjon og avhengighet. Spesielt variasjon og avhengighet, da byggproduksjon med tids- og planleggingspress, engangsproduksjon og produksjon på byggeplass med en midlertidig prosjektorganisasjon, er mer utsatt for dette enn vareproduserende industri.

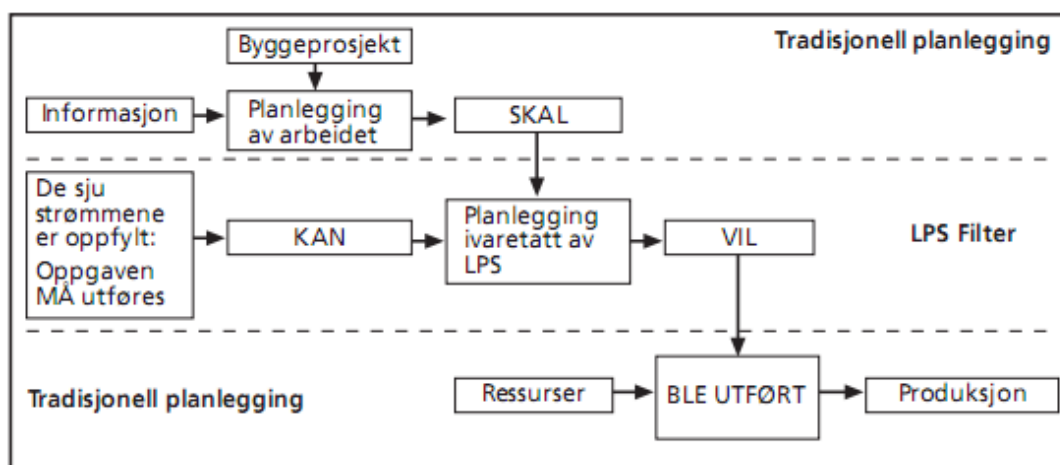
Hensikten med dette, og med lean construction, er å sørge for at ”stafettvekslingene” mellom fag går best mulig, det vil si at alle fag fullfører en aktivitet feilfritt, slik at neste fag uten kan overta uten hindringer. Lean construction skal forbedre kontrollere og koordinasjon av avhengighet og variasjon. ”Stafettvekslingene” er logistikken på byggeplass, altså samkjøring av ulike faggrupper, leverandører, underleverandører, styring av forsyningskjedene til materialer, materiell og arbeidere. Det er her i dette samspillet at forbedringspotensialet ligger, og ikke i å effektivisere operasjonene. At dette er tilfellet, vises ved at for at en aktivitet skal kunne gjennomføres optimalt, må det være syv forutsetninger (også kalt strømmer) tilstede, se Figur 1. Dersom disse forutsetningene er til stede er en aktivitet å anse som sunn.



Figur 1. Forutsetninger for optimal gjennomføring av arbeidsoppgaver. Basert på Koskela (1999), figur fra Andersen (2004).

The Last Planner en praktisk tilnærming til lean construction. Metoden er utviklet av Glenn Ballard og Gregory Howell, og er beskrevet blant annet i kapittel 3 i Ballard (2000) og i Veidekkes veileder om Involverende Planlegging.

Hovedidéen bak Last Planner System (LPS) (og Involverende Planlegging) er å få bedre kontroll på nevnte variasjon i produksjonen. Istedenfor at prosjektledelsen planlegger prosjektets fremdrift i detalj fra start til ferdigstilling, lages det en hovedfremdriftsplan som er en grov plan for hele prosjektet, som er delt opp i faser. Det er prosjektleder som vil være ansvarlig for denne. Faseplanene igjen vil en detaljert beskrivelse av hva som skal gjøres i hver fase, for eksempel tett bygg, innredning, osv. Det neste nivået plan er utkikksplan, og består av aktiviteter 5-6 uker frem i tid. Her skal faseplanen detaljeres og det skal bestemmes hvilke aktiviteter som skal utføres de neste ukene. Dersom aktiviteter i utkikksplanen er sunne, det vil si at de tilfredsstillende syv forutsetningene, flyttes aktiviteten over i en oppgavebuffer som brukes av bas eller formann til å planlegge hvilke oppgaver som skal gjøres i kommende uke. Det er en desentralisert planlegging, og det er de utførende som står for planleggingen, derav navnet the Last Planner.



Figur 2. The Last Planner System. Kilde: Andersen (2004)

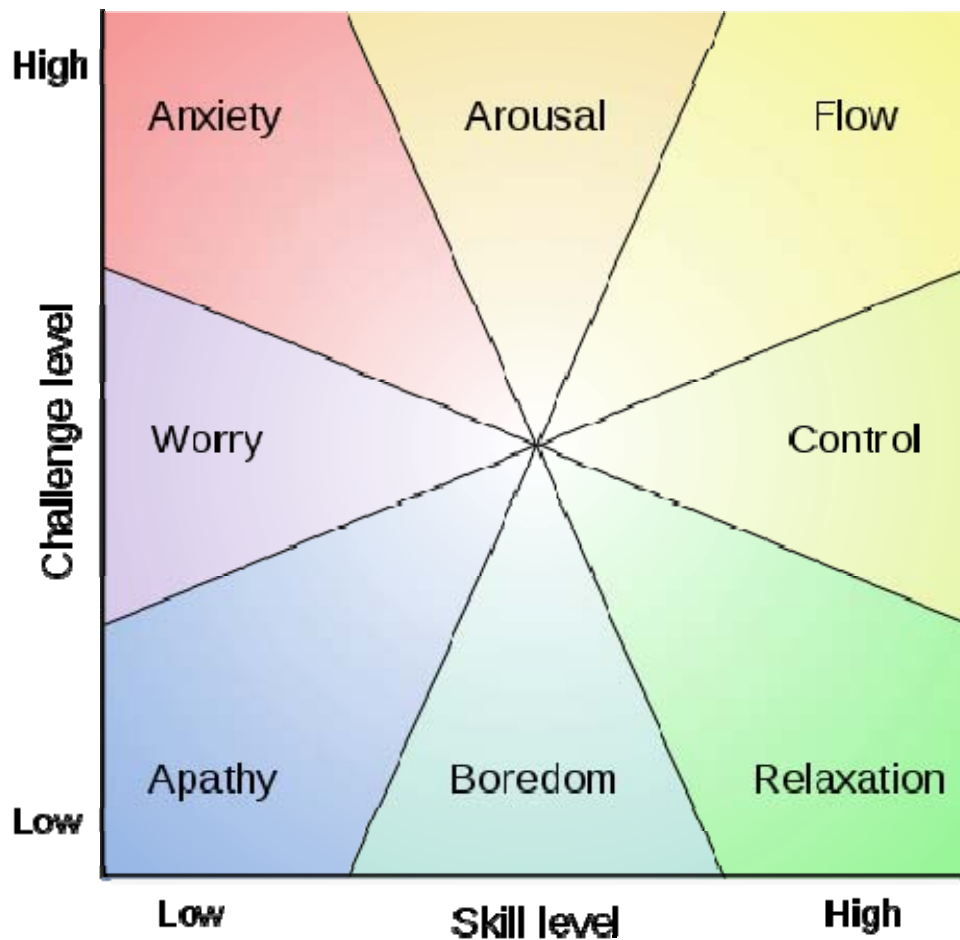
## 4 LITTERATURSØK

### 4.1 Innledning

Flyt er en velbrukt metafor blant annet innen jazz, industri, psykologi, trafikk og idrett. Mange ser for seg en elv eller en rennende bekk når de snakker om flyt. Et bilde på flyt kan være at man tenker seg en bilkø. Ofte når man kjører i kø med bilen vil det oppstå situasjoner i køen som fører til at én bil bremses ned litt. Dette fører til at også bilen bak bremses og bevegelsen forplanter seg videre bakover i køen. Når en bil kjører av hovedveien og inn på en sidevei vil bilen som følger bak tette luka foran seg. Etter hvert som slike situasjoner oppstår i en kø vil både akselerasjoner og nedbremsninger forplante seg bakover i køen og man får et ujevnt kjøremønster. Dette fenomenet blir ofte omtalt som ”dårlig flyt”. Når køen løser seg opp og man kan holde jevn fart, gjerne omkring fartsgrensen, blir situasjonen beskrevet med at ”trafikken flyter godt”.

Flyt forekommer ofte i hverdagslige fraser og uttrykk, både direkte og indirekte. Man hører gjerne om ”turbulente” arbeidsmiljø, markeder, bransjer og tider, ”velsmurte” maskinerier, arbeid som går ”knirkefritt” og ”strømlijeformete” prosesser. Alle disse er bilder av tilstander man ønsker skal flyte jevnt og gjerne hurtig. Av negative termer hører vi om ”friksjon”, ”motstand” og ”sand i maskineriet” eller andre metaforer om ting som gjør at noe stopper opp, skaper friksjon eller ujevnheter.

Flyt blir også omtalt som en sinnstilstand. ”Jeg var i flytsonen i dag” hører man gjerne idrettsutøvere si. I boka *Lean Thinking* (Womack & Jones, 1996) brukes eksempel fra psykologien til å forklare hvorfor det er ønskelig å oppnå flyt. Psykologen Mihaly Csikszentmihalyi (2005) forsker på hva som gjør folk lykkelige. Han mener at folk er lykkeligst når de har utfordringer som akkurat er store nok til hva de har forutsetninger for å mestre. Denne tilstanden kaller han flyt. Flyttilstanden og de syv resterende tilstandene vises i figur 3. For å knytte dette til produksjon ser Womack & Jones til et samleband. En arbeider bruker verken sine fulle evner eller fulle konsentrasjon dersom han står ved en stasjon hvor han produserer 10 enheter før han sender enhetene videre til neste stasjon. I tillegg til at det genererer buffer og mellomlagring, vil han ikke føle at han er i flytsonen og det er ikke flyt i produksjonen. På den annen side, dersom han får kontinuerlig tilbakemelding og produksjonen flyter vil mellomlagring og buffere elimineres. Det å opprettholde konstant produksjon vil være mer krevende da han hele tida må passe på at hele produksjonslinja går og han er direkte ansvarlig for at neste stasjon får det den trenger, når den trenger det. Her er utfordringene større og mer passende i forhold til de kunnskaper og egenskaper arbeideren har. Han vil ifølge Womack & Jones (1996) være i flytsonen.



Figur 3 Utfordringer versus evner (Csikszentmihalyi, 2005)

## 4.2 Produksjonsflyt

### 4.2.1 Transformasjon - Flyt - Verdiskapning

Flyt er blitt konseptualisert av Koskela (2000), som ett av elementene i TFV-modellen. Ifølge Koskela er det flyt i tre forskjellige strømmer.

- Materialflyt, som går fra råvare til ferdig montert. For eksempel en dør blir produsert på fabrikk, levert til byggeplass, fraktet til monteringssted og montert.
- Lokalitetsflyt. Denne råvaren blir montert på flere lokaliteter i bygget. Laget som monterer dører beveger seg gjennom bygget og installerer dører flere steder.
- Monteringsflyt, hvor bygget går gjennom forskjellige produksjonsfaser.

Det er seks grunnleggende prinsipper ved innføring av flyt-konseptet. De blir presentert i det følgende og forsøkt knyttet til byggproduksjon. Det første prinsippet er selve grunnlaget for lean. De to neste prinsippene er avledet fra teori, mens de tre siste er lite koblet til teori, men har vist seg å fungere i praksis.



#### 4.2.1.1 Reduser andelen ikke-verdiskapende aktiviteter

Redusering av ikke-verdiskapende aktiviteter kan knyttes til lean-teori om eliminering av sløsing: overproduksjon, feilretting, transport, unødvendige operasjoner, venting, lager, og intern bevegelse.

Koskela (2004) nevner i en senere artikkel et åttende element av sløsing; making do (noe vanskelig å oversette, men "making do" betyr at man får en jobb gjort med de midler man har tilgjengelig). Making do beskriver fenomenet som oppstår når man begynner på en aktivitet uten at alle forutsetningene for å fullføre jobben er tilstede. Making do og sløsing er også diskutert i avsnitt 4.2.2.

#### 4.2.1.2 Reduser ledetid

Ledetid<sup>2</sup> er ifølge Koskela prosesseringstid, tid til inspeksjoner, venting og bevegelse. Å redusere inspeksjonstid, venting og unødvendig transport vil bidra til å redusere ledetiden. Rent praktisk vil det innebære mindre seriestørrelser som igjen reduserer varer i arbeid, fjerne flaskehals, redusere omstillingstiden til maskiner, for å nevne noen. Ifølge Littles lov er

$$\text{ledetid} = \text{varer i arbeid} / \text{output}$$

Som vi ser av formelen vil en reduksjon av varer i arbeid direkte påvirke ledetida. Ledetid er et upresist begrep, i forhold til byggproduksjon i denne oppgaven benyttes ledetid som byggetid.

#### 4.2.1.3 Reduser variabilitet

Av variabilitet finnes to typer. Man har variabilitet i selve prosessen. Mennesker er ikke monotone, noen ganger tar det en halvtime å utføre en oppgave mens andre ganger blir det gjort på 25 minutter. Det samme gjelder maskiner, selv om variasjonen her er mindre enn hos mennesker. Den andre variasjonen er flyt-variabilitet, som er variasjon i tiden det går mellom en arbeidsstasjon får nye oppgaver. "Variabilitet er en universell fiende" (Schonberger, 1986, s. 14), så det må settes inn ressurser på å redusere den. Koskela har vist gjennom køteori at variabilitet ikke kan reduseres uten å øke ledetida, sløse kapasitet (at arbeidsstasjonene ikke arbeider ved full kapasitet) og/eller redusere output. Køteori er nøyere behandlet i avsnitt 7.7. Redusering av variabilitet blir i byggproduksjon først og fremst håndtert ved LPS og fokus på sunne aktiviteter som kan fullføres uten avbrudd.

#### 4.2.1.4 Gjør aktiviteter enklere

Det er vist at kompleksitet gjør at kostnaden til et produkt overstiger summen av kostnadene til hver aktivitet. Dess mer komplisert et produkt er dess mindre pålitelig vil prosessen være. Flere og mer krevende/kompliserte trinn i en prosess øker sjansen for feil. Typiske metoder

---

<sup>2</sup> Ledetid i vareproduserende industri omfatter som oftest tiden det tar fra kunden bestiller et produkt til kunden mottar produktet. Innenfor prosjektledelse kan ledetiden omfatte tiden det tar å fullføre en oppgave eller et sett avhengige oppgaver. For et helt byggeprosjekt tenkes ledetid å være varigheten av kritisk vei.

for å forenkle er økt benyttelse av prefabrikkerte elementer og fra de prosjekterendes side å unngå å tegne ”lite byggevennlig”.

#### 4.2.1.5 Øk fleksibilitet

Økt fleksibilitet gir muligheter for mindre seriestørrelser. Redusere omstillingstid, innføring av JIT, forsinke tilpasning av hvert enkelt produkt til så langt ut i verdikjeden som mulig og ha en fleksibel arbeidsstokk som kan gjøre flere forskjellige operasjoner. Dette er kjent stoff, blant annet fra Toyota Production Systems. Her påstås det at ved å øke fleksibilitet vil man lettere kunne respondere til etterspørsel, man trenger ikke produsere til lager og varer i arbeid reduseres. I byggproduksjon kan det for eksempel relateres til at man samarbeid på tvers av prosjekter internt i firma, og ikke tviholder på ressurser i frykt av å ikke få de tilbake<sup>3</sup>.

#### 4.2.1.6 Øk gjennomsiktighet

Både fysisk ved at hver enkelt arbeider får oversikt over hele arbeidsplassen, men også ved hjelp av informasjon. Resultatmåling er et eksempel. Informasjon vil også være med å forbedre den kontinuerlige forbedringsprosessen, arbeidere involverer seg mer, og økt gjennomsiktighet gjør kontroller lettere og reduserer faren for feil, samt øke arbeidernes motivasjon (Sacks, Treckmann, & Rozenfeld, 2009). Det er vist til eksempel hvor det benyttes check lister som for å ansvarliggjøre de utførende ved en operasjon.

### 4.2.2 Sløsing

Flyt-konseptet til Koskela består, som tidligere nevnt, i å fjerne de ikke-verdiskapende elementene i produksjon, det vil si eliminere sløsing. Det blir omtalt syv typer sløsing, avledet direkte fra lean production og TPS, som definert av Toyotas Taiichi Ohno. Det som er interessant å se på er hvorvidt disse er direkte overførbare til byggproduksjon, eller om det eksisterer andre, særegne typer sløsing innenfor byggproduksjon.

Først en gjennomgang av de syv opprinnelige formene for sløsing og noen tanker om hvorvidt de er relevante for byggproduksjon. Ifølge Shingo (1990) er alt utenom den siste slaget med hammeren, den siste centimeteren isolasjonen dyttes på plass, den siste omdreininga med skrujernet, sløsing. Følger man den tankengangen er mer eller mindre alt som foregår i byggproduksjon sløsing. Vi kan derfor skille mellom nødvendig sløsing og unødvendig sløsing (Formoso, Isatto, & Hirota, 1999). Når kostnaden for å fjerne en type sløsing er lavere enn kostnaden sløsingens medfører, anses sløsing for å være unødvendig. Det motsatte for nødvendig sløsing. Det er den unødvendige sløsing som er ”hovedfienden”. Samtidig bør ikke den nødvendige sløsing glemmes. Alt kan gjøres bedre, bare se på SMED-historien fortalt i ”The Machine that Changed the World (Womack,

<sup>3</sup> Dette er reelt. I et intervju lærte vi at på enkelte prosjekter lar prosjektledelsen håndverkere gå tilnærmet arbeidsløse fremfor å la de gjøre verdiskapende arbeid på et annet prosjekt hvor det er behov for det. Dette var fordi de, av erfaring, visste at dersom de sendte håndverkerne til et annet prosjekt, ville det bli vanskelig å få de tilbake og det ville gå utover fremdriften.

Jones, & Roos, 1990), hvor omstillingstiden på en maskin ble redusert fra én time til to minutter. De syv typene sløsing fra lean production er:

1) Unødvendig transport, som styres av logistikken på byggeplassen. Det er ønskelig at verktøy og materialer skal være tilgjengelig i en viss avstand. En byggeplass kan ikke organiseres på samme måte som en fabrikk, gipsplater og store ruller isolasjon må plasseres så nærre stedet arbeidet utføres som mulig, men også der hvor det er mest praktisk i forhold til andre fag. 2) Lager, både råvare, varer i arbeid og ferdigvare er sløsing. Angående lager så er det grunn til å tro at dette til en viss grad løser seg selv på grunn av redusert lagerplass på byggeplass og praktiske hensyn med tanke på produktvolum. Dersom et bygg skal ha isolasjon tilsvarende ett lastebillass er det lite sannsynlig at det lønner seg med daglige JIT-leveranser kontra å oppbevare isolasjonen på utsiden. Inntrykk fra intervjuer og observasjoner er at prosjektledere og innkjøpere koordinerer bestilling av materialer og inventar til å bli levert i samsvar med fremdriftsplan. 3) Bevegelse utover det som er nødvendig for å fullføre produksjon. Forutsatt at materialer lagres mest praktisk i forhold til å ikke være i veien for andre, og kortest mulig vei til monteringssted er dette også en sløsing som blir styrt av praktiske hensyn. Det kan reduseres ved at et lag bestående av to personer samarbeider, og den ene kan utføre arbeid mens den andre kapper og henter. Bevegelse er lettere å redusere i en stasjonær fabrikk hvor maskiner står stille enn i byggproduksjon beveger maskinene seg rundt i bygget. Her vil elementer som logistikkplanlegging og rekkefølge på produksjon spille inn. 4) Venting er typisk buffere mellom produksjonssteg. I vareproduserende industri er dette gjerne knyttet til et parti, hvor en maskin utfører arbeid på 100 enheter før et parti blir sendt videre til neste maskin. I det tilfelle må den første enheten produsert vente på de neste 99 før den kan forflytte seg. I byggproduksjon kan venting knyttes til tapt tid (se Figur 9 på s. 37). 5) Overproduksjon vil si produsere uten etterspørsel, det vil si typisk push-produksjon. Én tanke kan være at det er å bygge noe som er ”lite byggevennlig”, altså at tegningene og planene er mer kompliserte enn strengt tatt nødvendig (Lee, Diekmann, Songer, & Brown, 1999). 6) Overprosessering betyr å lage bedre eller med høyere enn nødvendig, for eksempel å lage skuddsikre dører i en småbil. Dette er lite trolig et problem i byggebransjen, snarere det motsatte. 7) Feilretting og tiden som går til inspeksjon og feilretting inngår i tapt tid og snakker egentlig for seg selv. Ifølge en undersøkelse foretatt av Polat & Ballard (2004) mener 16 % av de spurte (300 sivilingeniører og arkitekter) at feilretting er den største kilden til tapt tid, og i en tapt tid-måling på Havlimyra Oppvekstsenter i Kristiansand sto feilretting for 4-6 % av den totale tida (Kalsaas, 2010). Det er viktig at ikke bare feilrettingen blir klassifisert som sløsing, men også den aktiviteten som hvor arbeidet som ble utført feil i utgangspunktet inngår i regnskapet. I tillegg til disse så nevner Formoso, Isatto & Hirato (1999) andre typer sløsing som innbrudd, vandalisme, uvær, ulykker, ting man ikke er herre over selv men kan forhindre (som tyveri, vandalisme og ulykker) eller redusere konsekvensene av (som uvær og force majeure).

Mens det i vareproduserende industri er stort fokus på å redusere lager og varer i arbeid, presenterer Koskela (2004) en ny type sløsing som er enda viktigere å redusere: Making-do. Make do kan oversettes med ”å klare seg”, altså at man klarer å utføre noe med de midler man har til rådighet (vi kommer til å forholde oss til den engelske termen making-do). Making-do oppstår når en aktivitet er ”usunn”, når man mangler én eller flere standard inputs, det være seg materialer, informasjon, verktøy, nødvendig plass eller personell. Koskela peker på tre årsaker til at ”usunne” aktiviteter blir påbegynt. Den første er ”effektivitetssyndromet” hvor man søker å utnytte ressursene mest mulig. Fra køteori (kap. 7.7) ser vi at en høyere utnyttelse av ressurser øker variabilitet som igjen gir økt ledetid, mer varer i arbeid og mindre output. Den andre årsaken er ”krav om umiddelbar tilbakemelding”, at man mangler tillitt til underentreprenører og krever at de skal sette i gang umiddelbart. Det kan også være troa på at jo forttere man kommer i gang, dess forttere blir man ferdig. Koskela viser også at toppstyrte ledelsesfilosofier som ”trykker” aktiviteter fremover, og ikke ser den uoverensstemmelse det er mellom planlagt og reell fremdrift er med på å skape making-do. Det nevnes i tillegg at ytelsesindikatorer som areal ferdig, tjent verdi, tid brukt er med på å fremkalle making-do. Den tredje årsaken er antall komponenter/deler i det som skal bygges er ufordelaktig stort. Som vist tidligere er det minst 7 strømmer som inngår i en aktivitet på byggeplass. Koskela (2000) viser at dersom det er 5 % usikkerhet på hver av de strømmene er den totale usikkerheten for hele aktiviteten 30 %.

Ifølge Koskela er det to konsekvenser av making-do, tekniske konsekvenser og adferdskonsekvenser. De tekniske konsekvensene er en økt og mer variabel prosesseringstid, noe som medfører mer varer i arbeid eller lenger ledetid. Konsekvensen av det igjen er økte kostnader til fagarbeidere og en nedgang i produktivitet, og ikke minst en forstyrrelse i produksjonsflyten på grunn av oppstykket arbeid. Koskela peker også på at det produseres dårligere kvalitet og at det brukes mer tid til feilretting, samt at det er redusert sikkerhet på grunn av unormale forhold rundt arbeidet. Atferdskonsekvensene er ikke forankret i teori eller empiri, men det pekes på nedgang i fagarbeidernes motivasjon og mindre engasjement rundt arbeidet. For å unngå making-do pekes det på å ha en kortsiktig plan for oppgaver som skal utføres slik at ingen ”usunne” aktiviteter blir påbegynt. Last Planner foreslås som verktøy på grunn av det store fokuset på pull-produksjon og det faktum at ingen skal begynne på en ”usunn” aktivitet.

#### 4.2.3 Stabil og pålitelig arbeidsflyt

Stabilitet og pålitelighet er et kriterium for å redusere variasjon, som nevnt på side 17, og det er også tema i store deler av Factory Physics (Hopp & Spearman, 2000). Indikatorer som prosent plan utført (PPU) gir et mål på hvor god en arbeidsplan er, men det er ikke et direktmål på arbeidsflyt. En forutsetning for å kunne legge til rette for en stabil arbeidsflyt er at logistikken på byggeplassen er koblet til det arbeid som til enhver tid utføres. Materialmangel og opphopning av materialer på byggeplassen er sløsing (Arbulu, Koerckel,

& Espana, 2005). Disse forfatterne foreslår å kartlegge verdikjeden og innføre et softwarebasert verktøy<sup>4</sup> for å gjøre bedre samspillet mellom materialleveranse og arbeid. Dette er forsøkt i to case-studier og har blant annet redusert varer i arbeid fra 14 til én dag, økt gjennomsiktigheten på byggeplass og økt produktivitet. Følgene materialmangel og opphopning er uventet avbrudd i aktiviteter og som igjen er en forstyrrelse i flyten. Ifølge Ballard & Howell (1994) er 80 % av forstyrrelser i arbeidet (at man ikke får begynt på en aktivitet, eller at man får begynt men ikke fullført) forårsaket av mangel på tegninger og materialer. Ved å på forhånd sette opp en ukentlig arbeidsplan hvor alle aktiviteter er ”sunne”, skjermes de aktiviteter fra oppstrøms variasjon og man oppnår større pålitelighet (Ballard & Howell, 1994). Denne metoden kan påvirkes ved at planleggeren – the last planner – planlegger mindre arbeid enn nødvendig hver uke. Erfaringene Veidekke har fra denne metodikken er en mer ryddig byggeprosess som gjenspeiler seg i prosjektets økonomi og trivsel (Paulsen, 2009). Spesielt ble det vektlagt at hvert fag fikk en bredere forståelse for andre fags oppgaver.

#### 4.2.4 Bruk av flyt i litteratur

Fra IGLC ble startet har byggeprosessen blitt sett på som en strøm av arbeider/jobber som leverer verdi til en kunde, og brorparten av forskningen har fokusert på arbeidsflyt, det vil si den logiske rekkefølgen av aktiviteter (Bertelsen, Koskela, Guilherme, & Rooke, 2006). De etterlyser en ”*Construction Physics*”, inspirert av ”*Factory Physics*”. De skriver at ”*Construction Physics* er en teoretisk forståelse av alle strømmer og deres påvirkning på et byggeprosjekt” (Bertelsen, Koskela, Guilherme, & Rooke, 2006, s. 33). Dette paperet er det eneste funnet i litteraturen som etterlyser en konseptuell diskusjon av flytbegrepet. De har ikke snevret inn fokuset på arbeidsflyt, de har snarere gått bredt ut og vil lage en syntese av alle strømmene som inngår i et byggeprosjekt, det være seg arbeidskraft, materialer, informasjon, verktøy, kontanter og eksterne krefter.

Litteraturen vi har gjennomgått viser ellers en utstrakt anerkjennelse av Koskelas (2000) flytkonsept. Santos (1999) hevder at produksjon består av venting, transport, inspeksjon og transformasjon, og at det bare er transformasjonen som tilfører produktet verdi. Resterende bør da reduseres eller helst elimineres. Han fokuserer på fire tiltak for å fjerne de tre ikke-verdiskapende aspektene; 1) reduksjon av syklustid, 2) reduser variasjon, 3) øk gjennomsiktighet, og 4) implementér kontinuerlig forbedring i prosessene<sup>5</sup>. Koskelas flytbegrep blir anerkjent og omtalt i blant annet Arbulu, Koerckel & Espana (2005), Ballard & Howell (1994) og Choo & Tommelein (1999) i tillegg til nevnte Santos (1999).

<sup>4</sup> Softwaren presentert i det aktuelle paperet er Strategic Project Solution (SPS), SPS Production Manager og SPS Material Manager. Dette softwaret skal gjøre etterspørsel på byggeplass mer presis, øke gjennomsiktighet i verdikjeden, og håndtere fysisk- og informasjonsflyt ved å koble produksjon sammen med materialleveranse (Arbulu, Koerckel, & Espana, 2005).

<sup>5</sup> Egentlig anerkjenner han Koskelas syv prinsipper, men bruker kun tid på de fire nevnte.

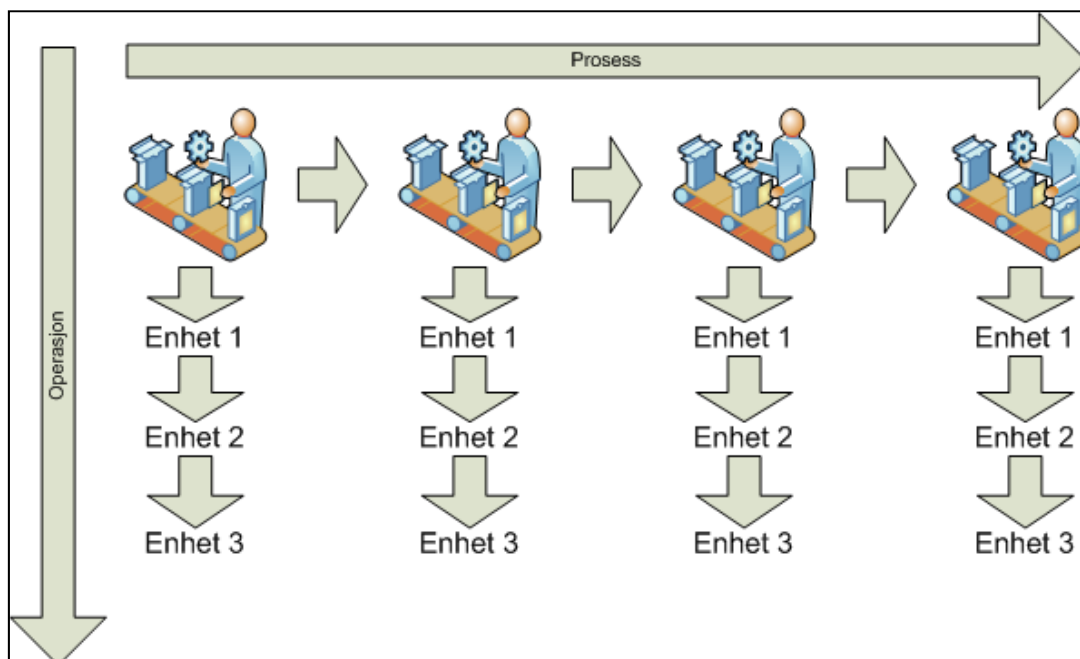
En annen teori hvor flyt blir brukt er i skråstrekplanlegging (se også 4.4.3) (Seppänen & Kenley, 2005). I denne metoden benyttes ikke Gantt-diagram i planleggingsfasen, men et aksesystem hvor tidslinjen går langs x-aksen, mens y-aksen representerer lokasjoner (for eksempel rom, etasje, fløy). En skråstrek vil da illustrere en flyt av arbeid som går fra en lokasjon til en annen. Seppänen & Kenley (2005) foreslår å bruke denne sammen med PPC, at et lag forplikter seg til å utføre arbeid innenfor flere lokasjoner istedenfor diskrete hendelser. De argumenterer videre for at det vil gi større forpliktelser ved at arbeidere forplikter seg til en rekke aktiviteter gjennom flere lokasjoner istedenfor kun diskrete aktiviteter. Dette skal forbedre arbeidsflyten. Ifølge Seppänen (2009) er flyt er det som skjer mellom transformasjonen. Andersen (2004, s. 102) skriver at fokuset i lean construction-tankegangen skal være flyt, og finne ”fornuftige løsninger på logistikkproblemene i bygg- og anleggsbransjen”.

I en SINTEF-rapport (Ingvaldsen & Edvardsen, 2007, s. 59) om effektivitetsanalyser av byggeprosjekter at *”Et vesentlig bidrag til forskjell i effektivitet ligger trolig i prosjektlederens og håndverkerens evne til å få arbeidet til å ”flyte”*.

#### 4.2.5 Flyt i prosess og operasjoner

Ved måling av flyt og i diskusjonen om flyt mener vi at det bør skilles mellom flyt i operasjoner og flyt i prosess. I vareproduserende industri er prosessen alle trinnene et produkt går gjennom fra råmateriale til ferdig produkt. Operasjonell flyt er det den enkelte arbeider utfører på et produkt på hver maskin. Eksempelvis i en work-breakdown structure vil operasjonell flyt være vertikalt, mens prosessflyt vil være horisontal, se Figur 4. Figuren bygger på Shingos (1990) definisjon av prosess og operasjon. For å forklare forskjellen kan vi se på et eksempel (Shingo, 1990) på et tenkt produkts flyt fra råmateriale til ferdig produkt. Arbeider A retter ut råmateriale, arbeider B kutter det i oppgitte lengder, arbeider C sliper det, arbeider D polerer og slik går produksjonen fremover. Hver arbeider gjør én diskret oppgave. Ifølge Shingo (1990) er dette prosessflyt og prosessen representeres ”produksjonens fasade”. Dette arbeidet vil arbeider A gjøre på enhet 1, enhet 2, enhet 3, enhet 4, osv. Der er denne subprosessen Shingo kaller operasjon.

Frank B. Gilbreth satt fokus på prosess og operasjon allerede i 1921, men i motsetning til Shingo plasserte han de på samme akse og at forskjellen i prosess og operasjon er hvor stor del av produksjonen man fokuserer på i en eventuell analyse. Dette er ifølge Shingo feil, han argumenterer for at produksjon er et nettverk av prosesser og operasjoner, og at operasjoner er noe som supplerer prosessen.



Figur 4. Shingos skille mellom prosess og operasjon i vareproduserende industri<sup>6</sup>.

I litteraturen fokuseres det på at i vareproduserende industri bør fokuset være på å forbedre prosessflyt fremfor operasjonell flyt (Shingo, 1990) og at det bør fokuseres på å forbedre operasjon etter at prosessflyt er optimalisert. Dette for å unngå suboptimalisering som kan oppstå ved at enkelte operasjoner er bedre enn andre. Effekter av det kan være opphopning, økning av varer i arbeid som igjen kan føre til mer feil, for eksempel på grunn av stress og hastverk. Overført til et byggeprosjekt vil det si at prosjektets fremdrift er prosessen, mens alle aktiviteter (eks: støpe gulv, legge varmekabler, legge fliser) er operasjoner.

**En foreslått presisering av dette er at operasjon er definert som det arbeid et arbeidslag kan gjøre uten innblanding fra andre fag, mens prosessen er byggets fremdrift.**

#### 4.2.6 Flyt i vareproduserende industri

Womack & Jones (1996) blir kritisert av Koskela (2000) for at det er en for lite akademisk fremstilling. Kontinuerlig flyt og flyt blir brukt om hverandre. Videre anerkjenner han at de skriver om noen av kjernekonseptene innen flyt. Noen definisjon av flyt gir de derimot ikke. Det gjør heller ikke Schonberger i *World Class Manufacturing* (1986) eller forfatterne av *Lean Thinking* (Womack & Jones, 1996). De beskriver flyt i ei produksjonslinje. Flyt er det motsatte av stop-and-go, hvor varer flyter fra én maskin til neste uten venting eller buffer i mellom. Så lenge en fabrikk er dedikert til ett produkt er dette lett å håndheve, men så fort det er flere produkter som skal fremstilles så vanskeliggjør det JIT-tilnærmingen. For å oppnå dette pekes det på to viktige faktorer; reduisering av ledetid og variasjon. Merk at det er to av faktorene Koskela peker på for å oppnå flyt.

<sup>6</sup> I Shingo er prosess langs y-aksen og operasjon langs x-aksen, hvor operasjonen "fører" prosessens fremdrift.

I definisjonen av hva et vareproduserende system er, skriver Hopp & Spearman (2000, s. 190) at et ”produksjonssystem er et målorientert nettverk av prosesser hvor enheter flyter”. Flyten er definert som ”hvordan materialer og informasjon blir bearbeidet”, altså hvordan produksjonslinjen er lagt opp, hvilken rekkefølge og fysisk utforming produksjonslinjen har, hvordan informasjon håndteres og spres, hvordan varelager og varer i arbeid blir behandlet og eventuelt forsøkt redusert.

### 4.3 Produktivitet

Produktivitet er nevnt mange steder i litteraturen. Felles for de fleste tilfeller er ønsket om å finne ut hvor mye man får igjen i forhold til hvor mye man bruker, altså forholdet mellom ressurser og ferdig produkt. I et byggeprosjekt er man gjerne interessert i hvor mange kvadratmeter gulv som er mulig for en mann å legge i løpet av en time for å kunne planlegge ressursbehov, gi pristilbud og budsjettere kostnader. Et enkelt og godt kjent produktivetsmål folk flest forstår og kjenner til er bilbransjens indikator som forteller hvor mange liter drivstoff en bil trenger for å kjøre én mil. Grunnen til at man velger å se nærmere på produktivitet i denne oppgaven er at det tenkes å være en sammenheng mellom flyt og produktivitet. Det er derfor nyttig å ha en korrekt oppfatning og en presis definisjon av hva produktivitet er.

#### 4.3.1 Forskjellige tilnærminger til produktivitet

I en artikkel fra 1982-årgangen av Business Roundtable blir produktivetsmål i byggebransjen omtalt. Det nevnes blant annet at man bør ha et hensiktsmessig mål for sammenligning. Det tas som eksempel at man bør heller se på arbeidstimer per meter motorvei i stedet for å se på arbeidstimer per kilo armeringsstål som inngår i byggingen av veien. Senere i artikkelen gis det også eksempler på at flere store entreprenørfirmaer måler produktivitet på visse oppgaver. Eksempelvis antall arbeidstimer benyttet per kubikkmeter betong, og antall arbeidstimer benyttet per meter rør (The Business Roundtable, 1982).

Park, Thomas & Tucker (2005) benytter ressurser (*input*) i teller og ferdig produkt (*output*) i nevner ved beregning av arbeidsproduktivitet (*labor productivity*), og hevder samtidig at dette er det mest benyttede i byggebransjen. Som ressurs benyttes arbeidstimer (*manhours*) og som ferdig produkt benyttes produsert mengde (*installed quantity*). Det vil si at man måler antall arbeidstimer per enhet arbeid, og at et lavt produktivitetstall betyr god produktivitet – altså liten bruk av ressurser i forhold til hva man har skapt.

En annen tilnærming er fra Seppänen og Kenley (2005). I sin artikkel forklarer forfatterne hvordan man kan benytte statusdata fra forskjellige lokaliteter på byggeprosjektet til å måle og sammenligne ytelse. Seppänen og Kenley (2005) benytter følgende inngangsdata ved beregning av sine prestasjonsmål:

- Faktisk produserte mengder
- Faktisk benyttede ressurser



- Faktisk lengde på arbeidsdagen og faktisk antall fridager
- Faktisk oppstart- og ferdigstillellesdato
- Faktiske avvik

Dette er data Seppänen og Kenley (2005, s. 266) benytter på følgende måte:

- *Total effektiv varighet* =  
*faktisk ferdigstillellesdato – faktisk oppstartsdato – forstyrrelser – feriedager*
- *Faktisk produksjonsrate*  $\left[ \frac{\text{enheter}}{\text{skift}} \right] = \frac{\text{faktisk produsert mengde}}{\text{Total effektiv varighet}}$
- $\left[ \frac{\text{Faktiske manntimer}}{\text{dag}} \right] =$   
*(Faktisk antall ansatte) · (faktisk lengde på arbeidsdagen)*
- *Faktisk ressursforbruk*  $\left[ \frac{\text{Manntimer}}{\text{enhet}} \right] = \frac{\left[ \frac{\text{Faktiske manntimer}}{\text{dag}} \right]}{\text{Faktisk produksjonsrate}}$

Som vi ser, er Seppänen og Kenleys (2005) *faktisk ressursforbruk* en noe mer presisert og standardisert tilnærming til produktivitet i forhold til Park, Thomas & Tucker (2005). Det gjør at vi lettere kan benytte produktivitet som sammenligningsgrunnlag. Metoden forutsetter imidlertid at det lar seg gjøre å måle det utførte arbeidet. Gode målinger kan blant annet benyttes til å beregne fremtidig ressursforbruk gitt historisk produktivitet, eller behov for overtidstimer gitt ny planlagt ferdigstillellesdato. Det er forfatterens oppfatning at disse størrelsene også bør kunne brukes til prestasjonsmåling innen produktivitet, og i neste omgang som et ledd i måling av flyt.

I Sintef-rapporten *Produktivitet og logistikk i bygg- og anleggsbransjen: Problemområder og tiltak* (Veiseth, Røstad, Andersen, Torp, & Austeng, 2004, s. 8) blir produktivitet i bygg- og anleggsbransjen beskrevet etter Horner & Duff (2001) som:

*”Output er hvor mye vi har produsert. Produktivitet er hvor mye vi produserer per enhet input.*

*Fra kundens perspektiv vil høyere produktivitet føre til lavere kostnader, kortere byggetid, mer valuta for pengene og høyere avkastning av investert kapital.*

*Fra entreprenørens perspektiv vil høyere produktivitet føre til sterkere konkurransefortrinn, mer fornøyde kunder, større omsetning og økt profitt.*

*Fra samfunnets perspektiv vil høyere produktivitet føre til bedre utnyttelse av knapp kapital, større insentiver til å investere, flere arbeidsplasser og økonomisk fremgang.”*

Horner og Duff (2001) sin definisjon virker hensiktsmessig for bruk i byggebransjen, men ser imidlertid ut til å være nokså lite spisset, og kan etter vårt syn gjelde både ved bruk av for eksempel penger, antall sysselsatte og antall arbeidstimer som input. Albriktsen (1989, s. 13) presiserer at produktivitet er ”produksjonsresultat per enhet av innsatsfaktor”, og at både produksjonsresultat og innsatsfaktorer kan ha forskjellig benevnning. For å utlede en total-

eller gjennomsnittlig produktivitet er det da vanlig å regne om innsatsfaktor og produksjonsresultat til kroner og øre, eller en annen sammenlignbar enhet. For selve uttrykket produktivitet er det lite variasjon i definisjon og bruk på et generelt nivå. Det er når man skal sammenligne på tvers, eksempelvis i byggeprosjekter, at man har behov for en standardisert måte å beregne hva som skal være input og output. Dette vil vi se nærmere på i de neste avsnittene. Baseline-produktivitet er en tilnærming som kan spise produktivetsbegrepet noe for bruk i byggebransjen.

#### 4.3.2 Baseline-produktivitet

Baseline kan i denne sammenheng oversettes med sammenligningsgrunnlag. Vi velger for enkelthets skyld å benytte *baseline-produktivitet* som uttrykk videre i oppgaven. Thomas og Završki (1999) presenterer baseline-produktivitet som en metode for å måle produktivitet. Metoden forutsetter at man har en kunnskapsbase med data fra tidligere prosjekter. Den muliggjør sammenligning på tvers av prosjekter innen samme fag og tar utgangspunkt i to hypoteser (Thomas & Zavrski, 1999, s. 296):

*Hypotese 1 – Prosjekter som har en god arbeidsproduktivitet basert på den kumulative produktiviteten, viser også minimal variabilitet i daglige produktivetsverdier. Dårlige utførte prosjekter har høy variabilitet. Gode og dårlige utførte prosjekter kan skilles fra hverandre ved å se på verdien av enhetsproduktiviteten.*

*Hypotese 2 – Baseline-produktivitet er en funksjon av designets kompleksitet eller vanskelighetsgrad (work content). Når vanskelighetsgraden øker (more complexity), øker også verdien av baseline-produktivitet (dvs. blir verre).*

Hypotesene er sannsynligvis gyldige i de fleste byggeprosjekter, dog bør man ta høyde for spesialtilfeller hvor disse ikke kan legges til grunn. Videre fortsetter Thomas og Završki (1999) med en algoritme for å beregne en baseline. Som grunnlag kan man benytte enten et prosjekt eller en database med flere prosjekter. Man finner 10 % av totalt antall arbeidsdager og runder dette tallet,  $n$ , til nærmeste odde tall større enn 5. Deretter finner man de  $n$  dagene som har høyest daglig output. For disse dagene beregner man produktivitet per dag og baseline blir da medianen av disse. Produktiviteten som blir målt i prosjektene og sammenlignet med baseline, blir målt i arbeidstimer per kvadratmeter ved legging av gulv, arbeidstimer per meter ved støping, eller armering av vegg.

Ofte er det vanskelig å sammenligne forskjellige arbeider, for eksempel oppsettingen av én murvegg i forhold til en annen. Kanskje har den ene veggen flere hjørner, vinkler og utsparinger. Dermed ønsker man å korrigere for dette ved beregning og sammenligning av produktivitet. Dette blir i Thomas og Završkis (1999) artikkel løst ved å innføre en faktor, Work Content (WC), som korrigerer produktivetsmålet. Man korrigerer altså verdiene man får ut ved å ta hensyn til arbeidets vanskelighetsgrad. WC blir delt i 5 vanskelighetsgrader og

listet i en tabell som beskriver graden av utfordringer. Baseline kan da benyttes i ulike situasjoner.

#### 4.3.3 Arbeids- og totalfaktorproduktivitet

Arbeidskraftproduktivitet er et uttrykk benyttet både av Statistisk Sentralbyrå og Norges Bank. Norges Bank beskriver i en rapport (Hagelund, 2009) hvordan arbeidskraftproduktivitet kan defineres. Først ser man på produksjon per sysselsatt person. Dette blir beskrevet som et dårlig mål da det ikke tar hensyn til hvor mange timer hver enkelt jobber, og da blir unøyaktig ved endringer i konjunkturer som fører til endringer i arbeidstid. Produksjon per arbeidstime blir da trukket frem som et bedre alternativ. Argumentet mot å bruke produksjon per arbeidstime er at det kan oppstå vanskeligheter med å måle antall arbeidstimer – spesielt når man ønsker å sammenligne firmaer i hele verden. Sintef benytter også det de kaller *arbeidsproduktivitet* i en av sine rapporter (Ingvaldsen & Edvardsen, 2007). Her peker de på at timeforbruk per m<sup>2</sup> bruttoareal (BTA) sier noe om hvor rasjonell produksjonen er. Lav arbeidsproduktivitet kan imidlertid skyldes andre ting enn de som utfører – ofte skyldes det feil i tegningsgrunnlag, planlegging eller dårlig utstyr.

Totalfaktorproduktivitet (TFP) er en indikator som sier noe om veksten i produktivitet som ikke skyldes økt input i form av kapital eller arbeidskraft. TFP beskriver økninger i arbeidskraftens kompetanse og utdanningsnivå, fremskritt i teknologi, endringer i materialtyper og -kvaliteter eller nye produksjonsmetoder (Horngren, Datar, & Foster, 2007). Totalfaktorproduktivitet blir nevnt på forskjellige steder i litteraturen hvor det er interessant å sammenlikne land eller regioner seg i mellom (Hagelund, 2009). Det kan i noen tilfeller også være interessant å se på total faktorproduktivitet når det gjelder å sammenligne bedrifter i samme bransje, eksempelvis byggebransjen (Veiseth, Røstad, Andersen, Torp, & Austeng, 2004).

Horngren, Datar og Foster ser litt mer generelt på TFP i boken *Cost Accounting* (2007). De forklarer at totalfaktorproduktivitet er forholdet mellom mengden produsert output og kostnaden for alle inputs involvert i å skape denne. I deres eksempler brukes TFP som *benchmark* fra et år til et annet innen samme bedrift. Det gis også eksempler fra bedrifter som benytter TFP som grunnlag for resultatbasert bonuslønn. Det anbefales her å se TFP i sammenheng med andre produktivetsmål, da TFP har sine svakheter og kan virke suboptimaliserende som prestasjonsmål alene.

#### 4.3.4 Produktivitet versus effektivitet

Effektivitet er et sentralt begrep når man snakker om flyt. Både produktivitet og effektivitet sier noe om ytelse, og kan ofte oppfattes som det samme. På engelsk skiller man innen effektivitet mellom *efficiency* og *effectiveness*. Peter Drucker, en amerikansk forfatter og management-teoretiker, definerte i sin tid *effectiveness* som det å gjøre det rette og *efficiency* som det å gjøre det riktig. Sintef Byggforsk skriver i en av sine rapporter (Ingvaldsen &

Edwardsen, 2007) at begrepene produktivitet og effektivitet blir brukt om hverandre, men at de har sin presise definisjon gitt fagmiljø og brukssammenheng. Albrigtsen (1989) skriver at effektivitet og produktivitet ofte brukes om hverandre, det er for eksempel vanlig å kalle en bedrift med høy produktivitet som effektiv. Han foreslår en mer definert grense mellom begrepene effektivitet og produktivitet, nemlig at effektivitet er et mål i forhold til noe, altså et relativt mål, mens produktivitet altså i forhold til innsatsfaktor. At effektivitet er et relativt mål støttes også av Ingvaldsen & Edwardsen (2007). I denne oppgaven vil effektivitet bli sett på som hvor mye som er skapt i forhold til tid. Det vil si at effektivitet er ressursuavhengig og at produktivitet og effektivitet bør sees i sammenheng for å få et godt bilde av hvordan produksjonen har foregått.

#### 4.4 Fremdriftsoppfølging

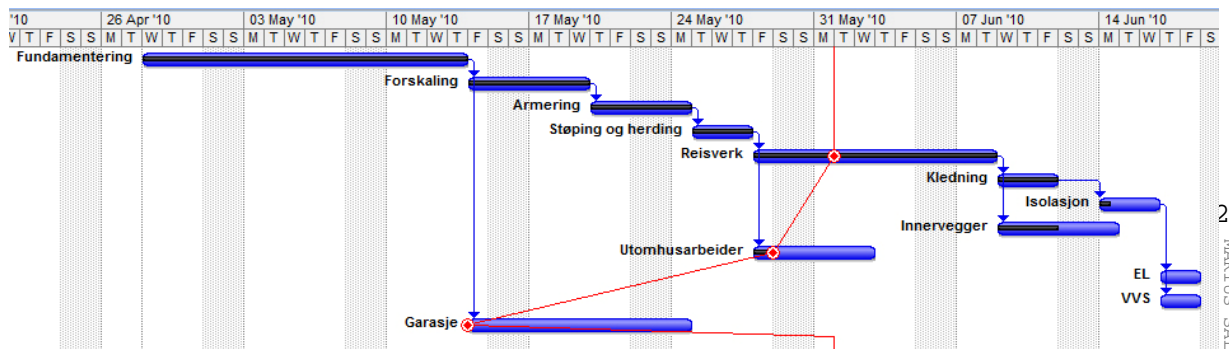
Det er mulig å se på fremdrift i prosjekter i form av hvor mye av arbeidet som er utført. Man kan også se på hvor lang tid som er brukt og hvor lang tid som var satt av totalt. Helst bør disse sees i sammenheng med hverandre for å få et bilde av hvor god produktiviteten er, og for å finne ut hvilket ressurspådrag som er nødvendig for å nå tidsfrister. En trygg innfallsvinkel til vurdering av fremdriften kan være å se på hvor mange timer, eller hvor stor andel av jobben, som *gjenstår*. Gjenstående tid er oftere sikrere i bruk enn forbrukt tid, da denne tar hensyn til endringer i produktivitet.

##### 4.4.1 Enkel oppfølging av fremdrift

*Tjente timer* er et brukt mål for å beregne hvor langt man er kommet i prosjektet. Tjente timer er andelen av planlagt fysisk arbeid som er utført på måletidspunktet multiplisert med planlagt antall timer totalt. Metoden for å finne andelen utført fysisk arbeid bør vurderes i hvert enkelt tilfelle. Man kan måle antall enheter, eksempelvis ved innsetting av dører i et stort kontorbygg, eller antall kubikkmeter betong som er støpt i en dam. En poengskala kan også benyttes dersom man har en jobb som ikke lar seg tallfeste i enheter. Dersom man deler skalaen i 5 deler og anslår ved bruk av skjønn hvor langt man er kommet, vil dette gi et brukbart mål på fremdriften. Milepæler kan være nyttig ved bruk av en slik skala.

*Verdi av utført arbeid* er en annen måte å se fremdriften på. Her settes det fysiske arbeidet som er utført i et verdiperspektiv. Man kan da også se hvor god produktiviteten i prosjektet har vært fram til et gitt tidspunkt ved å se på antall arbeidstimer i forhold til verdi av utført arbeid.

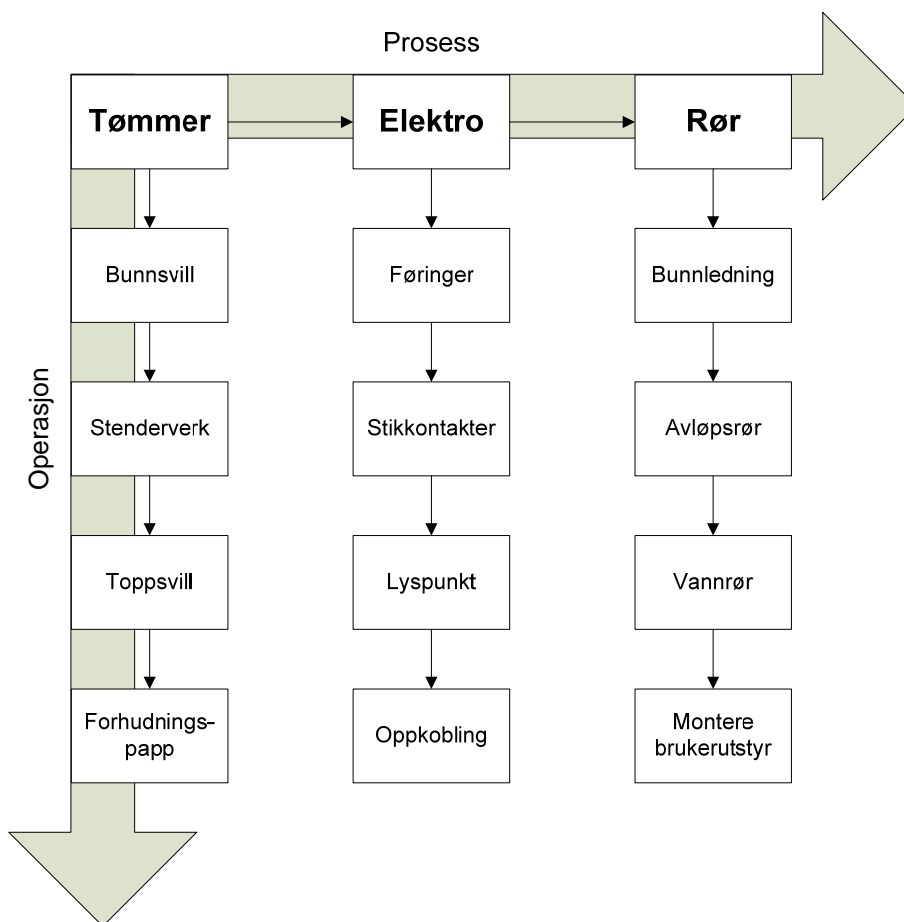
En klassisk måte å fremstille fremdriften på er å benytte Gantt-diagrammer med tidslinje som illustrerer hvor langt i prosessen man etter planen skulle vært, og en prosesslinje som viser hvor langt man faktisk er kommet. Diagrammet nedenfor figur 5 viser en typisk fremdriftsoppfølging basert på utført arbeid.



Figur 5 Gantt-diagram for oppfølging av prosjektfremdrift

#### 4.4.2 Work Breakdown Structure

Work breakdown structure (WBS) benyttes ofte ved planlegging av byggeprosjekter, og består i å bryte arbeidet ned i mindre og mer håndterlige stykker (Arbulu, Koerckel, & Espana, 2005). Ofte vil man vite hva prosjektet koster, hvor lang tid det vil ta og hvilke ressurser man skal benytte. Et element i strukturen kan for eksempel være en vare, tjeneste, materialer eller en oppgave.

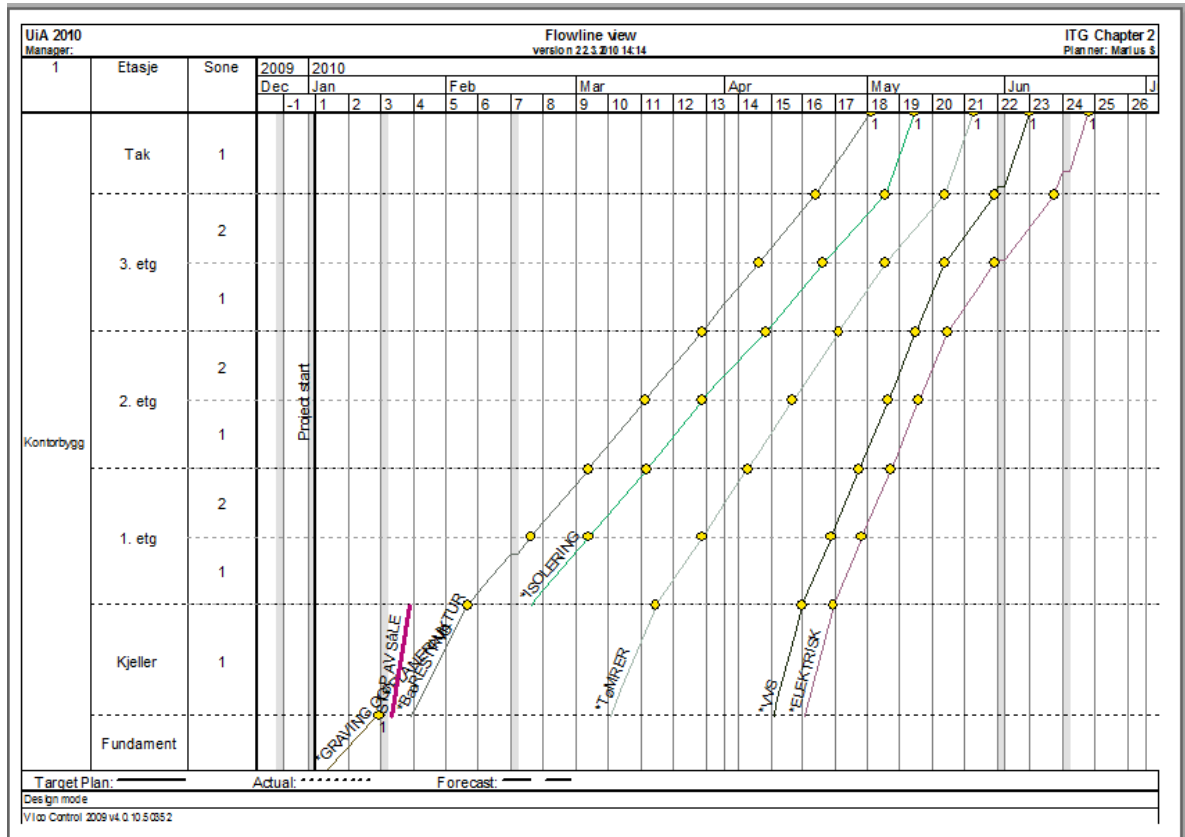


Figur 6 Illustrasjon av en tenkt work breakdown structure (WBS).

#### 4.4.3 Location Breakdown Structure

Location breakdown structure (LBS), ofte visualisert ved bruk av skråstreksdiagram og flowlines, bryter også ned arbeidet i mindre biter, men her benytter man lokaliteter som

grunnlag for nedbrytningsstrukturen. I LBS blir delene knyttet til sin faktiske posisjon i det ferdige bygget. Dette gjør at man enklere kan følge opp fremdriften underveis i prosjektet. Et verktøy som benytter LBS både i planlegging og som oppfølgingsverktøy er Vico Control. Her kan man lage egne strukturer for prosjektet man ønsker å planlegge eller følge opp. Under vises et utsnitt fra et tenkt prosjekt.



Figur 7 Utsnitt fra *Vico Control 2009*.

Utsnittet ovenfor viser hvordan et kontorbygg blir brutt ned i etasjer som igjen blir delt i soner. På denne måten kan man tildele de forskjellige fagene sine oppgaver gjennom hele prosjektet. Fremdriften kan man se av strekenes helning i *flowline view*. Måten å planlegge på som vises over blir ofte referert til som *skråstreksplanlegging* og er et supplement eller alternativ til tradisjonell *Ganttplanlegging*.

#### 4.5 Måleteknikk

Det som går igjen i litteraturen er at ettersom effektiviseringsteknikker og planleggingsmetodikker som Total Quality Management (TQM), Quick Response Manufacturing (QRM), Quality Assurance (QA), Last Planner System (LPS) og lignende blir anerkjent, oppstår det et behov for å bekrefte/avkrefte virkningen av tiltakene. Akkurat som en sprinter tar tida når han trener på en 100-meter for å se om treningsmetodene fungerer, har firma i byggebransjen et behov for å måle om de "treningsmetodene" de gjennomfører fungerer. Hvis vi antar at sprinteren er i verdensklasse, er det naturlig at han måler tidene sine på 100-meter mot en verdensrekord. Det er det langsiktige målet. På kort sikt vil han

måle tiden mot sin egen personlige rekord for å oppnå personlig forbedring. Dette gjelder også i byggebransjen.

Måleteknikk er ofte omtalt som benchmarking, et ord vi tar til oss som norsk i denne oppgaven. I litteraturen er det nevnt tre forskjellige typer benchmarking; intern, konkurrerende og generisk (Swan & Kyng, 2004; McCabe, 2001; Fisher, Miertschin, & Pollock Jr., 1995).

#### 4.5.1 Intern benchmarking

Intern benchmarking er å måle sin egen prestasjon og sammenligne med andre prestasjoner du selv har gjort. I en stor organisasjon vil det si at man sammenligner mot andre avdelinger som presterer bra eller andre prosjekter som presterer bra. For Veidekkes del vil dette være å sammenligne de seks pilotprosjektene hvor Involverende Planlegging er benyttet mot tidligere prosjekter som har vært ansett som vellykkede, både hva tid, forutsigbarhet og kostnader angår.

#### 4.5.2 Konkurrerende benchmarking

Konkurrerende benchmarking kan like gjerne kalles ekstern benchmarking. Her sammenligner man sine egne resultater med resten av bransjen. Disse tallene kan være vanskelig å samle inn, da ikke alle andre nødvendigvis er så innstilt på å dele all informasjon med konkurrenter. I kjølvannet av dette har det dukket opp såkalte *benchmarking clubs* som samler inn, bearbeider og anonymiserer data. Eksempler på slike klubber er Construction Excellence UK og Houston Business Roundtable, som begge har tatt på seg rollen å samle inn data som igjen kan kjøpes av bedrifter.

#### 4.5.3 Generisk benchmarking

Generisk benchmarking er å sammenligne sine egne prosesser og operasjoner med lignende operasjoner i helt andre bransjer. Eksempler på dette er enkelte flyselskaper som ser hva Formel-1 lag gjør når de skifter hjul og fyller bensin på en bil på under syv sekunder, og tar lærdom av dette for å kunne være mer effektive til å klargjøre fly ved gaten. Et annet eksempel hyppig nevnt er maling av biler, hvor General Motors ser til konkurrentene. Hvordan bilen males er ganske likt og det er ikke her konkurransefortrinnet ligger. Deling av informasjon er derfor lettere å få til. I denne kategorien er det nok mye skjult for byggebransjen. Inntrykket vårt er at veldig mange entreprenører gjør mye likt og varianter av lean og LPS er under testing blant flere selskaper (Veidekke, Kruse Smith og Skanska av dem vi har kjennskap til).

### 4.6 Indikatorer

Prestasjonsmålinger har flere formål. Blant annet som styrings- og ledelsesverktøy, grunnlag for lønn og verktøy for måling av leverandører. I denne sammenhengen er prestasjonsmålingen og bruk av kritiske prestasjonsindikatorer (KPI), i hovedsak tenkt som

et verktøy for å kunne måle graden av flyt i produksjonen i et byggeprosjekt. Bjørnenak & Stensland (2009) skriver at et godt prestasjonsmålingssystem skal bestå av KPIer som supplerer og utfyller hverandre, samtidig som de hver for seg er vesentlige. KPIer for prestasjonsmåling av leverandører skal i følge Bjørnenak & Stensland (2009)

- være relevante for overordnet måloppnåelse.
- la seg kommunisere både internt og eksternt.
- være målbare og la seg evaluere. Man skal kunne evaluere nivået etter en - referanse.
- være presise og kunne måles med en rimelig grad av presisjon
- ikke være manipulerbare
- fylle hverandre ut som helhet slik at høy score i én dimensjon ikke går uoppdaget på bekostning av en annen.

Hensikten med KPIer<sup>7</sup> i byggebransjen er i følge Chan & Chan (2004) å kunne måle ytelse på prosjekter og organisasjoner. Chan & Chan (2004) skriver videre at man i prosessen med å utvikle KPIer skal ta hensyn til følgende faktorer:

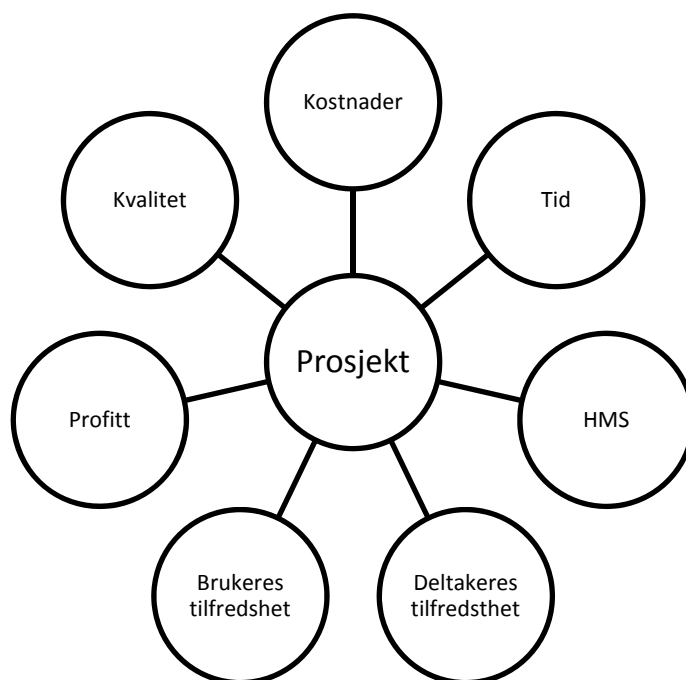
- KPIer er i hovedsak ytelsesindikatorer som fokuserer på kritiske aspekter av produkter eller resultater.
- Kun et begrenset, håndterlig antall KPIer er holdbart for normal bruk. For mange KPIer kan kreve for mye tid og ressurser.
- Systematisk bruk av KPIene er essensielt da de ofte avhenger av, og stammer fra, konsekvent bruk i tidligere prosjekter.
- Innsamling av data bør gjøres så enkelt som mulig.
- Man bør benytte store datagrunnlag for å redusere sjansen for tilfeldig variasjon i prosjekter. KPIene bør også designes slik at de kan benyttes i ethvert byggeprosjekt.
- For å få en effektiv ytelsesmåling må indikatorene være aksepterte, forståtte og gi en følelse av eierskap gjennom hele organisasjonen.
- KPIer vil utvikle seg og det er sannsynlig at et sett KPIer vil måtte endres eller raffineres.
- Dersom man skal fremstille KPIer grafisk bør designen være enkel, enkel å oppdatere og tilgjengelig.

Chan (2001) skriver at for å måle suksess i et prosjekt bør man ta hensyn til indikatorer som måler de 7 dimensjonene; kostnader, tid, HMS, deltakeres tilfredshet, brukeres tilfredshet, profitt og kvalitet. Dette er vist i Figur 8.

---

<sup>7</sup> I engelsk litteratur brukes Key Performance Indicator som kan oversettes direkte som nøkkelprestasjonsindikator, mens man i norsk litteratur ofte bruker kritisk prestasjonsindikator. Disse blir i denne oppgaven tolket som det samme og brukt om hverandre.





Figur 8 De syv dimensjoner som må tas hensyn til ved fastsettelse av KPI for å måle et prosjekts grad av suksess. Kilde: (Chan 2001)

Når man utvikler et system for å måle prestasjoner vil det i følge Bjørnenak & Stensland (2009) være viktig å tenke gjennom kostnader som påløper ved innsamling og implementering kontra nytteverdi av informasjonen man oppnår ved å samle inn data til indikatorene. Videre bør man også tenke på at et dårlig system kan koste mer enn å ikke bruke systemet i det hele tatt. Systemet for måling bør derfor evalueres etter at det er brukt en liten stund.

Ved måling av flyt vil det altså være nødvendig å finne et sett av indikatorer som kan gi et mest mulig korrekt bilde av virkeligheten. I avsnittene under blir ulike indikatorer som er funnet gjennom litteratursøket presentert, kategorisert etter tid, kvalitet, kostnad og HMS.

#### 4.6.1 Kostnadsindikatorer

##### **Enhetskostnad**

Cox, Issa & Ahrens (2003) beskriver en indikator som måler kostnader per enhet. Kostnader kan i dette tilfellet omfatte materialkostnader, timelønn, verktøykostnader og avfallskostnader. Indikatoren likner indikatoren enhet/arbeidstime, men er mer komplisert. Det kan oppstå problemer når man skal henstille kostnader til de enkelte enhetene. For eksempel kan det å ha oversikt over verktøykostnader for et element kan være vanskelig når verktøyene benyttes på mange forskjellige steder. Cox, Issa og Ahrens (2003) beskriver at man ved beregning av kostnader kan ta utgangspunkt i produktivitetsmålet arbeidstimer per enhet og enkelt regne denne om til kostnader per enhet. Det vil i noen tilfeller være aktuelt med erfaringstall for å henstille indirekte kostnader til den enkelte enhet. Det beskrives at i

de tilfeller hvor det er vanskelig å kvantifisere og beregne enhetsstørrelsene, kan være fornuftig å benytte ”baseline-produktivitet”<sup>8</sup> som grunnlag for kostnad per enhet.

I følge Ingvaldsen & Edvardsen (2007) er *prosjektets kvadratmeterkostnad* et av de mest brukte nøkkeltallene i BAE-næringen<sup>9</sup>. Det hevdes imidlertid i samme rapport at dette tallet er unøyaktig og dårlig egnet for sammenligning på tvers av prosjekter. Prosjektets kvadratmeterkostnad er også noe ulikt enhetskostnads målet. Prosjektets kvadratmeterkostnad ser på *hele* prosjektet og alle kostnadene, mens kostnader per enhet tar utgangspunkt i *deler* av bygget.

### **Styring av ressurser**

En mulig indikator for måling av flyt er hvordan ressurser blir brukt gjennom prosjektet. Cox, Issa & Ahrens (2003) skriver hvordan kontroll av hvor mye materialer som går med til arbeidet kan brukes som et mål på produktivitet. Det vises til at man kan måle bruken av materialer og verktøy i en operasjon før og etter en endring for å påvise effekter som følge av endringen. Andre ressursmål kan være bruken av verktøy og hvor mye søppel som blir generert. Dette er en indikator som i følge Cox, Issa & Ahrens (2003) er egnet på operasjonsnivå i produksjonen.

#### 4.6.2 Indikatorer basert på tid

### **Byggetid**

Chan & Chan (2004) definerer byggetid som antall dager/uker fra oppstart på byggeplass til ferdigstilling. McCabe (2004) og Beatham, Anumba, Thorpe & Hedges (2004) omtaler også byggetid som en relevant indikator for å måle prestasjoner i byggeprosjekter. Byggetid er et mål som kan benyttes som grunnlag for andre indikatorer. Man kan gjerne se på antall arbeidstimer i løpet av byggetiden, kostnader i forhold til byggetid, byggets størrelse i forhold til byggetiden, etc. Det bør også tas hensyn til byggets vanskelighetsgrad eller grad av kompleksitet. Eksempelvis kan det være mer tids- og kostnadsdrivende å bygge et sykehus i forhold til et parkeringshus. Dersom man ønsker å maksimere det samfunnsøkonomiske overskuddet vil det også kunne være interessant å se på flyt i hele prosessen fra vugge til grav. Dette kan tenkes å inkludere flyt både innad i og mellom fasene program, prosjektering, kontrahering, produksjon, forvaltning, utvikling og utrangering.

### **Ferdig til rett tid**

I de fleste byggeprosjekter har man definert milepæler og viktige punkter i produksjonen. Det lar seg gjøre å kvantifisere både frister som blir nådd og antall dager man overskrider i de tilfellene man ikke greier å holde planlagt fremdrift. Ferdigstilt til rett tid, eller *on-time completion* på engelsk, indikerer hvor godt man klarer å holde tidsfrister. En mulighet for registrering og måling vil være å se på forholdet mellom antall oppgaver som blir ferdige etter planen i forhold til totalt antall oppgaver. Cox, Issa & Ahrens (2003) ser *ferdig til rett*

<sup>8</sup> Se eget avsnitt om baseline-produktivitet.

<sup>9</sup> BAE: Bygg-, anlegg- og eiendomsbransjen

*tid* i sammenheng med produktivitet. Det kan ofte få store konsekvenser å ikke være ferdig i tide også underveis i prosjektet, da dette vil kunne hindre kommende aktiviteter. Milepæler representerer gjerne kritisk vei, og overskridelse av disse vil da kunne bety at prosjektet som helhet ikke vil klare å bli ferdig i tide.

### **Prosent planlagt utført**

Prosent Planlagt Utført (PPU) er en ytelsesindikator som gir et mål på hvor mange oppgaver man har utført i forhold til hvor mange man har lovet man skal utføre i løpet av en viss tid. Denne indikatoren har sitt opphav i Last Planner System (Ballard, 1999) hvor den kalles Percent Plan Complete (PPC) og skal i følge Chitla & Abdelhamid (2003) også kunne reflektere hvor god flyten i grensesnittet mellom fagene er. PPU er blitt kritisert som mål på produktivitet da planlagt arbeid lar seg manipulere, og man kan få god score til tross for at man ikke jobber effektivt. Man kan altså justere ned antall planlagte oppgaver og få en bedre score enn man ville fått dersom man hadde jobbet etter en strengere plan. En løsning kan kanskje være å se PPU i sammenheng med noen av de andre indikatorene. Et godt prestasjonsmålsystem bør være slik at manipulasjon av én indikator gir utslag i en annen.

Andersen (2004) forklarer hvordan man kan bruke PPU som et verktøy til å kartlegge årsaker til at prosjekter stopper opp og dermed forbedre fremtidig planlegging. (Andersen, 2004) nevner også at PPU med fordel kan sees i sammenheng med andre indikatorer. Her trekkes indikatorene *orden på byggeplass, mangler i materialleveringen* og *prosjektkorrigeringer* frem. I Andersen (2004) er det produktivitet man ønsker å måle, men tilnærmingen antas å være nyttig også ved en måling av flyt.

Måling av PPU blir også beskrevet av Kalsaas, Thorstensen & Skaar (2010). Her skrives det at måling av PPU i produksjonsplanene ikke egner seg som ledelsesindikator. PPU skal i følge Kalsaas, Thorstensen & Skaar heller benyttes som en intern indikator i en erfaringsbasert læreprosess for formann, bas og lag. Det forklares videre at det er årsaken til avviket man bør legge vekten på, og ikke PPU i seg selv.

### **Labor Utilization Factor**

Som nevnt over er PPU en hyppig brukt KPI. En indikator som kan sees i sammenheng med PPU er labor utilization factor (LUF) som måler hvor godt arbeidskraft blir utnyttet. Chitla & Abdelhamid (2003) har gjort en sammenligning for å se om det er en sammenheng mellom PPU og Labor Utilization Factor (LUF)<sup>10</sup>. LUF er en faktor som måler produktiv tid. Den tar hensyn til direkte arbeid, indirekte nødvendig arbeid (tegningslesing, måling, kontroll) og unødvendig tidsbruk. De fant ingen sammenheng mellom høy LUF og høy PPU. Å fokusere kun på å øke LUF bidra til en intern suboptimalisering, hvor produktiviteten på hver stasjon prioriteres. Det igjen vil gi en økning av varer i arbeid og for stort fokus kan også gjøre at

---

<sup>10</sup> LUF blir beregnet av brøken  $LUF = (\text{direkte arbeid} + 0,25 * \text{nødvendig indirekte arbeid}) / (\text{direkte arbeid} + \text{nødvendig indirekte arbeid} + \text{tapt tid})$  (Chitla & Abdelhamid, 2003).

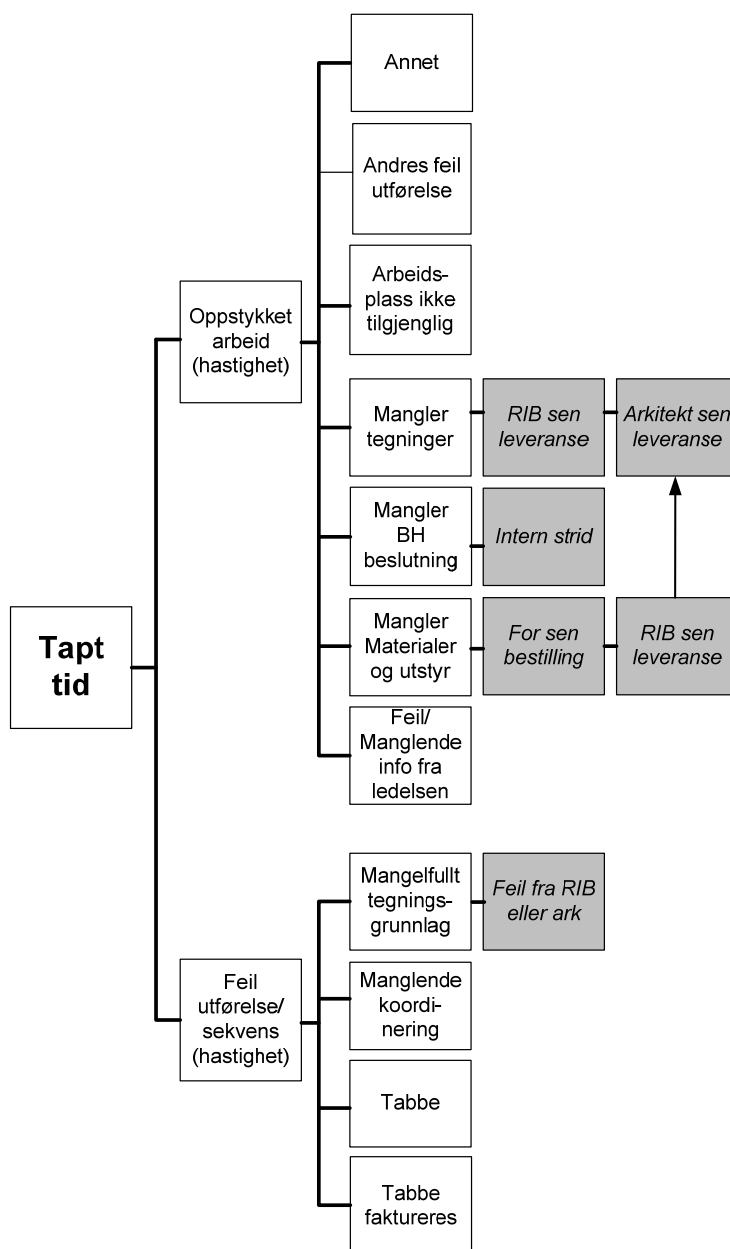
fagarbeidere stresser seg opp og begår feil. Fokus på LUF virker å kunne kurere symptomer, men ikke å ta hensyn til roten av problemer – eksempelvis ustabil arbeidsflyt.

### **Leveringer i tide**

I et byggeprosjekt finnes mange forskjellige komponenter, materialer og elementer som skal sammenstilles og monteres, gjerne i en bestemt rekkefølge. Noen ganger er det slik at man er avhengig av å få leveringer *just in time* for å kunne gjøre jobben. Det kan hende at man bygger på en sentrumstomt uten lagringsplass. En forsinket levering kan i første omgang føre til stans og venting for et arbeidslag, men kan også føre til forsinkelser av hele prosjektet dersom flere blir berørt ved at påfølgende aktiviteter ikke kan startes. Måling av leveringer er mulig å gjennomføre ved at man registrerer hver levering som er på tiden, og selvfølgelig de som er forsinket. Her kan man enkelt kvantifisere, og sette seg mål. Phusavat, Manaves, & Takala (2007) beskriver *on-time delivery* som prestasjonsindikator som måler andelen av leveransene som er på tiden. Dette blir da beskrevet som en intern indikator. Leveringer som ikke er på tiden og fører til stans eller venting vil nødvendigvis virke inn på flyten i arbeidet.

### **Tapt tid**

Tapt tid beskrives av Kalsaas (2010) som tidsbruk håndverkere føler er bortkastet og unødvendig. Det gis et eksempel på en jobb hvor håndverkere blir nødt til å avslutte en jobb på grunn av uklare ønsker fra byggherren. Håndverkerne må rigge ned, forflytte seg og gjøre noe annet i mellomtiden, forflytte seg tilbake, rigge opp, og ferdigstille jobben. Tiden som gikk på å rigge opp og ned samt forflytning forstås da som tapt tid. I Kalsaas (2010) fokuseres det hovedsaklig på måling av tapt tid som følge av oppstykket arbeid eller feil utførelse. Dette er to hovedgrupper innen tapt tid. Andre relevante former for tapt tid i byggebransjen nevnes av Kalsaas som *personlig tapstid* og tapt tid som følge av lite egnet eller dårlig verktøy. Figur 9 viser en mulig inndeling av tapt tid i et byggeprosjekt.



Figur 9 Tapt tid i byggeprosjekter. Kilde: Kalsaas (2010)

Måling av tapt tid nevnes også i Cox, Issa & Ahrens (2003) i forbindelse med prestasjonsmåling i byggeprosjekter. Her blir tapt tid omtalt som viktig og betydningsfullt, og at det er stor gevinst å hente på å redusere tapt tid. Cox, Issa & Ahrens (2003) fremstiller tapt tid som den tiden som er ledig hos håndverkere. Eksempler på dette kan være venting på materialer og motta instruksjoner eller arbeidsordrer. Det pekes på at dersom man reduserer tapt tid, vil dette føre til en økning i produktiviteten. Dette tolkes som at det er forutsatt timebetaling og beregning av produksjon per innskutte krone i prosjektet.

#### 4.6.3 Indikatorer basert på helse, miljø og sikkerhet **Fravær**

Prestasjonsevaluering basert på fravær kan i følge Cox, Issa & Ahrens (2003) måles som

endring i tapte arbeidstimer på grunn av fravær over prosjektets varighet. Dersom fraværet øker i løpet av prosjektets varighet vil det føre til at man taper arbeidstimer, mens en reduksjon i fraværet fører til mer utført arbeid på grunn av mer tilgjengelig arbeidskraft. Denne påstanden knytter Cox, Issa & Ahrens (2003) til Laufer (1985), Warren (1989) og Halligan, Demsetz & Brown (1994).

### **Skader**

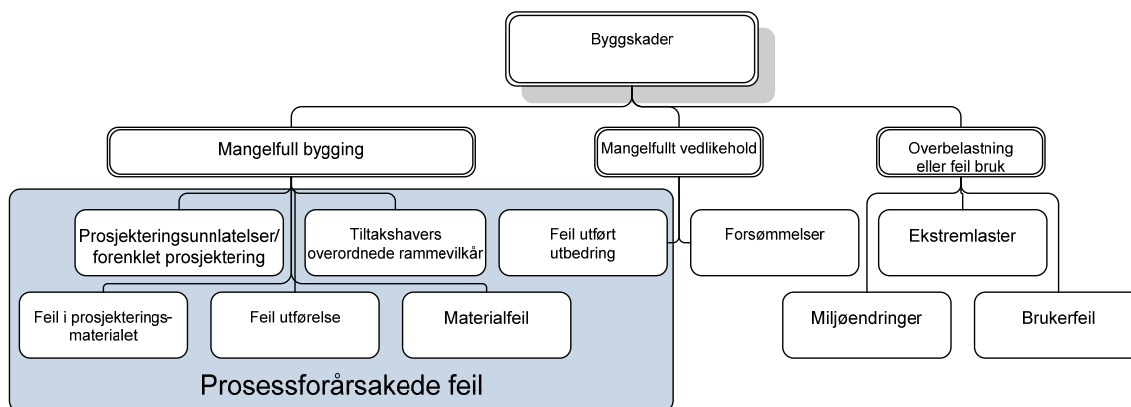
H-verdi forklares av byggenæringens landsforbund som hyppighet av arbeidsulykker som er så alvorlige at det medfører fravær fra arbeidsplassen. Dette er en vanlig KPI i bransjen som er godt implementert blant store entreprenørene. Vanligvis blir hyppigheten målt i forhold til én million arbeidstimer. I USA bruker man en tilsvarende verdi kalt EMR, *Experience Modification Rate*. EMR måler tilsvarende hyppighet som h-verdi, dog med grunnlag i 200 000 arbeidstimer. Denne blir også nevnt av Cox, Issa & Ahrens (2003) som et kvantitativt mål på uhell som fører til fravær og sikkerhet for de ansatte på prosjektet. H-verdi og EMR blir imidlertid kritisert for å kunne la seg manipulere. I en magasinartikkel peker By (1997) på hvordan man kan sette skadede arbeidere til å lese relevant faglitteratur og dermed slippe unna økt H-verdi. En nyere verdi kalt H2-verdi er noe mer omfattende, men fortsatt blir den kritisert for å være manipulerbar. Det foreslås i samme artikkel å innføre en ny verdi kalt RS-verdi, Reell sikkerhetsverdi, som i tillegg til antall fraværsskader også inkluderer antall skader som har ført til alternativt arbeid, totalt antall fraværsdager og totalt antall dager omplassert i alternativt arbeid. Denne skal være en mer troverdig indikator og gi et mer korrekt bilde av HMS-situasjonen.

#### 4.6.4 Indikatorer basert på kvalitet

### **Feil**

Oppretting av feil er ofte kostbart. Det er ressurskrevende å utføre både inspeksjoner og utbedringer. Dersom det oppdages en feil må det planlegges hvordan man skal utbedre feilen, deretter må det kanskje rives eller endres på det som er utført før man gjør jobben om igjen. Selve arbeidet med å utbedre egne eller andres feil er, i følge håndverkerne som er intervjuet gjennom dette prosjektet, kjedelig og lite motiverende. Chitla & Abdelhamid (2003) beskriver omarbeidelse og reparasjoner som en mulig årsak til hvorfor oppdrag ikke blir utført som planlagt. Dette stemmer også godt overens med tilbakemeldinger fra nevnte intervjurunder.

I norsk litteratur skrives det blant annet om prosessforårsakede feil. Figur 10 viser inndelingen av ulike byggskader. Det tenkes at de prosessforårsakede byggskadene er mest relevante i forhold til målinger i produksjonsfasen.



Figur 10 Byggskader. Kilde: Nasjonal database for byggkvalitet /(Ingvaldsen, 2001)

I følge Ingvaldsen (2001) kan indikatorer på feil i byggeprosjekter være *forekomsthypighet av feilregistreringer*, *skadeutbedringsgrad* som gir forholdet mellom kostnader henstilt til utbedring av skader i forhold til omsetning og *byggskadegrad* som viser graden av skader i forhold til byggproduksjon. Cox, Issa & Ahrens (2003) viser til *omarbeid* som indikator og skriver at dersom man kan redusere hyppigheten og mengden av omarbeid, vil det øke prestasjonene i byggeprosjektet drastisk.

#### 4.7 Quick Response Manufacturing

Rajan Suri (1998) beskriver Quick Response Manufacturing (QRM) som et system med den hensikt å redusere ledetid for å redusere kostnader, øke kvaliteten på produktet, forbedre produksjonsprosessen og øke bedriftens fleksibilitet. QRM stammer opprinnelig fra Japanske virksomheter på 1980-tallet og har blitt en populær metode som en følge av at den er enkel i bruk, lettfattelig og er enkelt implementerbar i mange forskjellige bedrifter. Metoden kan i følge Suri benyttes både i vareproduserende og tjenesteytende bedrifter. Det hele går ut på å endre blant annet organisasjonsstruktur, produksjonssystemer, innkjøpsrutiner, administrative funksjoner, kapasitetsplanlegging og seriestørrelser. Et sentralt fokus i metoden er ledetid. Suri påstår at man, ved å sette reduksjon av ledetid som fremste prestasjonsmål, vil fatte *rette* beslutninger.

Suri (1998) oppgir en liste prinsipper for å implementere QRM:

1. Finn helt nye måter å jobbe på med hovedfokus på reduksjon av ledetid.
2. Planlegg å operere kritiske ressurser på 80, eller helt nede i 70, prosent av kapasitet.
3. Mål og benytt reduksjon av ledetid som hovedprestasjonsmål.
4. Belønn reduksjoner i ledetid.
5. Bruk *Material Requirements Planning* (MRP) for å planlegge og koordinere materialer. Restrukturer produksjonsorganisasjonen til enkle produktorienterte celler. Kompletter dette med materiellkontrollmetoder som kombinerer det beste fra push- og pullstrategier.
6. Oppmuntring leverandører til å implementere QRM kan resultere i flere, mindre leveranser til lavere pris, høyere kvalitet og med kortere ledetid.

7. Lær kunder om eget QRM-program. Gå i forhandlinger for å få til flere, mindre leveranser til fornuftige priser.
8. Bryt funksjonalitetsbarrierer ved å lage en hurtigresponderende kontorcelle som opererer som et ”closed-loop”, gruppert, multifunksjonelt og fleksibelt team med ansvar for en gruppe produkter. Gi teamet nødvendig beslutningsmyndighet.
9. Grunnen til at man iverksetter QRM er at det leder til et mer levedyktig og svært *lean and mean*<sup>11</sup> firma.
10. Den største hindringen for QRM er ikke teknologien, men tankegangen. Øvelse gjør mester. Gå gradvis fram. Start med billige ledetidsreduksjoner og spar de store omveltningene til et senere stadium.

#### 4.7.1 Kapasitet og seriestørrelse

En sentral del av QRM er kapasitetsdimensjonering og valg av størrelse på serier. Dette er teori gruppen mener kan implementeres i byggeprosjekter, og trekkes derfor frem og presenteres her. Prinsippet med seriestørrelser er at man skal finne en fornuftig mengde produkter som skal gjøres ferdig før neste operasjon går i gang. Dette er kun aktuelt der hvor produktet skal gjennom flere separate operasjoner. Målet er som alltid i QRM å redusere ledetid. Suri skriver at man kan redusere ledetid effektivt ved å dele opp seriestørrelser i mindre enheter. Dette kan føre til mer rigging og klargjøring, men gevinsten i form av redusert ledetid må også tas til vurdering. En fornuftig tilnærming, gjerne en gyllen middelvei kan spare både kostnader og ledetid.

#### 4.8 Lov om avtakende marginalt utbytte

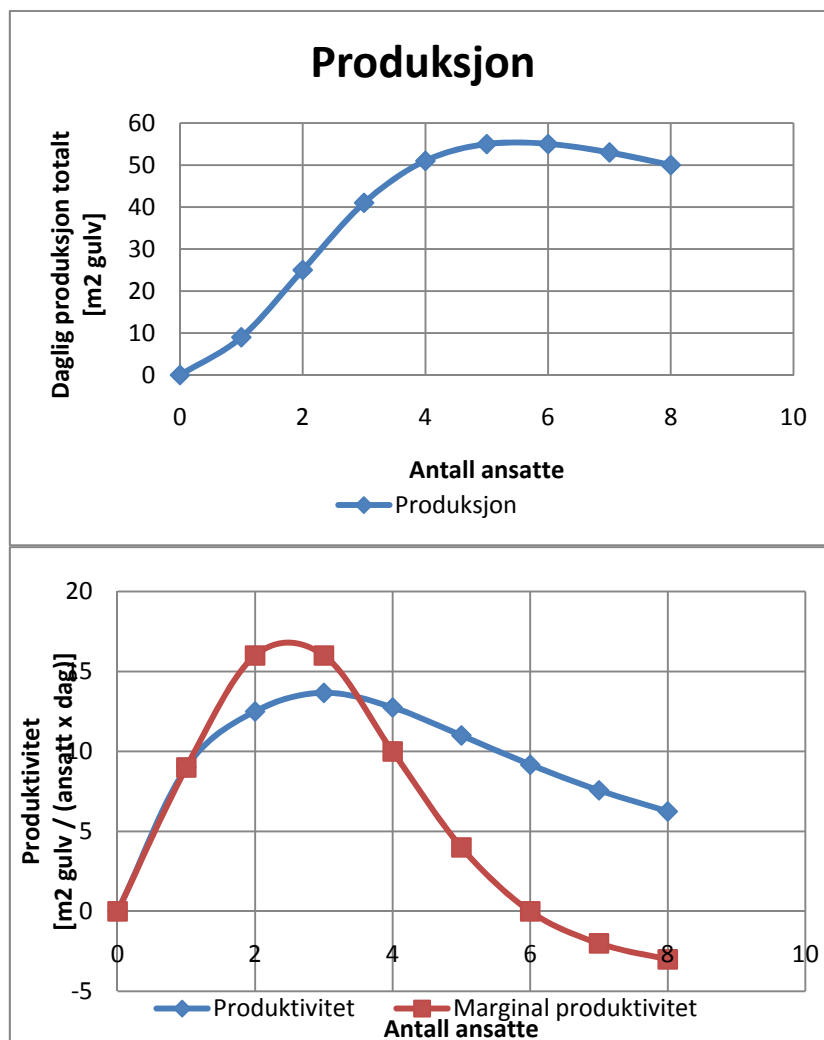
I de fleste produksjonsprosesser er det slik at dersom man øker én ressurs, og holder andre ressurser konstante, vil man etter hvert nå et punkt hvor en tilsvarende økning i produksjonen blir mindre (Pindyck & Rubinfeld, 2009). En vanlig ressurs i denne sammenheng er arbeidskraft. Dersom man har en liten arbeidsstyrke og øker denne uten å øke andre ressurser, vil man ofte se at den totale produktiviteten øker. Dette kan komme som en følge av arbeidsdeling og spesialisering. Ytterligere økning i arbeidsstyrken viser seg imidlertid ofte å gi mindre marginalt tilskudd til den totale produktiviteten. Dette kan forklares med at det finnes et nivå hvor man har en fornuftig arbeidsdeling hvor man kan jobbe uten å måtte vente på hverandre og uten å forstyrre hverandres arbeid. I figuren på neste side kan man se en tenkt utvikling i produktiviteten i et byggeprosjekt hvor man måler antall kvadratmeter gulv som legges per dag i forhold til hvor mange som jobber med å legge gulvet. (Pindyck & Rubinfeld, 2009).

Vi kan se av kurvene at produktivets- og marginal produktivetskurvene henger sammen. Når den marginale produktiviteten er høyere enn produktiviteten, ser vi at produktiviteten øker. Dette vil si at nytten av en ekstra mann i arbeid fører til at man får flere kvadratmeter gulv i snitt per mann per dag. Motsatt kan vi si at når den marginale produktiviteten er lavere enn produktiviteten, ser vi at produktiviteten minker. Det er viktig å merke seg at marginal

<sup>11</sup> “*Lean and mean*” tolkes i denne sammenheng som at bedriften er tilpasset, smidig og konkurransedyktig.



produktivitet *ikke* er arbeidet som blir skapt av den sist ansatte personen. Marginal produktivitet er heller det man i sum skaper fordelt på antall arbeidere etter at den siste arbeideren er ansatt. Dette kan tenkes å komme av at den sist ansatte, til tross for at han nok produserer over gjennomsnittet, kan komme i skade for å sinke resten av gruppen. I sum vil det si at gjennomsnittlig produsert mengde i forhold til antall ansatte synker (Pindyck & Rubinfeld, 2009).



Figur 11 Produksjon med varierende antall ressurser (produsert med utgangspunkt i (Pindyck & Rubinfeld, 2009))

#### 4.9 Refleksjoner rundt litteraturstudiet

Først og fremst må det nevnes at *flow* er hyppig omtalt, spesielt i litteraturen som blir publisert i forbindelse med IGLCs årlige konferanser. *Flow* bør ikke oversettes til flyt helt ukritisk. Den *flow* som blir omtalt i litteraturen er først og fremst en strøm av materialer, utstyr, arbeid og informasjon. For eksempel blir de syv forutsetningene for sunne aktiviteter, omtalt som syv *flows*, og i det og i mange andre tilfeller er nok strømmer en bedre oversettelse. Den kanskje viktigste bidragsyteren innenfor litteraturen og *flow* er Koskela og F-konseptet. Å innføre F-konseptet vil innebære at man tar grep og går aktivt inn for å redusere sløsing, ledetid, variabilitet, forenkle aktiviteter og øke fleksibilitet og

gjennomsiktighet. Den arbeidsflyten vi er ute etter vil da spesielt være forbundet med en reduksjon av sløsing og variabilitet. *Work flow* nevnes, og det er nærmere det vi er ute etter; produksjonsflyt. Stabil produksjonsflyt nevnes i forbindelse med Last Planner System, og er som således noe Last Planner-metodikken skal håndtere. Som vi ser av køteori, og som kan leses mer om i kapittel 7.7, er variabilitet den ”store fienden”. Det virker også logisk hvis vi tenker på god flyt som noe positivt og med en jevn grad av transformasjon og/eller verdiskapning. Redusere variabilitet vil være noe annerledes i byggproduksjon enn i vareproduserende industri; mens det i vareproduserende industri er tiden som er benevning (prosesseringstid per maskin, oppe/nedetid per maskin osv.) ønsker vi i byggproduksjon å ha lav variabilitet i arbeidsoppgaver i tillegg til i tid. I lean production er det ønskelig å redusere batchstørrelsene (se avsnitt 4.7 om QRM), dette påstår vi at vil være gunstig i visse prosjekter i byggebransjen – eksempelvis prosjekter med høy grad av repetisjon og knapphet på tid. Et ønske om å utnytte maksimal serieeffekt ligger bak denne påstanden. Eksempelvis kan man ved innsetting av kontordører i et stort bygg, som består av 8 operasjoner per dør, sette i gang én operasjon før foregående er helt ferdig. Vi ser også at mye av det som er skrevet om flyt er *forutsetninger* (i praksis de syv strømmene) og *konsekvenser* (tapt tid, sløsing, høy variabilitet) og ikke *kjennetegn* eller *egenskaper*.

I teorien om marginalt avtakende produktivitet kan man trekke paralleller til prosjekter hvor man allerede har optimalisert forholdet mellom antall ansatte og ønsket produksjon for en operasjon. Dersom man nå skal maksimere flyt, enten for prosess eller person, vil man kunne rokke ved det optimale forholdet i operasjon. Dette kan være i form av at man for å maksimere prosessflyt tilpasser de ulike operasjoners ferdigstillestidspunkt ved å variere pådrag av ressurser (mannskaper) i operasjonene. På samme måte vil en maksimering av personflyt kunne bestå i at én og én mann jobber for seg selv. På denne måten vil hver person hele tiden kunne jobbe uten å måtte vente på andre og hele tiden være produktiv. Loven om marginalt avtakende produktivitet forteller oss at det her vil være bedre å jobbe flere sammen i visse tilfeller og dermed skape mer per person til tross for at det vil kunne føre til at noen må ofre litt personflyt til fordel for hele laget.

Når man skal måle prestasjoner, i dette tilfellet flyt, er det nyttig med indikatorer. I søket etter litteratur har vi trukket ut de indikatorene vi mener er nyttige i utviklingen av et aggregert flytmål. Ved prestasjonsmåling bør man være i stand til å se på flere forhold samtidig for å få et mer komplett bilde av virkeligheten. Dersom man låser seg til et for lite antall indikatorer, vil man stå i fare for å lure seg selv og ikke se det store bildet. I byggebransjen hvor prosjekter varierer i kompleksitet og type, vil indikatorene sannsynligvis gjøre seg gjeldende i ulik grad fra prosjekt til prosjekt.

Suri peker på at styring etter kostnader vil kunne føre til at man forlenger ledetiden. Han påstår at reduksjon av ledetid som hovedprestasjonsmål heller er å foretrekke. Kostnader i seg selv er nok ikke direkte årsaker til god eller dårlig flyt, men vi mener likevel de er

nødvendige å ta med i en totalvurdering. Man ønsker å se på flyt, men flyt er såpass tett knyttet til produktivitet at man dermed er avhengig av å kjenne til ressursbruk for å få en helhet. Kostnadsindikatorerne kan være med på å gi et godt mål på hvor store ressurser som er gått med til å skape en viss mengde output.

Tidsindikatorerne, spesielt byggetid og ferdig til rett tid, er nok blant indikatorer som får mest oppmerksomhet. Disse er lettfattelige og enkle å vurdere opp i mot erfaring. Disse vil også kunne gi et bidrag til et aggregert flytmål, spesielt dersom man skal måle flyt i prosesser. Ved måling av person- og operasjonsflyt vil nok tapt tid være den mest sentrale indikatoren. Det er denne som gir et mål på hvor mye av tiden som ikke er nyttig. Målingen kan også vise hvordan verdiskapende arbeid blir stykket opp og hvor hyppig stopp og pauser forekommer. Dette er i høyeste grad relevant for måling av flyt på operasjons- og personnivå. Leveringer i tide vil kunne si noe om hvor ofte man er nødt til å vente på leveranser. Venting er en direkte følge til dårlig flyt. Denne indikatoren kan gjerne benyttes som en kontrollindikator dersom tapt tid-målinger benyttes.

HMS-indikatorerne vil blant annet vise fravær, skader og uønskede hendelser. Disse er med på å skape usikkerhet, variasjon og stopp i produksjonen. Dersom man har fullstendig fravær av fravær, skader og uønskede hendelser, vil det sannsynligvis gi seg utslag i flyt på alle nivåer. Tilsvarende vil en høy forekomst av nevnte gi flere stopp og større andel ikke-verdiskapende tid.

Kvalitetsindikatorerne bør tas med i en vurdering av flyt fordi man godt kan ha god flyt i arbeidet sitt til tross for at man driver retting av feil, riving av feil utført arbeid eller feil utførelse som følge av feil tegningsgrunnlag. Disse tilfellene vil sannsynligvis score lavt på andre indikatorer, men bør ikke få følger for vurdering av den enkeltes flytprestasjoner. Hensyn til kvalitetsindikatorer vil belyse årsaker til god flyt på tross av dårlig verdiskapning. Dette vil hjelpe til å danne et mer korrekt og rettferdig bilde av virkeligheten.



## 5 PRESISERT PROBLEMSTILLING

Flytuttrykket er kjent i lean construction-teorien. Det er brukt i mange sammenhenger, men det er ikke funnet tilfeller hvor det er skikkelig definert. Flyt benyttes ofte som metafor, følgelig finnes mange ulike tolkninger og oppfatninger. Spørsmålene som reiser seg er: Hva sier litteraturen om flyt? Hvilke likheter og forskjeller i oppfatningen av flyt finner man i de ulike fagområders sentrale teorier?

For å få en bredere forståelse av flyt i et praktisk perspektiv vil det også være nyttig å høre hvilke oppfatninger, holdninger og meninger som finnes blant erfarne folk i bransjen. Dette bør omfatte personer i ulike nivåer, både prosjektledere, formenn og håndverkere. Disse har sannsynligvis meninger om hva flyt er og hvilken betydning flyt har i ulike prosjekter. Her vil intervjuer være et mulig verktøy. Oppsummerende spørsmål som bør besvares gjennom intervjuer er: Hva kjennetegner bransjens oppfatning av flyt?

For å være i stand til å finne en metode for å måle flyt, må flyt konseptualiseres. Dette bør etter vår mening omfatte en kartlegging av flytens egenskaper, kjennetegn, følger og betingelser. Det vil da være naturlig å se nærmere de nevnte punktene og spørre seg: Hva kjennetegner flyt? Hva hemmer og hva fremmer flyt? Hvilke følger får endring i flyt? Hvilke betingelser må være oppfylt for at et prosjekt kan flyte godt?

På bakgrunn av dette presentere vi følgende presiserte forskerspørsmål:

1. Hva er forutsetninger, egenskaper og kjernen i flyt-begrepet, og er kontinuerlig flyt for person, operasjon og prosess det beste for byggets fremdrift?
2. Hvilken sammenheng er det mellom flyt, produktivitet og effektivitet?
3. Hvilke teorier er sentrale ved utvikling av en metode for måling av flyt i byggeprosjekter?



## 6 METODE

Denne oppgaven dreier seg om å undersøke hva litteraturen sier om flyt og om det finnes en måte å måle flyt på i byggeprosjekter. Det finnes en rekke rapporter, artikler og bøker som dreier seg om produktivitet og effektivitet, og innholdet i mange av disse er hvordan å oppnå flyt i produksjonen. Det har derfor vært en sentral del av denne masteroppgaven å få en oversikt over det som var skrevet innen emnet tidligere. Metode for innsamling og søk etter relevant litteratur forklares nærmere i neste underkapittel. I tillegg til å samle inn og gjennomgå relevant litteratur er det gjennomført intervjuer med nøkkelpersoner i byggebransjen og målinger på byggeplass. Metoden er klassisk kvalitativ med mye informasjon om et relativt snevert tema, dybdekunnskap, åpne intervjuer og observasjon. Det er også stor fleksibilitet i oppgaven. Målet med oppgaven har vært klart hele tida, men veien har endret seg underveis.

### 6.1 Søk etter litteratur

Lean construction er et uttrykk som kom i 1993 og mye av litteraturen vi har gjennomgått er basert på teorier omkring dette. Det har i oppgaven også blitt lagt vekt på å legge til grunn litteratur som i sin tid lå til grunn for dannelsen av LC. Dette har i hovedsak vært teori som knytter seg til Toyota Production System og lean thinking.

I søk etter relevant og nyttig litteratur er det gjort bruk av ulike søkemotorer. Det er i hovedsak blitt benyttet akademiske databaser med kvalitetssikret<sup>12</sup> materiale, men også generelle søkemotorer som Google Scholar er blitt benyttet som hjelpemiddel. I de tilfeller sistnevnte er benyttet, er det gjort ekstra innsats for å kvalitetssikre rapportene som er funnet. Det er forfatterens inntrykk at store søkemotorer, eksempelvis Google, har bedre søkealgoritmer som gir et bredere søk. Dog vil disse søkene også returnere treff som ikke er valide eller reliable i like høy grad som treff i de akademiske databasene. Her er en liste over de mest benyttede databasene:

- Bibsys ASK (hele databasen)
- Business Source Complete
- Ebsco Host
- Engineering Village 2 m/Compendex
- Google Scholar
- Science Direct
- Statistisk Sentralbyrå

Et eksempel på hvordan man har jobbet er at man har søkt etter artikler som inneholder ordene *construction industry*, *measure productivity* i Google Scholar. Andre eksempler på typiske fraser som er benyttet i søk etter litteratur i databaser er:

”Construction industry” AND ”performance measurement”  
“Construction industry” AND “key performance indicators”  
“Construction industry” AND productivity

<sup>12</sup> Med kvalitetssikret menes stoff som er utgitt av akademisk anerkjente institusjoner og forlag.

“Construction industry” AND flow  
 “Construction industry” AND “lean construction”  
 “Construction industry” AND “management”  
 “Construction industry” AND “measuring flow”

Her har man fått en rekke treff fra ymse artikler og rapporter. De mest relevante treffene har så blitt gått gjennom noe grundigere. Dersom disse har vært av interesse har man sett hvilken utgiver som står bak. Dersom forfatteren er akademisk anerkjent, eksempelvis utgitt som artikkel i en journal eller tidsskrift, er artikkelen blitt søkt opp på nytt i gjeldende journal eller tidsskrifts database for å sikre validiteten. Journal of Construction Engineering, Journal of Construction Management og papers knyttet til møter i International Group for Lean Construction (IGLC) har vært hyppige ”leverandører” av litteratur i denne sammenhengen. Etter hvert som artikler og papers er blitt søkt fram og gjennomgått har det også dukket opp flere referanse til andre verk. Disse er blitt sporet opp og undersøkt dersom de har vært av interesse. Slik har man dannet et bilde av situasjonen i dag basert på det som finnes av litteratur innen emnet.

## 6.2 Målinger på byggeplass

Vi var til stede og observerte byggingen av Slettheia Skole i Kristiansand for å foreta tidsstudie. Hensikten var å få et inntrykk av hvordan fagarbeiderne arbeidet, samt få konkrete tall på direkte arbeid, tid brukt på feilretting, logistiske oppgaver og pauser. Vi benyttet skjema og registrerte aktivitet hvert femte minutt. Aktiviteter ble delt inn i følgende kategorier

Tabell 1. Tidsmålingen ble registrert i følgende kategorier. Kilde: Kalsaas (2010)

Arbeid	Direkte Arbeid
	Direkte arbeid: utbedring av tabbe
	Direkte arbeid: utbedring av tabbe fra andre fag/lag
	Møter, studering av tegninger og kommunikasjon med bas
Inspeksjon	Inspeksjon/kontroll
Bevegelse	Henting av materialer til arbeidssted med tralle eller lignende
	Henting av materialer innen ca. 12 meter
	Henting av materialer lenger unna enn 12 meter
	Bære avfall til container
	Bevege seg til/fra gjæringssag eller lignende
	Flytte og hente verktøy
	Avlessing av materialer og prosedyrer rundt dette, lagring inkludert
	Rigge opp og ned
Pakke ut materialer	
Rydding	Rydding for å få tilgang til arbeidsplassen
	Generell rydding
	Opprydding etter arbeidet
Venting	Venting
Personlig tid	Kaffe og spisepause
	Nødvendig personlig tid



Materialet er for tynt til å trekke noen konkrete konklusjoner, men det gav oss en god pekepinn på hvordan arbeidet utføres. Måleobjektene var to tømrere som jobbet sammen og dannet et lite lag. På dag 1 monterte de stendere og diffusjonssperre på en langvegg. Person 1 arbeidet kontinuerlig, mens person 2 målte, kappet og leverte lekter klare til montering. Det ble ikke benyttet Involverende Planlegging på det aktuelle prosjektet. Data fra målinger er kun brukt til eksempler og som bakgrunnskunnskap.

Ledetid (det vil si byggetid) er ifølge Koskela delt inn i prosesseringstid, tid til inspeksjoner, venting og bevegelse. Som vi ser av tabellen er det ikke helt dekkende for byggproduksjon. Hvor hører rydding til i den tankegangen? Og for å kunne analysere eventuelle data nærmere er det også ønskelig å vite mer om venting. Hva venter de på? Venting er noe man vil til livs, men disse målingene er ikke til hjelp da de ikke sier noe om de venter på materialer, tegninger, informasjon eller andre ting.

### 6.3 Intervjuer og workshops

Møtene med veileder har fungert som workshops. Vi har i fellesskap gått gjennom de siste ukers tankevirkosomhet og forsøkt å videreutvikle tankene til noe konkret ved å tenke høyt i fellesskap. Vi har også deltatt på ett møte med en prosjektgruppe i Involverende Planlegging i Oslo. Under arbeidet med denne oppgaven har vi sittet sammen på kontor hver dag med og jevnlig hatt samtaler med høytenkning.

Vi har intervjuet aktuelle personer i Kristiansandsregionen. Intervjuformen har vært kvalitativ ustrukturert. Vi intervjuet fire personer, en prosjektleder uten kjennskap til lean construction, en HMS-rådgiver og kvalitetssikringsansvarlig med god kjennskap til lean construction, en prosjektleder som nylig har begynt å bruke lean construction i sine prosjekter, og en forsker på prosjektledelse.

Bakgrunn for valg av intervjuobjekter er først og fremst basert på at det er personer som har god kunnskap og prosjektledelse og byggproduksjon. De er også valgt fordi alle har forskjellige roller hos sine respektive arbeidsgivere, og med dette håpte vi å få andre synspunkter og innfallsvinkel på problemstillinga.

Felles for intervjuene er minimal bruk av spørsmål og svar. Vi har forsøkt å forklare problemstillinga vår og få bekreftet eller avkreftet noen av våre idéer, og prøvd å få intervjuobjektene til å fokusere på hva de ser på som viktig for å fremme flyt.

Det viste seg under intervjurundene at det var lite refleksjoner omkring flyt. Alle intervjuobjektene støttet seg til metaforen om strømlinjeforma produksjon. Intervjurundene ble derfor avsluttet etter disse fire intervjuene, da vi mener at vi ikke hadde hatt noe igjen for å intervju flere personer.

#### 6.4 Reliabilitet og validitet

Reliabilitet handler om hvor pålitelige våre data er og hvor nøyaktig de gjenspeiler virkeligheten. Litteratursøket har dreid seg mest om byggproduksjon og lean construction, og det har vært mindre fokus på de bakenforliggende teoriene som lean production og Toyota Production System. En fare ved det kan være at i transformasjon fra lean production til lean construction er visse momenter som er blitt oversett eller neglisjert. Vi har i så fall i liten grad oppfattet dette. Ellers er det en fare for at utenlandske forskningsinstitusjoner har en innsikt og innfallsretning vi har gått glipp av grunnet språk. Mye av materiale publisert av SINTEF Byggforsk er for eksempel på norsk. Det er grunn til å tro at det fins tilsvarende institusjoner i andre europeiske land. I forbindelse med årskonferansene til IGLC blir det publisert mellom 50 og 70 papers, så dersom en ikke-engelskspråklig institusjon har kommet med vesentlige bidrag er det grunn til å tro at dette ville blitt tatt opp i forbindelse med disse konferansene.

Målingene vi gjorde på byggeplass er i hovedsak brukt til å gi innsikt og bakgrunnskunnskap. Å fotfølge to håndverkere i én dag gir et altfor lite datagrunnlag til å kunne trekke konkrete konklusjoner for hva tid blir brukt på i prosjekter. Vi erfarte blant annet at det foregikk mye annet på byggeplassen som på ingen måter kan klassifiseres som sunne aktiviteter. Tømrenerne vi foretok målinger på ga likevel inntrykk av at den dagen var veldig typisk for deres hverdag. Skulle disse målingene vært grunnlag for å trekke konklusjoner måtte det ha blitt målt tapt tid av flere fag på flere prosjekter og over en lenger tidsperiode. Likevel var målingene nyttige for metoden sin del. Det var svært lærerikt å teste tidsmålinger på byggeplass, og se muligheter for registrering av data.

Intervjuene vi har gjennomført anses å ha god reliabilitet og gyldighet. Vi har ingen grunn til å tro at noen av intervjuobjektene ikke fortalte sannheten. Vi forsøkte også å velge litt bredt i den forstand at vi har intervjuet én prosjektleder som ikke har kjennskap til lean og en forsker innen prosjektledelse. Det var varierende grad av refleksjon over flyt innen lean construction.

Dersom vi skal peke på noe vi burde ha gjort, og et lite tips til fremtidige studenter som skal skrive om noe lignende, anbefales det på det sterkeste å komme seg ut på byggeplass så tidlig som mulig. I januar og februar fokuserte vi på litteratursøk for å stille godt forberedt til et møte/workshop med prosjektgruppa hos Veidekke i Oslo. Når vi ser tilbake på oppgaven er vi ikke i tvil om at dersom vi hadde fulgt et prosjekt fra oppstartsmøte til ukentlige fremdriftsmøter og målt tapt tid på samme prosjekt i to-tre uker ikke ville gått utover kvaliteten på verken litteratursøket eller diskusjonene, snarere tvert imot. På slutten av prosjektet deltok vi i et oppstartsmøte med lappeteknikk, og selv om det ikke ga noen direkte svar i forbindelse med problemstillingen, er det med på å bygge opp bakgrunnskunnskapen og gir knagger å henge tanker og begreper på.

## 7 DISKUSJON OG EMPIRISK ANALYSE

### 7.1 Innledning

Fra bokmålsordboka (Bokmålsordboka, 2009):

**flyt** -en (av \*flyte) **1** glid; sammenheng *få flyt i trafikken, framstillingen* **2** evne et påstrykingsmiddel har til å jevne seg med overflaten *maling med dårlig flyt*.

Som nevnt i litteratursøket er det ikke identifisert en brukbar definisjon av *flow*. Det vi ser etter er arbeidsflyt, eller *work flow*, og nærmeste vi kommer en definisjon er at det har noe med det som skjer mellom transformasjonsaktivitetene å gjøre. En av grunnene til at flyt aldri blir definert på samme måte som ledetid, taktid, lagerbeholdning og andre begrep innen logistikk og prosjektplanlegging, kan være at det er en taus forståelse angående hva flyt er eller betyr. Vi har stilt spørsmålet ”hva er flyt?” til prosjektledere i byggebransjen, medstudenter og fagarbeidere og en bas. Svarene er ikke konkrete, men alle er inne på at produksjon går strømlinjeformet og at arbeid kan utføres uten avbrudd eller forstyrrelser. De er også inne på at materialer og tegninger må være tilstede. Et intervjuobjekt stilte kontraspørsmål ”hva er god helse?” Alle vet hva god helse er, men det er vanskelig å finne et direkte mål på god helse. Det samme kan sies om måling av flyt og hvordan man for eksempel måler om man er i god form. Man kan ikke avgjøre hvorvidt man er i god form eller ikke basert kun på hjerterytmen. Dersom man kombinerer hjerterytme, lungekapasitet, O<sub>2</sub>-opptak, laktattest, makspuls-test, maks styrke og andre tester, vil man etter hvert få nok indikatorer til å avgjøre om man er i god form eller ei.

**Vi har sett på flyt som noe med en grad av jevnhet i arbeidet, at et bygg tilføres verdi kontinuerlig, at fagarbeiderne kan begynne på arbeidet når de skal og fullføre det uten å måtte rette andres eller egne feil.** Det kan virke unaturlig at vi ikke inkluderer at ”i riktig rekkefølge” i dette. Vi mener da at dersom noe er utført i feil rekkefølge vil det medføre ekstraarbeid som klassifiserer som feilretting, og at ”riktig rekkefølge” dermed inngår i den foreslåtte definisjonen. På samme måte har vi brukt ”tilføres verdi” istedenfor ”arbeid utføres”, for å ekskludere arbeid som er feil utført eller i feil rekkefølge. Resten av dette kapitlet omhandler flyt og flytens forutsetninger og egenskaper, skillet mellom prosess-, operasjonell og personflyt, om flyt er avhengig av ressurser og byggetid, og litt om køteori, da flyt strengt tatt kan sies å være hvor jevnt køen av arbeidsoppgaver som venter på å bli utført går.

En forutsetning for resten av dette kapitlet er skille mellom produktivitet og effektivitet. Det er svake uttrykk som blir brukt om hverandre, en produktiv bedrift blir kalt effektiv, en bil som kommer langt for hver liter drivstoff er energieffektiv, hvis man har ti ærender i byen og rekker alle på en time vil man si at man har vært effektiv og ikke produktiv. Dersom man skriver 10 sider av en oppgave på to timer vil man si at man har vært produktiv. For å avklare dette har vi forholdt oss til produktivitet som input dividert på output, mens

effektivitet er output dividert på tid. Produktivitet er altså hvor godt man utnytter ressursene mens effektivitet hvor mye man produserer per tidsenhet.

## 7.2 Betingelser og konsekvenser ved flyt

Et viktig skille i denne diskusjonen er skille mellom flyt, betingelser (eller forutsetninger) for å oppnå flyt, og konsekvensene ved flyten. Vi kan sammenligne flyt i bygg med flyt i fysikken.

For at et stoff skal flyte (eller strømme) må visse forutsetninger være tilstede. Det må ha rett aggregattilstand. Det må være en høydeforskjell, en fallhøyde. Det er friksjon mellom rør og vann, jo mindre friksjonskoeffisienten er, jo bedre er det for flyten. Det som påvirker friksjonen er den innvendige overflaten i rørgata. Dette kan sammenlignes med den fysiske organiseringen på byggeplassen. I fluidmekanikken brukes begrepet viskositet, som sier noe om hvor tykflytende væska er, for eksempel har sirup høy viskositet mens vann har lav viskositet. Vann vil dermed flyte lettere gjennom et rør enn sirup. Et eksempel kan være fra et vannkraftanlegg hvor vannet strømmer gjennom en rørgate og inn i en turbin. Betingelsene vil være med å påvirke flyten, som gjerne måles i  $m^3/s$ , er. Dette kan verifiseres ved å forestille seg det samme kraftverket hvor vannet er byttet ut med olje, eller at vannveien består av et veldig grovt tunneltverrsnitt. I det første tilfelle vil den kinetiske energien være liten da oljen er seig og oppnår lavere hastighet, i det andre tilfelle vil det grove tverrsnittet skape så mye turbulens i vannet at den effektive fallhøyden vil bli redusert med flere meter.

Det vil også være noen konsekvenser knyttet til betingelsene, som for eksempel støy som følge av friksjon. Man hører en foss bedre enn en man hører vann strømme gjennom et rør. Stor friksjon eller høy viskositet vil også gi mindre strømming, målt i  $m^3/s$ .

Tabell 2. Karakteristika for flyt i fluidmekanikk og i bygg. Kilde: (Rouse, 1946)

	<b>I fluidmekanikken</b>	<b>I et byggeprosjekt</b>
Kjennetegn	Turbulent eller laminær	Jevn tilførsel av verdi. Få stopp, hindringer, fravær av tapt tid.
Betingelser	Aggregattilstand, fallhøyde, gradient, viskositet, friksjon	7 forutsetninger
Konsekvenser	Støy, endringer i vannmengde	Venting, stopp, avbrudd, henvendelser, telefoner, uforutsigbarhet, frustrasjon,

Konsekvensene og betingelsene kan overføres til et byggeprosjekt. For å oppnå god flyt må både betingelser være tilstede og konsekvensene eliminert. Betingelsene er at alle aktiviteter er sunne, altså tilfredsstillende de syv forutsetningene (ytre forhold, forutgående aktiviteter,

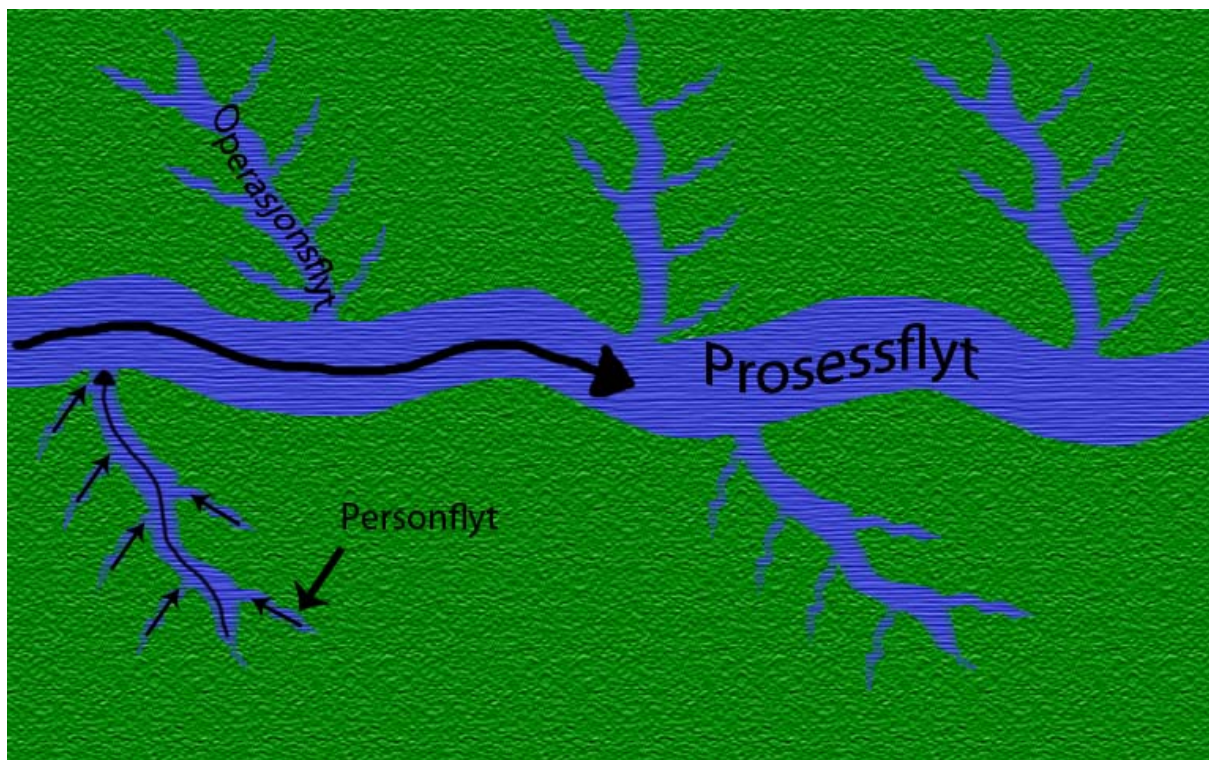
mannskap, informasjon, utstyr, materialer, tilstrekkelig plass). Betingelsen viskositet kan være for eksempel et motivert mannskap på byggeplassen som er fleksible og fullfører aktiviteter i tide. Dersom visse betingelser mangler kan det bli murring og klaging, og det genereres støy. Denne støyen kan forekomme i form av konfrontasjoner med bas, formann eller prosjektleder. Friksjon kan også oppstå, dersom det er for mye folk på byggeplassen, fag går oppå hverandre og byggeplassen er ikke tilgjengelig, eller at andre fag har vært inne og gjort arbeid i feil rekkefølge.

Vi ser også at det er sammenheng mellom betingelser og konsekvenser. Et eksempel er betingelsen ikke tilstrekkelig plass for å utføre arbeid som fører til friksjon, eller at manglende informasjon kan føre til støy.

Spørsmålet er da om flyt kan måles dersom alle betingelser og egenskaper er kjent. For å gå over til fluidmekanikken igjen så hjelper det ikke å vite at man har vann i væskeform med en netto fallhøyde på 120 meter, normal viskositet, og et samlet friksjonstap tilsvarende 2 meters fallhøyde. Støy vil fortsatt være en konsekvens av friksjon. Den påvirker ikke flyten direkte. Uten en input, strømmingen målt i  $m^3/s$ , vil det ikke være mulig å kvantifisere flyten.

### 7.3 Flere typer flyt

Når man snakker om flyt vil man ofte ha behov for å spesifisere hva som skal flyte. Noen vil med flyt mene flyt av verdier (*cashflow*), andre vil mene flyt av materialer, verktøy og ressurser (logistisk flyt). Når vi i denne oppgaven snakker om flyt, påstår vi at flyt bør deles i tre deler; person-, operasjons og prosessflyt. Et bilde på denne inndelingen hentet fra uttrykket ”*mange bekker små gjør en stor å*” vises i figur 12.

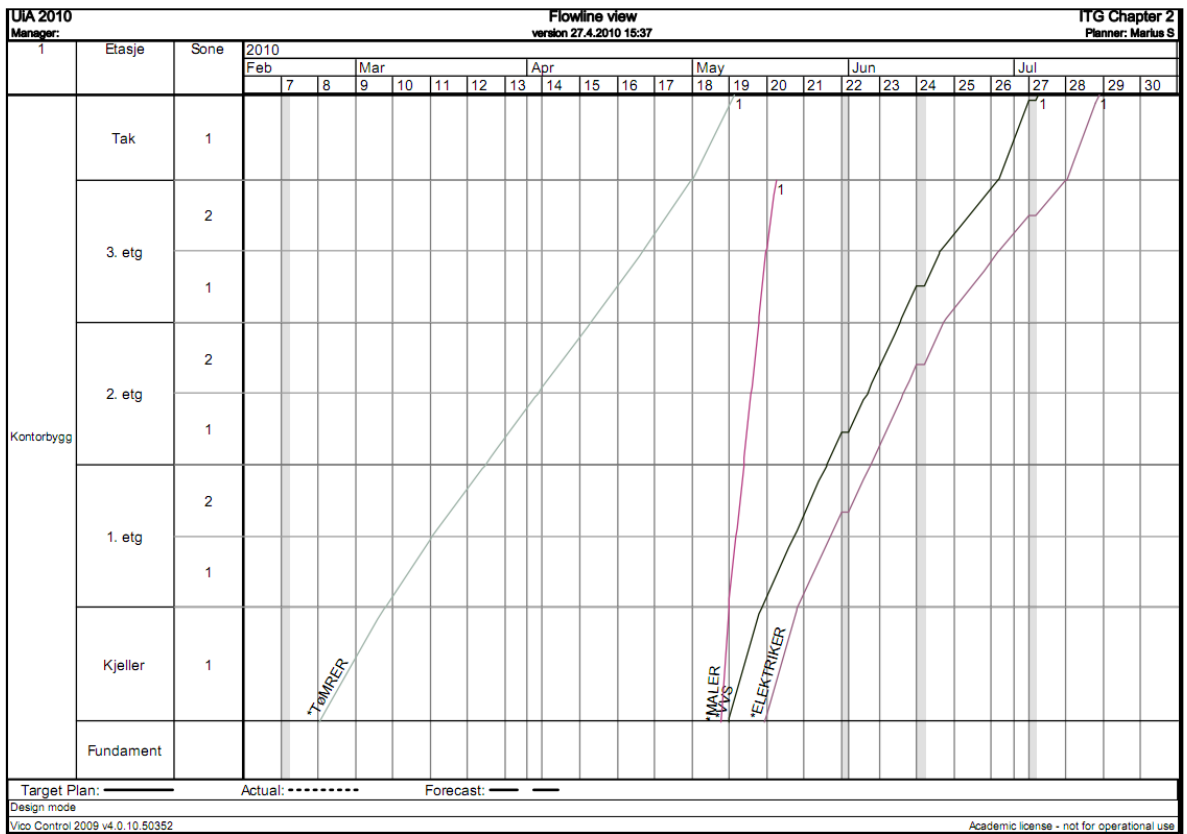


Figur 12 Person-, operasjon og prosessflyt

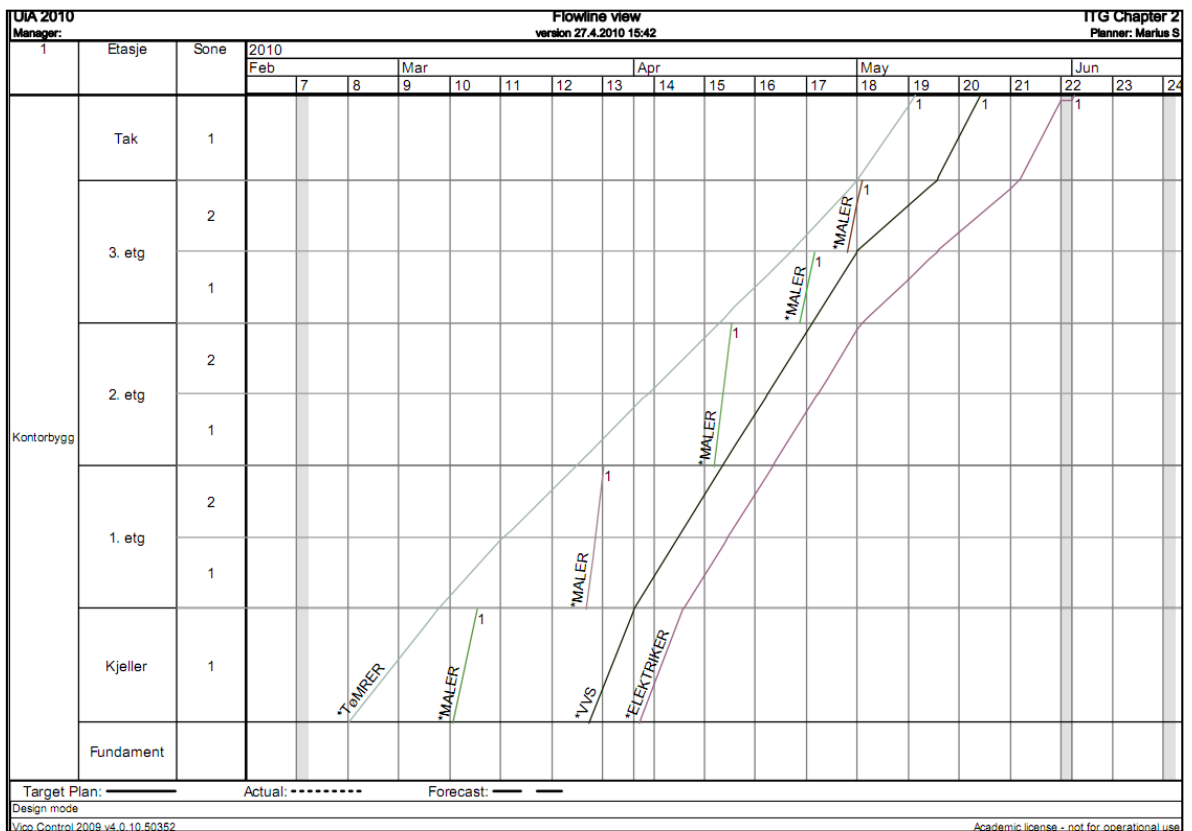
Inndelingen er gjort for å sannsynliggjøre at man kan se at et prosjekt flyter bra til tross for at mange personers arbeidsdag blir stykket opp og er full av brudd og ventinger. Dette går imidlertid ikke tydelig frem i figur 12, men et eksempel på dette kan være montering av hulledekker som forklart i avsnitt 7.3.2. Et lags flyt kan oppleves som god til tross for at én eller flere blir nødt til å utføre stykkevise operasjoner med venting. Det vil si at det ikke forekommer direkte bindinger mellom de ulike nivåene i hierarkiet. Vår påstand er at dersom man maksimerer personflyten og søker hver persons kontinuitet i sitt arbeid, vil dette i visse situasjoner kunne gå på bekostning av flyt i operasjoner og på prosessnivå. Hvordan dette i praksis kan utarte seg vil vi gå nærmere inn på i avsnittene under.

### 7.3.1 Prosessflyt versus operasjonsflyt

Det er vår oppfatning etter intervjurunden at det i byggeprosjekter, som i vareproduserende industri, ofte er slik at prosessflyt prioriteres over operasjonell flyt. Prosessflyt er noe som per i dag kan måles ved hjelp av klassiske metoder for fremdriftsoppfølging. Et eksempel på hvordan personflyt kan gå på bekostning av operasjoner og hele prosessen er maleren. Maleren ønsker ofte å komme inn i et prosjekt så sent som mulig for å kunne arbeide alene og få store ferdige flater å arbeide med. Et av intervjuobjektene gav oss dette eksempelet og viste til at malere ofte utsatte sitt arbeid så lenge som mulig. Ofte vil det bety at malerne kommer inn lenge etter at foregående aktivitet er ferdig. Dette fører igjen til at neste aktivitet kommer i gang mye senere enn planlagt. Dersom malerens arbeid stykkes opp, at han kommer så like etter foregående aktivitet er ferdig, gir det neste aktivitet slakk, eller den totale byggetiden kan reduseres. Prosessflyten blir da bedre, men malerens operasjonelle flyt blir oppstykket og dårlig. Det er ikke nødvendigvis negativt, dersom det er planlagt slik at han kan være på prosjektet i hele arbeidsdager av gangen. Han får da muligheten til å skape verdi andre steder de dagene han ikke trengs. Som vi ser av Figur 13 og Figur 14 vil neste aktivitet, i dette eksempelet en rørlegger og en elektriker, være ferdig først i uke 29 dersom maleren arbeider kontinuerlig. Men dersom maleren stykker opp arbeidet vil elektrikerens være ferdig allerede i uke 22.



Figur 13. God operasjonsflyt for maler gir dårlig prosessflyt for prosjektet.



Figur 14. Malerens arbeid er oppstykket, noe som medfører at elektrikerens arbeid er ferdig 7 uker tidligere.

### 7.3.2 Operasjonsflyt versus personflyt

Ofte vil man se at det for et lag kan lønne seg at enkeltpersoner utfører oppgaver som i utgangspunktet ikke er direkte verdiskapende. Dette kan forklares med loven om marginal produktivitet. Dersom man som tømrer er alene på jobb vil man ofte måtte klatre opp og ned stillaser for å rigge til eller forberede en jobb. Er man to mann, løser man oppgaver annerledes. Dette fører ofte til at produktiviteten for disse to samlet øker. Det vil i noen tilfeller si at én mann jobber med direkte verdiskapende operasjoner, mens makkeren utfører nødvendige oppgaver som transport, måling, rydding eller mottak av materialer. Ser man dette opp i mot flyt, vil det ved beregning av verdiskapning i forhold til tid føre til at denne ene personen som hjelper til med nødvendige oppgaver får en dårlig score. Tilsvarende vil den ”verdiskapende” tømreren score svært godt. Operasjonsflyten, som er summen av disse personenes flyt, vil likevel holde seg god. Det kan tenkes at det vil være gunstig å fordele operasjonsflyt på antall personer i laget og ta hensyn til denne ved en måling av flyten til den enkelte.

Et annet eksempel hentes fra montering av hulldekkeelementer. Her benyttes ofte mobilkran for å løfte hulldekkeelementer fra lastebil direkte til sin plass i bygget. Denne operasjonen krever gjerne 5 mann; én kranfører, to montører i bygget samt to hjelpere som kan hekte løftekloa fast i elementene på lastebilen. Hele operasjonen, fra kloa hektes til elementet til det er ferdig montert på dragerne, kan utføres i løpet av få minutter. Å ha to personer til å styre hektingen nede på lastebilen er nødvendig for å få operasjonen til å flyte, men de to personene som har jobb med å hekte vil måtte vente i store deler av operasjonen. Dette fører til at kranen stadig er i bevegelse og elementene blir hurtig montert.

God flyt i operasjoner kan også føre til at man som person jobber mer effektivt, det vil si at man får gjort mer i løpet av færre timer. En metode for å oppnå en god operasjonsflyt på er å lage gode prosedyrer for hver enkelt operasjon. Et eksempel på dette finner vi hos Ugland Eiendom i byggingen av Campus Grimstad. Prosjektleder nevner dørmontasje som et godt eksempel på hvordan god planlegging lønner seg. Prosjektlederen ser på montering av en dør som en operasjon bestående av flere ledd. Det er mange fag involvert, og mange dører som skal monteres. Det betyr at det er mulig å industrialisere dørmontasjen. For å løse dette på en god måte er det utarbeidet sjekklister som henger på hver dør. Her må hvert fag dokumentere at de er helt ferdige før de går videre til neste dør. Rekkefølgen er også viktig her. Dette blir tatt hensyn til ved bruk av sjekklister. Lang erfaring fra bransjen gjør prosjektlederen i stand til å vurdere hvor store ”seriestørrelser”, det vil si hvor mange dører ett fag skal gjøre ferdig før neste fag tar til med neste ledd, som skal til for å få en mest mulig jevn flyt i operasjonen med å montere dører.

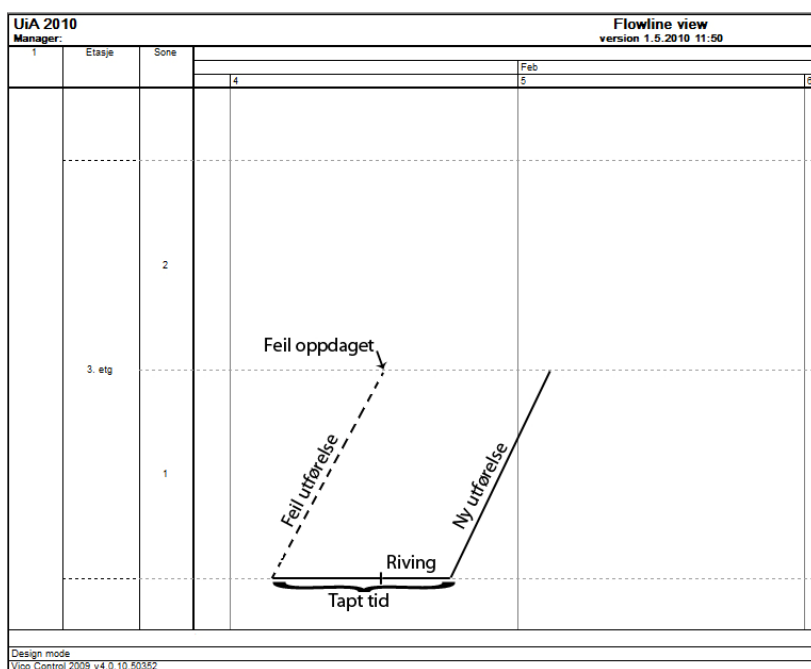
### 7.4 Feilretting

Vi tar utgangspunkt i en operasjon hentet fra tidsmålinger på byggeplass. Operasjonen som bestod i å komplettere en yttervegg innvendig bestod i grove trekk av montering av stendere,



isolasjon, diffusjonssperre, lekter og gipsplater. Ved målingen var stendere og isolasjon allerede på plass. Idet man skulle runde et hjørne hvor ytterveggen og en innervegg møttes oppstod det komplikasjoner med å få en tett diffusjonssperre, da det var slått horisontale spikerslag fra en skillevegg fast i ytterveggen. Disse spikerslagene måtte fjernes før diffusjonssperra kunne monteres. Til slutt kunne spikerslagene festes igjen. Denne delen av operasjonen kan illustreres som i Figur 15.

Her har vi altså et tilfelle hvor deler av en operasjon blir utført feil (rekkefølgefeil) og det må rives før operasjonen igjen kan utføres korrekt. Fra et operasjonelt synspunkt kan flyten oppfattes som bra. Man har nødvendig verktøy som trengs for å utføre rivearbeid tilgjengelig og man trenger heller ikke vente noe særlig for å begynne arbeidet med å rive og utføre arbeidet i riktig rekkefølge. Dersom denne aktiviteten er på kritisk linje, vil det påvirke byggets fremdrift da denne operasjonen tar en del mer tid enn den burde og hva som er planlagt, noe som påvirker prosessflyten.



Figur 15 Illustrasjon av en operasjon med feil utførelse.

Dette hører også hjemme i tapt tid diskusjonen. Hva er tapt tid i dette tilfellet? En vanlig oppfattelse vil være at tapt tid er rivetiden, men den tiden det tok å utføre arbeidet i utgangspunktet bør også tas med i et tapt tid-mål.

I andre tilfeller er det utført feil på større deler av bygget, stenderne i en skillevegg kan for eksempel være montert uten å ta hensyn til ulik høvling på inner- og ytterside av stenderne, noe som ikke medfører riving, men det går mye tid til å korrigere for skjevheten mellom stenderne på begge sider av innerveggen. I tilfeller med kun feilretting og ikke riving er det feilrettinga som vil være tapt tid og dermed også vil påvirke flyten.

Merk at her påstår vi at et tømmerlag kan ha god flyt selv om de utfører motproduktivt arbeid. Da er vi tilbake til diskusjonen hva flyt er, om det er jevn grad av verditilførsel eller om det

er jevn grad av arbeid. Det er fullt mulig at tømreren vil oppleve flyten som god selv om han må rive og utføre på nytt. Den subjektive oppfatninga tilsier god flyt, men ser man på det objektivt vil flyten være dårlig – arbeidet blir oppstykket og fremdriften for prosjektet bremses.

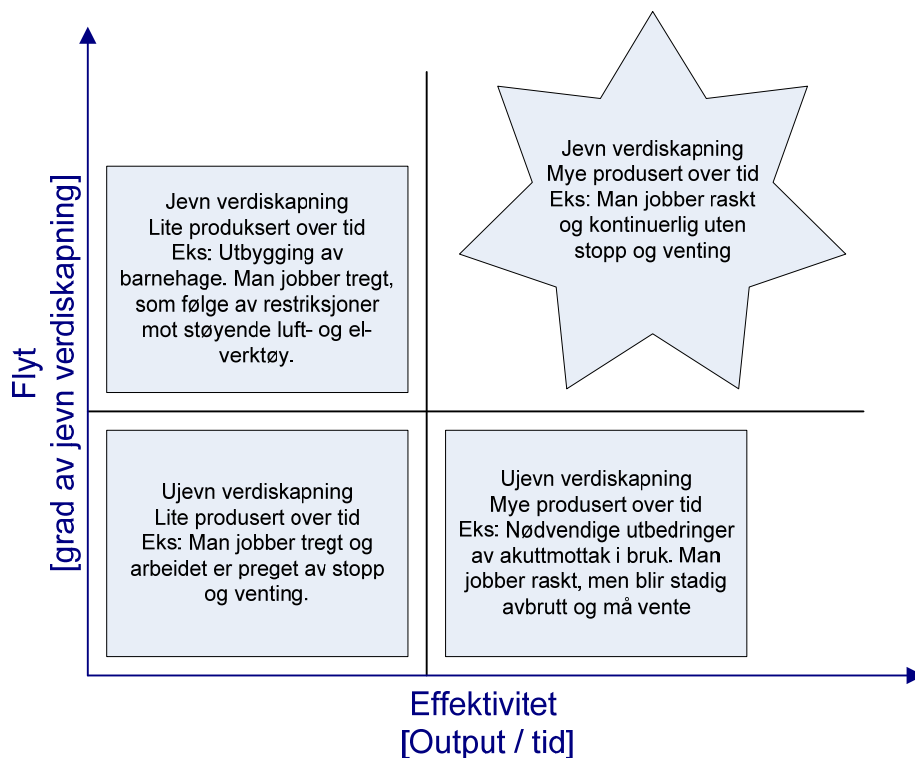
Ifølge samtaler med fagarbeidere og formann på byggingen av Slettheia Skole i Kristiansand, var de største forstyrrelsene i arbeidet: manglende materialer, feil på utstyr, manglende tegninger og feilretting etter tidligere fag eller lag. Disse feilene stoppet ikke opp verdiskapningen så i måte, det var alltid andre oppgaver å gjøre. Men det førte til avbrudd, arbeid i feil rekkefølge og det de kalte dårlig flyt. Det som er spesielt tidkrevende er feilretting. I tillegg til at en oppgave blir gjort to ganger, går det med tid til å kartlegge feil og diskutere løsninger med formann eller kolleger. Et tiltak som kan gjøres er å innføre ansvar for feil, det vil si en mer transparent og gjennomiktig produksjon. På den måten blir det vanskeligere å være slurvete og ta snarveier

### 7.5 Er flyt ressursuavhengig?

God flyt kan føre til god produktivitet, men det er vår oppfatning at god produktivitet ikke nødvendigvis gir god flyt. Dersom et prosjekt ligger etter skjema og det er nødvendig å komme à jour, er et alternativ å sette inn ekstra ressurser for å nå tidsfrister. Økte ressurser, eksempelvis i form av personell, vil sannsynligvis gi dårligere produktivitet på plassen, men bedre effektivitet. Det forutsettes her at man fra før av har dimensjonert ressurser produktivitetsoptimalt, og at en økning fører til lavere marginalproduktivitet for hver ekstra ansatt. Fenomenet med redusert marginalproduktivitet ved økning av ressurser utover optimum kan komme som en følge av at håndverkere går i beina på hverandre og at aktiviteter blir påbegynt uten at alle forutsetninger er tilstede. Likevel vil effektiviteten øke, det vil si at mer blir skapt på kortere tid enn før. På grunnlag av dette påstår vi at antall ressurser kan være med å påvirke hvorvidt flyten er god eller dårlig, men at ressurser i seg selv forteller i liten grad om hvor god eller dårlig flyten er.

#### 7.5.1 Flyt og effektivitet

Et viktig argument for å innføre lean construction er å bedre flyt i produksjonen og dermed oppnå høyere effektivitet og produktivitet. Vi påstår at dette ikke nødvendigvis behøver å være slik. Flyt *kan* opptre uten å føre til høyere effektivitet og produktivitet. Det er først når disse opptrer sammen at vi har en optimal situasjon. Det er altså nødvendig å se på hvor mye som blir skapt, hvor mye tid og ressurser som går med samt hvor jevnt verdiskapningen foregår. Figur 16 viser mulige tilstander hvor flyt opptrer sammen med effektivitet. Dersom det er praktisk mulig, er det ønskelig å være i øverste høyre kvadrant hvor det skapes mye over kort tid uten avbrudd.



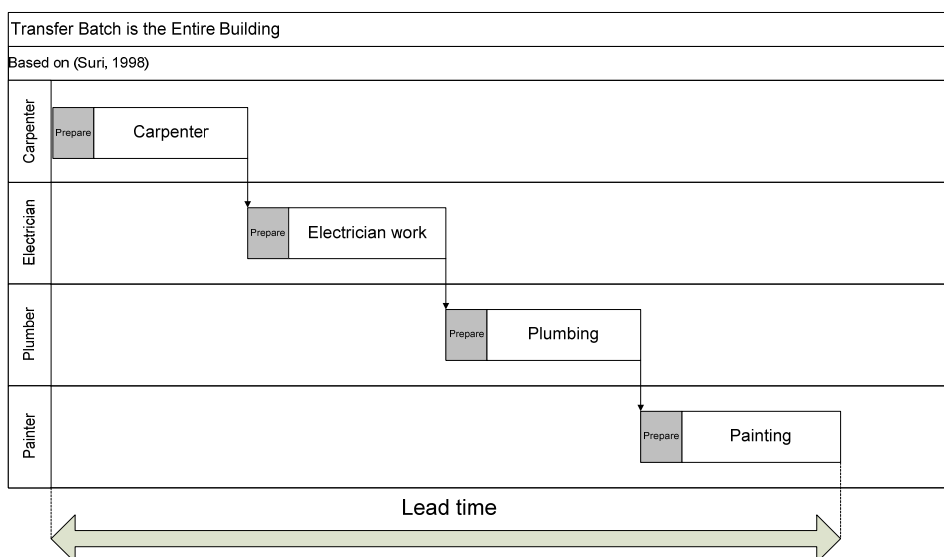
Figur 16 Mulige tilstander av flyt og effektivitet

## 7.6 Flyt og byggetid

Det kan tenkes at flyt henger sammen med byggetid. I prosjekter hvor byggetiden er presset til det minimale for å få prosjektet ferdig så fort som mulig, vil det sannsynligvis være nødvendig med en god prosessflyt. Da vil det være naturlig å prioritere denne. Dette kan gå på bekostning av flyt og dermed produktivitet for lag og personer. I prosjekter hvor man har god tid til å prosjektere og lage gode planer for gjennomføring, har man sannsynligvis også enklere for i tillegg oppnå god flyt for både operasjoner og enkeltpersoner.

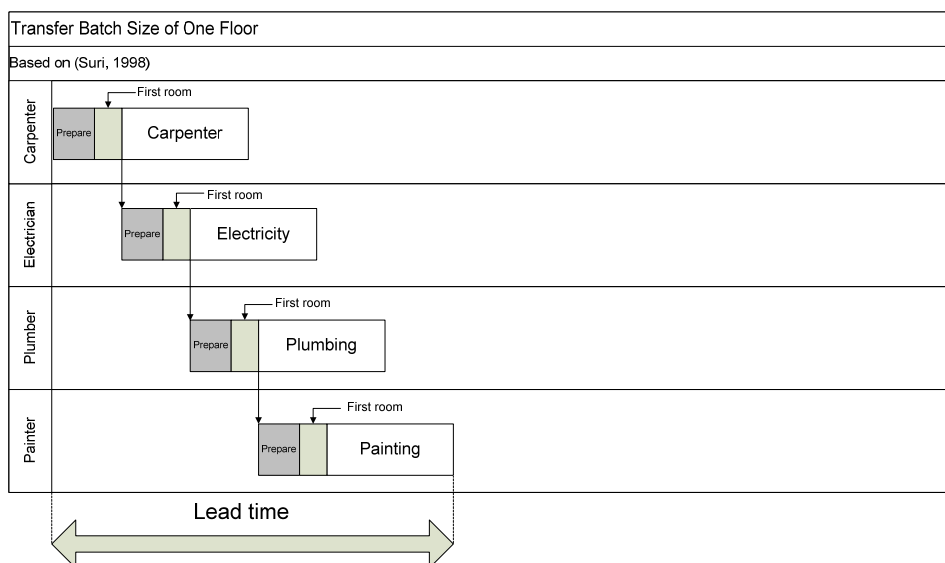
Ved måling av flyt sett i forhold til byggetid bør man være nøye med å ha en klar definisjon på hva byggetid er. Skal man måle fra første spadetak til overlevering av risiko og kontroll, eller skal man for eksempel se på totalt antall effektive produksjonstimer? Hva med byggetiden til en etasje, eller et rom? Dette kan bli komplisert da det kan være perioder hvor det ikke arbeides med rommet eller etasjen. Skal denne tiden regnes med eller ikke? Hva med tiden etter overtakelse? Ofte er det en viss innkjøringsperiode hvor man justerer og kalibrerer bygget til å fungere optimalt. Skal denne tas med? Hva med reklamasjoner og utbedringer av feil innen garantiperioden?

I figurene som følger ser vi hvordan et bygg kan deles i seriestørrelse på et rom og dermed korte inn byggetiden – i eksempelet kalt lead time. Disse figurene er produsert med utgangspunkt i Suris (1998) eksempel på tilpasning av seriestørrelser for å korte inn ledetid. Seriestørrelsene i Suri (1998) er knyttet til produksjon og maskinbearbeiding, og figurene som følger er forsøkt tilpasset byggeprosjekter.



Figur 17 Stor seriestørrelse - lang ledetid

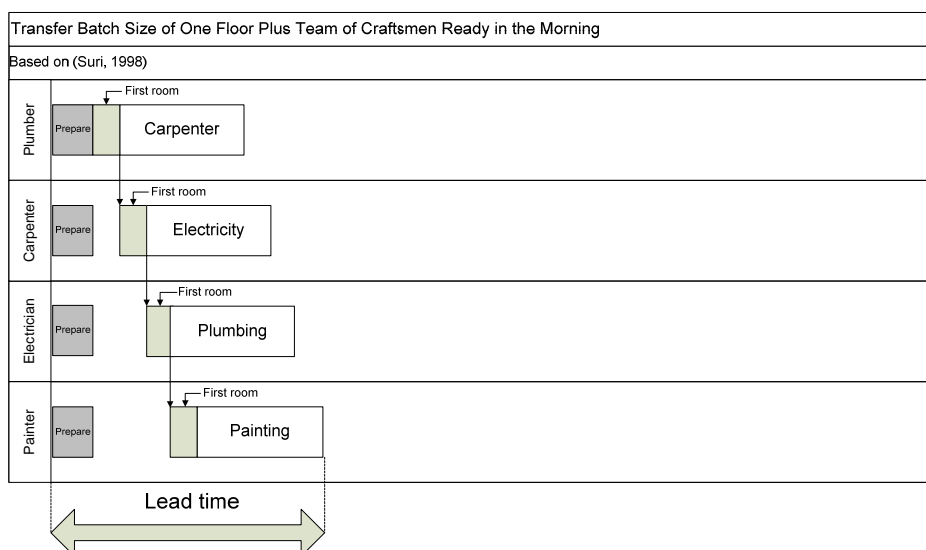
Første tilfellet viser hvordan man kan velge å la hvert fag gjøre seg ferdig i hele bygget før neste fag går i gang. Dette tilsvarer at seriestørrelsen er hele bygget. På denne måten vil man sikre at alt er klart og man vil hindre at folk går i veien for hverandre. Dette fører imidlertid til en nokså lang byggetid.



Figur 18 Middels seriestørrelse - middels ledetid

Her har man definert seriestørrelsen til å være én etasje. Når ett fag er ferdig med en etasje og flytter seg til neste, går neste fag i gang på den ferdige etasjen. Det må imidlertid beregnes litt tid på rigging og første gjennomføring<sup>13</sup>. Som vi ser av figuren er ledetiden nå redusert til omtrent halvparten av opprinnelig.

<sup>13</sup> Første gjennomføring er oversatt fra industriens "first run". I byggebransjen kan dette være arbeidet man gjør i første rommet, kontoret eller leiligheten i bygget man jobber på.



Figur 19 Små seriestørrelser og alle ressurser stand-by – svært kort ledetid

I neste ledd krympes seriestørrelsen til én etasje, eller helt ned til ett rom, og i tillegg står alle fag klar og venter til de kan sette i gang. Dette koster, men ledetiden er nå krympet til det minimale.

Byggetid kan knyttes til ledetid i tradisjonell produksjonsteori. Dersom man ser på QRM vil man se at det lar seg gjøre å korte inn ledetiden ved å justere ned seriestørrelsene. Suri argumenterer for at dersom reduksjon av ledetid settes som hovedprestasjonsmål, vil man automatisk ta valg som gagnar bedriften som en helhet. Dersom dette også gjelder for byggebransjen, er sannsynligvis potensialet stort for å få til forbedringer og endringer som kan føre fram til besparelser og mer effektive byggeprosesser.

Tidspress er et ord man hører ofte i byggebransjen. Korte frister satt av utålmodige byggherrer som ønsker kjøpesenteret, butikken eller skolen i drift til en viss dato kan tvinge byggetiden til å bli kortere enn mange entreprenører ville ønsket seg. I samtlige intervjuer og samtaler i forbindelse med denne oppgaven ble byggetid diskutert. Det var imidlertid delte meninger blant intervjuobjektene om man burde søke å korte ned, eller strekke ut byggetiden. Gjennomgangstonen var at byggetid er en avveining mellom å oppnå høy produktivitet i produksjonen og unngå for høye akkumulerte faste og indirekte kostnader. Faste og indirekte kostnader tenkes i denne forbindelse å være kostnader forbundet med kapitalbinding, rigg, kran, utstyrsleie, administrasjon eller avskrivninger på egne anleggsmidler.

Det må poengteres at vi mener det er mulig å gjennomføre et prosjekt med kort byggetid, god flyt i alle ledd og høy produktivitet – det vil si lave kostnader i forhold til output. Dette er noe man bør strekke seg etter, men viser seg ofte vanskelig å få til i praksis. Lean-tanken er å være at man kan oppnå høy kvalitet på kort tid til lave kostnader.

## 7.7 Køteori

Hopp & Spearman (2000) skriver i *Factory Physics* om flyt i den forstand at materialer flyter gjennom et produksjonssystem. Boka er skrevet for å vise hvordan et produksjonssystem er bygd opp og skal bidra til at fabrikkledelse kan identifisere forbedringer.

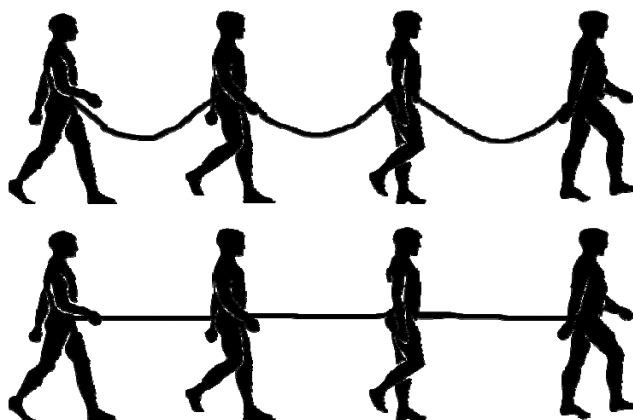
Sentralt i *Factory Physics* står Littles lov. Denne blir omtalt som ”industriens  $F = m \cdot a$ ”. Littles lov<sup>14</sup> sier at sammenhengen mellom varer i arbeid, syklustid og output er som følger:

$$\text{Varer i arbeid} = \text{syklustid} \cdot \text{output}$$

Syklustid er i *Factory Physics* den tiden produktet eller råvaren klassifiseres som varer i arbeid. Output er gjennomsnittlig produksjon fra en maskin i en gitt tidsperiode. Videre vises det til et eksempel med en fabrikk bestående av to maskiner som har lik etterspørsel og oppetid, men vidt forskjellige resultater hva varer i arbeid, syklustid og output angår. Variabilitet er årsaken til dette. Selv om maskinene har like lang total oppetid kan *fordelingen* av oppetiden være utslagsgivende. Det vises til at store deler av syklustid ofte består av venting, og at bare 5-10 % av tiden er effektiv prosesseringstid. Den viktigste måten å øke dette tallet på er å få kontroll over variabiliteten, og det vises til at de fleste effektiviseringstiltak i bedrifter går ut på å redusere variabilitet. Dersom det ikke er mulig å redusere variabilitet må man akseptere følgende ”straff”; lang ledetid, mye varer i arbeid, tapt output og/eller lav utnyttelsesgrad. Det er dette som er bakgrunnen for *Factory Physics* sin påstand om at man aldri skal operere med 100 % utnyttelse av ressursene. Dette nevnes også av Suri (1998) i kapittel 4.7 om QRM. Hopp & Spearman (2000) skriver for øvrig følgende om variabilitet

- Variabilitet i flyten genereres av måten arbeid blir ført inn i systemet eller hvordan arbeidet beveger seg gjennom et produksjonssystem.
- Variabilitet forringer hele systemets ytelse. Økt variabilitet gir mer varer i arbeid, lenger ledetid, og lagerene øker, mens andre ytelsesindikatorer går ned.
- Variasjon forplanter seg. Variabel output fra en stasjon er årsak til variabel input i neste stasjon. Variabilitet innen hver stasjon betyr mindre jo lavere utnyttelsesgraden på den stasjonen er.
- Dårlig synkronisering på grunn av dårlig planlegging, variabilitet og dårlig produksjonskontroll er med og øker varer i arbeid.

<sup>14</sup> Littles lov: work in progress = throughput \* cycle time. Throughput er gjennomsnittlig output per tidsenhet. Vi har brukt det ”norske” ordet output. Koskela (2000) bruker ledetid om cycle time, mens vi har oversatt det til syklustid.



Figur 20. Variabilitet er vanskelig å unngå. Den øverste rekka utnytter ikke hele tauets kapasitet, men blir mindre påvirket av variabilitet. Variabilitet vil føre til større konsekvenser for personene på den nederste rekka.

Det er mange logistiske begreper som kan virke noe forvirrende, spesielt i oversettelsen til norsk. Syklustid er her oversatt fra *cycle time* som påstås å være synonymt med *flow time*, *average cycle time* og *throughput time* i Hopp & Spearman (2000, s. 217). Det forklares som den gjennomsnittlige tiden det tar for et produkt å flyte gjennom en produksjonslinje. For et bygg vil syklustid kunne tolkes til å være lik byggetid. Dette minner om hvordan vi omtaler operasjonell ledetid, men operasjonell ledetid er i Factory Physics definert som konstant fra ledelsen som sier noe om hvor lang tid en prosess skal ta og ikke hvor lang tid den faktisk tar. Man kan si at syklustid er den reelle ledetida eller kanskje lettest; byggetid. Syklustid kan også brukes om den tiden hver maskin bruker på å transformere et produkt. Tabell 3 gir en oversikt over de begrep som er brukt..

Tabell 3. En oversikt over begrep som er omtalt i Factory Physics, hvordan vi har oversatt/tolket de og hva de sier noe om.

I supply chain management	Omtalt som i denne oppgaven	Bruk i Factory Physics
Throughput	Output	Gjennomsnittlig output per tidsenhet
Cycle time (også omtalt som: average cycle time, flow time, throughput time)	Syklustid, men er i prinsippet likt byggetid.	Gjennomsnittlig tid fra starten av en aktivitet til slutten av en aktivitet. For eksempel tiden et produkt er klassifisert som varer i arbeid.
Work in progress	Varer i arbeid	Lagerbeholdning mellom produksjonsstart og produksjonsslutt

Lead time	Ledetid	En konstant fra ledelsen som sier noe om hvor lang tid det skal ta å produsere én enhet. I prinsippet lik planlagt byggetid.
-----------	---------	--

Ytelsen til et produksjonssystem er dermed bestemt av flere variable; en jobbs ankomst til en maskin, arbeid og venting. Ved hjelp av køteori kan et slikt system beskrives matematisk. Notasjonen er  $A/B/k$ , hvor

$A$  er sannsynlighetsfordeling for ankomst av et produkt til en maskin (per tidsenhet)

$B$  er sannsynlighetsfordeling for prosesseringstid (tid)

$k$  er antall maskiner

De vanligste sannsynlighetsfordelingene er  $M$  (eksponentiell),  $D$  (deterministisk eller konstant), eller  $G$  (normalfordelt). Vi kan da ha en  $M/M/1$ -modell. Et illustrativt eksempel er å se på et postkontor som har gjennomsnittlig 45 ankomster (kunder) i timen og gjennomsnittlig 60 betjeninger per time. Når disse er kjent kan man beregne sannsynlighet for at det ikke er noen kunder på postkontoret, forventet antall kunder i køen, gjennomsnittlig antall kunder inne i postkontoret, gjennomsnittlig ventetid, gjennomsnittlig tid hver kunde bruker på postkontoret, sannsynligheten for at en kunde må stå i kø, sannsynligheten for at det er  $n$  kunder i lokalet og utnyttelsesgrad.

Klassisk anvendelse av køteori er strategisk styring og evaluering av stabile systemer som trafikk, planlegging og design av fabrikker og i vareproduserende industri, utforming av flyplasser med hensyn på rullebanelayout, bagasjehåndtering, butikker, passkontroll osv. Det er også brukt opp mot datanettverk. Søk på *queuing theory* i litteraturløst EBSCO-host viser at det meste som blir publisert om køteori er i tidsskrifter innen emnene elektronikk/nettverk eller operasjonsanalyse.

Teorien ligger til rette for å kunne måle ytelse i et byggeprosjekt ved hjelp av køteori, selv om vi i litteratursøket ikke fant noen brukbare metoder. Man er avhengig av å ha et godt datagrunnlag, og teorien er i utgangspunktet bare gyldig i stabile systemer, mens byggeprosjekter blir omtalt som dynamiske systemer (Lu, 2003). Likevel er det en grad av gjentakelse i byggeprosjekter. Selv om byggeprosjekter sjelden er identiske, er det mange likheter. I prinsippet kan et byggeprosjekt ses som en lang kø av aktiviteter med gitte avhengigheter og usikkerheter. For å sette opp en køteorimodell av et byggeprosjekt kan det tenkes at

$A$  er en sannsynlighetsfordeling for når en aktivitet er klar for å påbegynnes, det vil si at den klassifiseres som en sunn aktivitet.

$B$  er en sannsynlighetsfordeling for hvor lang tid den gitte aktiviteten tar, og

$k$  er antall fagarbeidere



*A* blir påvirket av hvor sent i prosjektet aktiviteten er. Sannsynligheten for at en aktivitet kan påbegynnes som planlagt minsker jo lenger ut i prosjektet man kommer.

*B*, altså sannsynlighetsfordeling for hvor lang tid en gitt aktivitet tar er påvirket av flere faktorer; det er en aktivitets kompleksitet samt fagarbeidernes evne til å utføre aktiviteten hurtig.

Utfordringen er å unngå et søppel-inn, søppel-ut<sup>15</sup> tilfelle. Et tilstrekkelig datagrunnlag må være tilstede for å kunne si noe om gjennomsnittlig ankomsttid og gjennomsnittlig prosesseringstid med gitte standardavvik. Faren er at standardavvikene kan bli veldig store på grunn av stor variasjon av aktiviteter. Kanskje det kan knyttes til WBS? Det anses dermed som teoretisk mulig å beregne verdier som gjennomsnittlig antall aktiviteter som til enhver tid vil være igangsatt, sannsynlighet for at en aktivitet blir forsinket og utnyttelsesgrad av arbeidskraft. Som tidligere nevnt gjelder køteori for stabile systemer, så en modell som forsøkt over blir en forenkling. Likevel er det grunn til å tro at ved hjelp av mer avanserte modeller og et godt datagrunnlag finnes gode muligheter innen køteori.

---

<sup>15</sup> Folkelig frase som betyr at dersom datagrunnlaget er feil, så er også konklusjoner basert på dette grunnlag feil.



## 8 MULIGE FLYTMÅL

I dette kapittelet vil vi presentere forslag til hvordan vi tenker at flyt kan måles. Det mest sannsynlige er at en indikator basert på flere av disse er det mest hensiktsmessige.

### 8.1 Flyt i sammenheng med tapt tid

Et byggeprosjekt flyter gjerne godt dersom

- materialer og tegninger blir levert når de skal, hvor de skal og feilfrie
- aktiviteter blir påbegynt i henhold til plan, fullført i henhold til plan og feilfritt

Tanken bak dette er at istedenfor å måle flyt direkte, så er det mulig å se på hva som skaper dårlig flyt. En forutsetning er da at tapt tid fører til dårlig flyt. Samtaler med formann tømmer på Slettheia Skole og generelle inntrykk fra litteraturstudiet, gjør at vi kommer med antagelsen om at

$$\text{Personflyt} = 1 / \text{tapt tid}$$

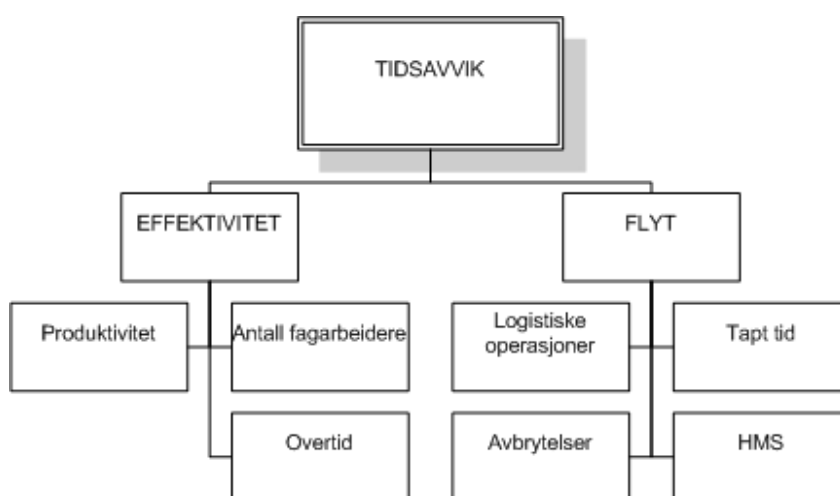
Her tolkes tapt tid som forårsaket av venting på materialer, venting på tegninger, endring i plan som følge av nye revisjoner fra prosjekterende, feil på verktøy, manglende verktøy og feilretting av egne og andres feil. Tapt tid er målbart, men det bør diskuteres hva som skal regnes som tapt tid. Tapt tid bør ikke innebære rigging, da rigging er nødvendig for å få gjort et arbeid, men det er med på å stykke opp arbeidet og forstyrrer flyten. Rigging kan ses på som en omstillingstid. Omstillingstid regnes sløsing innen lean thinking. Det kan også forekomme *nødvendig* venting, for eksempel når det monteres hulldekkeelementer. Det må være personell både ved lastebil hvor elementene blir hentet fra, og personell der de monteres. I slike tilfeller må noen nødvendigvis vente. Uforstyrret flyt er utopi, men en reduisering av riggetid vil sannsynligvis bidra til å forbedre flyten. Å fokusere på gjentakelseeffekt er et eksempel som reduserer riggetid, med fokus på å maksimere serieproduksjon. Tapt tid bør også korrigeres for feilretting. Den produktive tiden er kun den tida det tar å utføre en aktivitet feilfritt, så tiden brukt til å utføre aktiviteten første gang pluss riving og/eller feilsøking kan anses som tapt tid. Denne tilnærminga tar ikke hensyn til sløsing i planlegging og logistikk-løsninger, men er et mål på produksjon gitt de forutsetninger som er til stede. Det er altså et mål på operasjon og ikke prosess.

Stoffet beskrevet over ligner på LPS i den grad at det beskriver sunne aktiviteter. Disse kriteriene stiller krav til både planlegging, logistikk (materialer og tegninger) og produksjon (feilfritt). Dersom materialer og tegninger blir levert når de skal, hvor de skal og feilfritt er det sannsynlig at informasjons og materialflyten er god. Når aktiviteter blir påbegynt og fullført i henhold til plan og ikke minst feilfritt, måles både plan og produksjon. Nøkkelordet er feilfritt, da inntrykket vi sitter med er at mye tid blir brukt til å rette opp i andres feil.

## 8.2 Avviksmåling ved bruk av WBS i forhold til baseline

Omtrent som når man i økonomien måler budsjettavvik og bryter dette ned til salgsvolumavvik, markedsstørrelsesavvik, markedsandelsavvik, fleksibelt budsjettavvik osv. kan det tenkes at det er mulig å bryte ned en fremdriftsplan og se hvor avvikene ligger. Helt enkelt vil det si at vi trenger en baseline, altså en basis for fremdrift som er realistisk. Målet er å måle hvor effektiv produksjonen er, ikke hvor effektiv planleggingen er. Dette er et objektivt mål og består i bunn og grunn av flere KPIer.

Dersom man har en WBS som i Figur 6, og benytter den økonomiske tilnærmingen for å bryte ned avvik fra en baseline, vil man ha to mulige avvik. Forutsatt at planlagt tid, baseline, er realistisk, vil et avvik i tid være på grunn av 1) fagarbeiderne har økt produktiviteten, eller 2) man har tjent tid som følge av flere/færre avbrudd, økt/reduisert omstillingstid, mer/mindre tapt tid og økt/reduisert tid til logistiske operasjoner.



Figur 21. Mulig sammenheng mellom produktivitet og flyt.

Idéen bak dette er å bruke tidsavvik, som man beregner ut i fra en plan, og effektivitet som er målbart. Da står man igjen med en ligning med én ukjent. Vi kan finne tid tapt eller tjent som følge av god eller dårlig flyt. Svakheten er nettopp det at det krever en del erfaring for å kunne lage en realistisk baseline, ellers vil det bli et mål på prosjektplanlegging og ikke produksjon. I tillegg forutsetter den at alle lag er like produktive.

Effektivitet brukes også her som output per tidsenhet. For eksempel kan første etasje være ferdig innredet på to uker, tre dager før baseline. Det vil da være en gevinst på 3 dager, og her skal vi finne ut hvorfor.

Et forenklet eksempel kan se slik ut: to uker og tre dager er baseline, det vil si 13 arbeidsdager eller 97,5 timer (7,5 timers arbeidsdag). Dersom 6 fagarbeidere er involvert gir det totalt 585 arbeidstimer. Ser her at det er blitt brukt 495 arbeidstimer, tilsvarende 11 arbeidsdager. Om dette kommer av antall fagarbeidere eller overtid er direkte tall som man med letthet skal kunne finne ut. Dersom det ikke er benyttet overtid eller et økt antall fagarbeidere kan det tenkes at de som har jobbet har vært mer produktive. I så fall bør det kunne leses av akkordregnskapet. I dette tilfellet har de benyttet seg av overtid eller flere

arbeidere, dette siden timeantallet tilsvarer 11 dager, mens etasjen ble ferdigstilt på 10. Sett at produktivitet er i samsvar med planen, så vil de to siste dagene de har spart sannsynligvis skyldes en god flyt.

Dette flyttallet man da står igjen med vil da dersom det er positivt, altså raskere enn baseline, være forårsaket av fire elementer. Logistiske operasjoner kan være at logistikken på byggeplassen er godt planlagt og det er kort vei fra lagring til montering. Det kan også bety en vellykket JIT-strategi mellom prosjektledelse og leverandører. Det kan være på grunn av mindre tapt tid, færre avbrytelser eller færre hendelser som påvirker HMS-statistikken negativt (skader, nesten uhell, ikke-planlagt sikringsarbeider eller lignende). HMS vil i så tilfelle kun påvirke negativt, da vi antar at ingen planlegger med tid til å behandle skader eller slurv i forhold til HMS-tiltak.

Som tidligere nevnt er nok dette et bedre mål på hvor god enn plan er enn et produksjonsmål. Derfor konkluderer vi med at dette målet ikke tilfredsstillende krav om et direkte mål på produksjonsflyt. Det den derimot kan brukes til er å analysere *hva* som har blitt gjort riktig eller galt. Dersom man benytter PPU som baseline er dette en analysemetode som kan benyttes for å gå litt i dybden på produksjonen og resultatene kan dermed brukes til videre læring.

### 8.3 Subjektive vurderinger av flyt

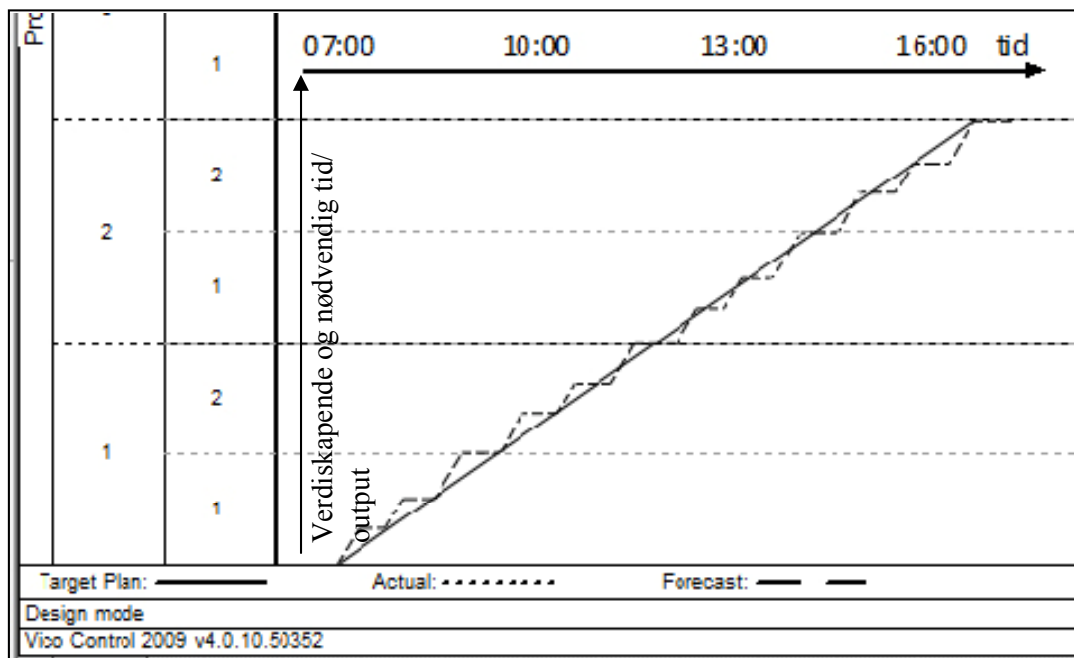
Det mest interessante med flyt som subjektivt mål er å se hvorvidt de involvertes oppfatning av prosjektet samsvarer med objektive flytmål og økonomiske mål. Dette kan altså være nyttig i forhold til å verifisere andre indikatorer, eller oppdage forhold som ikke blir fanget opp. Dersom man har laget et system for måling basert på aggregerte objektive indikatorer, er det en viss sannsynlighet for at man vil møte tilfeller hvor målingene ikke gir et korrekt bilde av virkeligheten. I slike tilfeller vil muligens subjektive mål kunne bidra til å belyse ukjente forhold som påvirker flyt.

De involverte i et byggeprosjekt vil ha en oppfatning av hvorvidt det har vært god flyt eller ikke. Dette målet innebærer å spørre alle involverte om de har opplevd flyt i prosjektet, et enkelt ja/nei-spørsmål burde være tilstrekkelig. Som et konkret og direkte flytmål er denne metoden sannsynligvis ikke holdbar, det er et mål på sosiale forhold. men det kan være interessant og se hvordan de involverte oppfatter flyten sett i forhold til andre flytmål, eksempelvis tapt tid.

### 8.4 Måling av verdiskapende og nødvendig tid

Ved måling av flyt for enkeltpersoner kan én innfallsvinkel være å måle verdiskapende, nødvendig og unødvendig tid fra minutt til minutt. Dersom vi tegner dette inn i et skråstreksdiagram, vil det kunne se ut omtrent som på figur 22. Her viser den stiplede linjen hvordan en person jobber seg gjennom ulike soner og veksler mellom å være produktiv og ikke-produktiv. De vannrette delene av linjen viser at personen utfører unødvendige

oppgaver. Dette kan være unødvendige pauser, venting på materialer eller verktøy, feil på tegninger, feil utførelse eller retting av feil. De skrå delene av den stiplede linjen viser at personen utfører verdiskapende eller nødvendige oppgaver. Den heltrukkede linjen viser planlagt produktivitet. Denne kunne også representert faktisk verdiskapning for denne arbeidsdagen som et gjennomsnitt.



Figur 22 Disponering av tid i løpet av en arbeidsdag

Som vi ser i figuren ovenfor er den gjennomsnittlige produktiviteten i løpet av dagen nok så jevn. Det er først når vi skalerer opp kurven at vi ser variasjonen i produktivitet. Denne variasjonen i produktivitet kan sees på som flyt. Dess tettere den stiplede linjen ligger til den heltrukkede linjen, dess bedre påstår vi at flyten er. Stopp, venting, hindringer, unødvendige pauser og feil utførelser vil gi seg utslag i vannrette stykker i linjens forløp. På samme måte vil drastiske endringer i produktiviteten gi seg utslag i ulike stigningstall i de skrå delene av den stiplede linjen. Personflyten vil altså være god dersom man har få stopp og hindringer. En måte å beskrive den stiplede linjens avvik i forhold til den heltrukkede "baseline"-linjen kan være å sette den heltrukkede linjen som et tenkt gjennomsnitt av den stiplede. Deretter må man finne hvor korrelert den stiplede linjen er i forhold til den heltrukkede. Korrelasjonskoeffisienten gir oss da et relativt mål på flyten i forhold til "baseline". Denne metoden avhenger selvfølgelig av at man har en korrekt baseline som utgangspunkt. Det kan diskuteres om man heller skal bruke det lineære gjennomsnittet av den stiplede linjen, uavhengig av hva som var planlagt produktivitet. Da vil man kunne se på hvor mye variasjon det har vært i produktivitet og andel ikke-verdiskapende unødvendig tid. Denne diskusjonen kan relateres til diskusjonen om bruk av PPC som prestasjonsmål. Her kan det også påstås at man kan ha en god flyt i arbeidet til tross for at produktiviteten er dårlig. Flyt i prosesser er tidligere i oppgaven definert som ressursuavhengig. På personnivå vil dette kunne bety at

flyt er uavhengig av innsatsen og arbeidsviljen til den enkelte person. En som jobber sakte vil fortsatt kunne ha en god flyt i arbeidet sitt. En som jobber hurtig og i tillegg har god flyt vil likevel være den mest produktive og effektive av de to.

Det kan sies at oppgaver som er nødvendige, men ikke verdiskapende eksempelvis måling, rydding, rigging og HMS-arbeid, ikke burde telle med i vertikal retning i diagrammet. Dette kan i visse tilfeller føre til at man tilsynelatende har kommet langt i en prosess til tross for at man ikke har skapt noe som helst. Dette kan være i tilfeller hvor man bruker lang tid på å rigge til og gjøre klart for en jobb som i seg selv ikke tar lang tid. Grunnen til at både nødvendige, men ikke verdiskapende, oppgaver og direkte verdiskapende oppgaver bør tas med er at man er nødt til å utføre begge deler. For å oppnå god flyt i arbeidet kan man iverksette tiltak som skal redusere omfanget av de unødvendige og nødvendige ikke-verdiskapende oppgavene. For at man skal kunne måle endringen disse tiltakene medfører vil det også være fornuftig å inkludere de nødvendige ikke-verdiskapende oppgavene for å kunne se endring over tid.

For å få en praktisk måte å samle inn data på som ikke krever store ressurser i form av målepersonell med stoppeklokke som tar tiden på hver enkelt person i prosjektene vil vi i avsnittene under foreslå ulike metoder som virker fornuftig å bruke som utgangspunkt for dataregistrering.

#### 8.4.1 Akkorddata som målegrunnlag

I workshop 22. mars ble det diskutert muligheter for å benytte materiale fra akkordsystemet som grunnlag for måling av flyt. Akkordlønn, noen steder kalt produktivitetsavtale, er en form for prestasjonslønn hvor man blir lønnet i forhold til hvor godt man jobber. Det kan tenkes at det foreligger data som lar seg benytte til andre formål enn kun beregning av prestasjonslønn.

I en semesteroppgave ved UiA om bruk av akkord som mål på flyt og produktivitet konkluderer forfatteren, Bjørge Johansen, med følgende: *Selv om forhandlingene i akkorden gjør "Timelønn-KPIen" mindre nøyaktig er det fremdeles en god indikator for flyt og produktivitet* (Johansen, 2008, s.18).<sup>16</sup> I vår oppgave er det ikke utført noen grundig studie av hvilke betingelser som bør oppfylles for at akkordmålinger skal kunne benyttes som indikator for måling av flyt. Det virker imidlertid sannsynlig at det er mulig å dra nytte av målinger utført i forbindelse med akkord og at disse målingene inneholder data som kan indikere grad av flyt dersom de tolkes riktig. I forhold til vår tolkning av flyt og produktivitet vil utsagnet om at timelønn kan indikere disse holde kun for sistnevnte. Akkordtimelønn er slik vi ser det knyttet til produktivitet og effektivitet. Den forteller i liten grad i hvilken flyt det har vært i arbeidet.

<sup>16</sup> Det presiseres at konklusjonen er hentet fra en semesteroppgave, og at disse som regel ikke er godt nok kvalitetssikret til uten videre å benytte som kilde i videre arbeid. Konklusjonen tas likevel med for å bygge opp under antagelsen om at akkorddata sannsynligvis kan brukes som mål på flyt.

## 8.5 Støy

To av de mest brukte eksemplene på å forklare flyt er bilkøen og vannet som renner. Når man tenker seg disse to situasjonene, vil man i begge tilfeller se at god flyt fører til et lavt støy nivå. Dårlig flyt derimot, enten det er køen som stamper og sinte bilister tuter og bråker eller vannet som går utfor et stryk, fører til at støy genereres. Dersom man ser på andre flyteksimpler, vil man også kunne trekke paralleller til støy som en følge av dårlig flyt. Dette kommer ofte som en direkte følge av friksjon som stopper kontinuiteten i prosessen man ser på. Friksjon i et byggeprosjekt kan for eksempel være situasjoner eller ting som fører til at en hindring oppstår, eksempelvis at man må vente på en forsinket leveranse eller en uferdig foregående prosess. Når det er snakk om arbeidsflyt på person- eller operasjonsnivå, kan friksjon utarte seg i stress, irritasjon og rådvillhet. Dette fører ofte til at personen, eller laget, ytrer sine synspunkter, stiller spørsmål eller oppsøker sin prosjektleder for å få utløp for sin frustrasjon.

I intervju med en prosjektleder hos Kruse Smith, kom det frem at etter omleggingen til lean construction i byggeprosjektene hans var det blitt merkbart færre telefoner. Det var mindre mas og mindre usikkerhet blant de involverte. Prosjektlederen var overbevist om at dette var en direkte følge av at prosjektene fløt bedre. Dette viser hvordan et enkelt, men kanskje nyttig, mål på hvordan flyt gir seg utslag i daglige, og enkelt målbare, situasjoner. Det kan hende at man i en reell målesituasjon bør knytte endringer i støymengde til et subjektivt mål fremfor å benytte denne endringen som en egen indikator.

En mulig metode for å bruke støy som indikator kan være at man måler antall henvendelser til prosjektleder. Enten i form av antall telefonsamtaler, taletid i telefonen, direkte spørsmål, e-poster eller SMS.

## 8.6 Aggregerte flytmål

På samme måte som at det ikke finnes et direktemål for god helse fins det per i dag ikke indikatorer på produksjonsflyt, men det er flere indirekte indikatorer som sett under ett gir en pekepinn på hvordan arbeidsflyten har vært. En sammenligning av akkorddata, subjektive inntrykk og støy, lite tapt tid og en jevn verdiskapningskurve vil gi et svar på om flyten har vært god eller dårlig.



## 9 KONKLUSJON

Flyt er for mange et kjent og velbrukt uttrykk med mange ulike oppfatninger. Det er ikke funnet noen presis definisjon på flyt i litteratursøket, men det er tilsynelatende en taus forståelse for flyt er og innebærer. I denne oppgaven har fokus vært på produksjonsflyt i byggeprosjekter. Vi har foreslått en presisering av produksjonsflyt; hvor jevn strømmen av verdiskapning er. Dette kan forklares nærmere med fravær av stopp, hindringer, venting og variabilitet. Koskelas teori for byggproduksjon sier at produksjon består av transformasjon, flyt og verdiskapning. Essensen i flytbegrepet er redusering av ikke-verdiskapende aktiviteter og variabilitet. Dette samsvarer med vårt forslag til presisering av uttrykket.

Med utgangspunkt i Shingos inndeling i operasjon og prosess mener vi at produksjonsflyt bør deles hierarkisk i tre nivåer, prioritert i synkende rekkefølge som flyt i prosess, flyt i operasjoner og flyt for hver enkelt person. Med prosess omfattes hele prosjektets fremdrift. Operasjoner er oppgaver underveis som utføres av lag. Personflyt vil være den enkeltes flyt i sitt arbeid. Det er basert på intervjuer og litteraturstudiet at vi konkluderer med at prosjektets flyt bør prioriteres høyere enn et enkelt lags flyt og den enkeltes persons flyt. Dette vil si at det i visse situasjoner vil det være *prosessoptimaliserende* at en person bruker store deler av dagen på venting.

Det er diskutert hvilken sammenheng det er mellom flyt, produktivitet og effektivitet. Det er da tatt utgangspunkt i at produktivitet er forholdet mellom ressurser og *output* og at effektivitet er *output* i forhold til tid. Vi er med dette utgangspunktet kommet til at er flyt best kan ses som ressursuavhengig i den betydning at man ser bort i fra ressurser ved beregning av flyt. Dette kan forklares med at man kan øke inngående ressurser i et byggeprosjekt for å opprettholde en god prosessflyt, men at dette ikke skal påvirke målet i seg selv. Flyt bør derfor heller ses på som et tillegg til både produktivitet og effektivitet for å få et godt bilde av situasjonen.

Flyt kan sannsynligvis ikke måles direkte. En passende sammenligning er å spørre hvordan man måler god helse. Det anses likevel som svært sannsynlig at det lar seg gjøre å aggregere indikatorer som vil gi et godt bilde av flyt i de ulike nivåene som nevnt i avsnittet over. Forslag til videre studier er å se på mulighet for å benytte køteori som grunnlag for måling av flyt i prosess og operasjoner. Data produsert i forbindelse med kalkulasjon og akkordmåling ansees også som svært interessant for videre studier. Tapte tid-data gir sannsynligvis gode muligheter for å måle flyt på personnivå. I disse målingene kommer det tydelig fram hva som er verdiskapende og hva som er venting og hindringer. Et supplement til tapte tid-målingene for bruk til måling av flyt kan være måling av variasjon i grad av verdiskapning over tid. Det vil også være av interesse å se nærmere på om det er mulig å overføre prinsipper fra industriens oppe- og nedetid til byggebransjen. Dette kan ha betydning for et aggregert flytmål.



## 10 REFERANSER

- Albriksen, R. O. (1989). *Produktivitet i byggebransjen*. Oslo: Norges byggforskningsinstitutt.
- Andersen, B. (2004). *Restrukturering, medbestemmelse og faglig innflytelse i entreprenørbransjen. Veidekke og Selmer på 1990-tallet*. Sandefjord: Fafo.
- Arbulu, R., Koerckel, A., & Espana, F. (2005). Linking Production-Level Workflow with Materials Supply. *IGLC-13 Proceedings* (ss. 199-206). Sydney: International Group of Lean Construction.
- Ballard, G. (1993). Lean construction and EPC Performance improvement. I L. Alarcon, *Lean Construction (1997)* (ss. 82-95). Rotterdam: A.A. Balkema.
- Ballard, G. (1999). Improving Work Flow Reliability. *Seventh Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC-7)* (ss. 257-286). Berkeley, California, USA: International Group for Lean Construction.
- Ballard, G. (2000). *The Last Planner System of Production Control*. Birmingham: The University of Birmingham.
- Ballard, G., & Howell, G. (1994). Implementing Lean Construction: Stabilizing Work Flow. *2nd Annual Conference of Lean Construction*. Santiago, Chile: International Group of Lean Construction.
- Beatham, S., Anumba, C., Thorpe, T., & Hedges, I. (2004). KPIs: a critical appraisal of their use in construction. *ProQuest Health Management*, 93-113.
- Bertelsen, S., Koskela, L., Guilherme, H., & Rooke, J. (2006). Critical Flow - Towards a Construction Flow Theory. *Proceedings IGLC-14*. Sydney: International Group of Lean Construction.
- Bjørnenak, T., & Stensland, V. (2009). Prestasjonsmåling av leverandører. I B. T. Kalsaas, *Ledelse av verdikjeder* (ss. 117-128). Trondheim: Tapir Akademisk Forlag.
- Bokmålsordboka. (2009). *Bokmålsordboka*. Hentet mai 11, 2010 fra <http://www.dokpro.uio.no/ordboksoek.html>
- By, K.-I. (1997, Desember 8). RS-verdi mer hensiktsmessig enn H-verdi. *Arbeidsmiljø*
- Chan, A. P. (2001). *Framework for Measuring Success in Construction Projects*. Brisbane: Queensland University of Technology.
- Chan, A. P., & Chan, A. P. (2004). Key performance indicators for measuring construction success. *Benchmarking: An International Journal*, 11 (2), ss. 203-221.
- Chitla, V. R., & Abdelhamid, T. S. (2003). Comparing Process Improvement Initiatives Based on Percent Plan Complete and Labour Utilization Factors. *11th Annual Conference of Lean Construction*. Virginia: International Group of Lean Construction.
- Chitla, V. R., & Abdelhamid, T. S. (2003). Comparing Process Improvement Initiatives on Percent Plan Complete and Labour Utilization Factors. *11th Annual Conference of Lean Construction*. Virginia: International Group of Lean Construction.

- Choo, H. J., & Tommelein, D. I. (1999). Space Scheduling Using Flow Analysis. *Proceedings IGLC-7*. Berkely: International Group of Lean Construction.
- Constructing Excellence. (2004). *An Introduction to Key Performance Indicators*. Manchester: Centre of Construction Innovation
- Cox, R. F., Issa, R. R., & Ahrens, D. (2003, April/Mai). Management's Perception of Key Performance Indicators for Construction. *Journal of Construction Engineering & Management*, 142-152.
- Csikszentmihalyi, M. (2005). *Flow og engagement i hverdagen*. (F. Ø. Andersen, Overs.) Virum, Danmark: Dansk Psykologisk Forlag.
- Fisher, D., Miertschin, S., & Pollock Jr., D. R. (1995, January/february). Benchmarking in Construction Industry. *Journal of Management in Engineering*, 11, ss. 50-57.
- Formoso, C. T., Isatto, E. L., & Hirota, E. H. (1999). Method for Waste Control in the Building Industry. *Proceedings IGLC-7* (ss. 325-334). Berkely: International Group of Lean Construction.
- Hagelund, K. (2009). Produktivitetsutviklingen i Norge 1948–2008. *NORGES BANK - Penger og kreditt*, 37 (2), ss. 4-15.
- Halligan, D. W., Demsetz, L. D., & Brown, J. D. (1994). Action Response Model and Loss of Productivity in Construction. *Journal of Construction Engineering Management*, 120, ss. 47-64.
- Hopp, W. J., & Spearman, L. M. (2000). *Factory Physics* (2. utg.). New York: McGraw-Hill.
- Horner, M., & Duff, R. (2001). *More for less: A contractor's guide to improving productivity in construction*. London: CIRIA.
- Horngren, C. T., Datar, S. M., & Foster, G. (2007). *Cost Accounting*. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson - Prentice Hall.
- Ingvaldsen, T. (2001). *Skader på bygg - grunnlag for systematisk måling*. Oslo: Norges byggforskningsinstitutt / Byggforsk.
- Ingvaldsen, T., & Edvardsen, D. F. (2007). *Effektivitetsanalyse av byggeprosjekter*. Oslo: SINTEF Byggforsk.
- Johansen, B. (2008). *Lean og KPIer i akkord-systemet i byggebransjen*. Grimstad: Universitetet i Agder.
- Kalsaas, B. T. (2010). Work-Time Waste in Construction. *18th Annual Conference of Lean Construction*. Haifa: International Group of Lean Construction.
- Kalsaas, B. T., Thorstensen, R. T., & Skaar, J. (2010). *System og resultater fra utprøving av planleggingsmetoden "Last Planner" (Lean Construction) på Havlimyra oppvekstsenter i Kristiansand kommune*. Grimstad: Universitetet i Agder / Skanska region Agder.
- Koskela, L. (1999). Management of Production in Construction: A Theoretical View. *Proceedings IGLC-7* (ss. 241-252). Berkely: International Group of Lean Construction.

- Koskela, L. (2000). *An exploration towards a production theory and its application to construction. A doctoral thesis*. Espoo: VTT Publications.
- Koskela, L. (2004). Making Do - The Eight Category of Waste. *12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Copenhagen: International Group of Lean Construction.
- Laufer, A. (1985). Onsite Performance Improvement Programs. *Journal of Construction Engineering Management* , 111, ss. 82-97.
- Lee, S. H., Diekmann, J. E., Songer, A. D., & Brown, H. (1999). Identifying Waste: Application of Construction Process Analysis. *Proceedings IGLC-7* (ss. 63-72). Berkely: International Group of Lean Construction.
- Lu, M. (2003). Simplified Discrete-Event Simulation Approach for Construction Simulation. *Journal of Construction Engineering and Management* , 129.
- McCabe, S. (2001). *Benchmarking in Construction*. Birmingham: Blackwell Science.
- Park, H.S., Thomas, S. R., & Tucker, R. L. (2005). Benchmarking of Construction Productivity. *Journal of construction engineering and management* , 772-778.
- Paulsen, O. R. (2009, Desember). Tune Senter: Involverende Planlegging gir en bedre byggeprosess. *Veidekke Magasin* , 32-33.
- Phusavat, K., Manaves, P., & Takala, J. (2007, Volume 10, nummer 2-3). Proposed model for performance measurement standards. *International Journal of Manufacturing Technology and Management* .
- Pindyck, R. S., & Rubinfeld, D. L. (2009). *Microeconomics*. Upper Saddle River: Pearson Education Inc.
- Polat, G., & Ballard, G. (2004). Waste in Turkish Construction: Need for Lean Construction Techniques. *12th Annual Conference of Lean Construction*. København: International Group of Lean Construction.
- Rouse, H. (1946). *Elementary Mechanics of Fluid*. Dover Publications: New York.
- Sacks, R., Treckmann, M., & Rozenfeld, O. (2009). Visualization of Work Flow to support Lean Construction. *Journal of Construction Engineering and Management* , 1307-1315.
- Santos, A. d. (1999). *Application of flow principles in the production management of construction sites*. Salford UK: School of Construction and Property Management - The University of Salford.
- Schonberger, R. J. (1986). *World Class Manufacturing*. New York: The Free Press.
- Seppänen, O. (2009). *Empirical research on the success of production control in building construction projects. A doctoral thesis*. Helsinki: Helsinki University of Technology.
- Seppänen, O., & Kenley, R. (2005). Performance Measurement Using Location-Based Status Data. *Proceedings IGLC-13* (ss. 263-269). Sydney: IGLC.
- Shingo, S. (1990). *The Shingo Production Management System. Improving Process Functions*. Cambridge: Productivity Press.

Statistisk sentralbyrå. (2010, Februar 12). *Statistisk sentralbyrå*. Hentet Mai 11, 2010 fra Bygge- og anleggsvirksomhet, produksjonsindeks, 4. kvartal 2009: <http://www.ssb.no/byggnlprod/>

Suri, R. (1998). *Quick Response Manufacturing - A Companywide Approach to Reducing Lead Times*. New York: Productivity Press.

Swan, W., & Kyng, E. (2004). *An Introduction to Key Performance Indicators*. Manchester: Constructing Excellence in the North West.

The Business Roundtable. (1982). *Measuring productivity in construction*. New York: The Business Roundtable.

Thomas, H. R., & Zavrski, I. (1999, September/October). Construction Baseline Productivity: Theory and practice. *Journal of construction engineering and management* , ss. 295-303.

Veidekke. (2008). Involverende Planlegging - Fra 6 piloter til 27 læringsprosjekter. *Vi i Veidekke* .

Weiseth, M., Røstad, C. C., Andersen, B., Torp, O., & Austeng, K. (2004). *Produktivitet og logistikk i bygg- og anleggsbransjen: Problemområder og tiltak*. SINTEF, NTNU Bygg, anlegg og transport. Trondheim: Norsk Senter for Prosjektledelse / SINTEF Teknologiledelse.

Warren, R. H. (1989). *Motivation and Productivity in the Construction Industry*. New York: Van Nostrand Reinhold.

Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). *Lean Thinking. Banish Waste and Create Wealth In Your Corporation*. New York: Simon & Schuster.

Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). *The Machine That Changed the World*. New York: Rawson Associates.

# Workflow in construction

Authors: Morten Sørensen and Marius Salthaug

Project: Part of a master thesis at University of Agder 2010.

## Abstract

Flow is a term widely used but not defined. In this paper we will try to illuminate the concept of work flow, and try to find a direct indicator for flow. The literature review shows that the Flow-concept presented by Koskela in 2000 is widely accepted, which encompasses six principles on how to achieve flow. The core of the flow-concept, meaning how to measure whether there has been an improvement to the workflow, seems to be missing from the literature. We show that a perfect flow is where value is added continuously during the construction phase, without any time waste. In a construction project, we think that flow should be focused upon according to Shingo's hierarchy, with process flow receiving the overall focus. We also suggest adding an individual level to the process and operations model. Flow is comparable with fluid mechanics, and it has characteristics, conditions and consequences like a waterfall. Conditions being the seven flows needed for an activity to be classified as sound, and consequences are noise in form of telephones and e-mails to management, interruptions, frustration and low predictability. We suggest some indicators for flow based on time waste and two indicators that are based on a baseline and the deviation from the baseline. Our conclusion is that flow is not something that can be measured directly seeing as it is such a useable metaphor, rather one should look at several indicators to get an overall idea of the work flow.

## Introduction

Flow is a term everybody knows, but no one can explain it or give an explicit definition. The main selling argument for the implementation of lean construction and the Last Planner in the Norwegian construction industry is the promise that it will increase flow in the construction phase. Last Planner System (LPS) is a system for construction planning and execution, presented in 1993 by Glenn Ballard and later in a doctoral thesis in 2000 (Ballard, 2000). Increased flow is presented as some form of improvement, yet it does not give any guidance as how to measure that given improvement, which is one of the weaknesses of lean construction. The purpose of this paper is to illuminate the concept of flow in construction, what *is* it really? We will be looking at the production phase and propose a definition for work flow and some suggestions on how to measure work flow. The research questions we asked is 1) what are prerequisites, consequences and the core of the flow-concept, and is continuous flow for the individual, the operation, and the process the best way to approach construction? 2) Is there coherence between workflow, productivity and efficiency? 3) What theories are essential when developing a method for measuring work flow?

“Improved flow” is being used as a positive feature to construction, which should mean that by improving the flow, productivity and efficiency will also be better. However, this has not been proved empirically. The first step towards any evidence is to establish flow as a more precise term; secondly it is to measure flow.

The first part of this paper is a literature review on flow in construction and manufacturing, and some indicators found in the literature, followed by a brief discussion on flow. Finally we suggest some indicators that can give an idea on whether flow has improved or not.

## Literature review

### *Flow*

Flow is a common metaphor within jazz, manufacturing, psychology, traffic and in sports. Womack & Jones (1996) uses an example from psychology to explain the importance of flow. The psychologist Mihaly Csikszentmihalyi did research on what makes people happy. The answer, he found, was when they had challenges just great enough to manage, and he called this condition flow. This can be translated to manufacturing; a worker at an assembly line will not feel that he uses all of his skills when he is assembling ten products at once, then ship them off to the next station. He will not be in flow, neither will there be flow in production. In addition to that, it generates work-in-progress (WIP), buffers and increases the lead time. Eliminating the buffers and by giving continuous feedback, the worker will feel a greater responsibility for the assembly line, the challenges will feel greater, he is more likely to be in the state of flow and both lead time and WIP will decrease.

Lean Construction is the construction business' way to try and make construction more efficient. According to Koskela (2000) construction is made up of transformation (or work),



flow and value. He presents six principles that are important when implementing the Flow-concept

- 1) Reduce the share on non-value adding activities
- 2) Reduce lead time
- 3) Reduce variability
- 4) Simplify activities
- 5) Increase flexibility
- 6) Increase transparency

The two most important principles are the reduction of non-value adding activities (waste) and reduction of variability. According to Shingo (1990), everything but the last turn with a screwdriver, the last hammer stroke, etc. is waste. So we need to distinguish between necessary waste and unnecessary waste. This can be solved by using cost-benefit analysis. According to Formoso, Isatto & Hirota (1999), unnecessary waste is when the cost of removing that waste is less than the economic savings made from eliminating the waste. Contrary, when the cost of removing a waste is greater than the cost of the waste, it is said to be necessary. The seven wastes listed are

- 1) Transportation
- 2) Inventory
- 3) Motion
- 4) Waiting
- 5) Overproduction
- 6) Overprocessing
- 7) Defects

Defects are one of the major wastes in construction. According to Polat & Ballard (2004), 16 percent of asked engineers and architects claims that defects is the greatest source of lost time, and according to Kalsaas (2010), about 5 per cent of the total construction time was rework.

In manufacturing, the most-mentioned waste effort is made towards reducing inventory. Koskela (2004) claims that there is an eighth type of waste that is very much present in construction. This is what he calls “making-do”, and is when an activity is started without all the standard inputs (in Last Planner terminology: an unsound activity). There are three reasons that making-do is present in construction. Firstly, it is because of the “efficiency syndrome”, meaning that project management tries to utilize resources as best as they can. From queuing theory (Hopp & Spearman, 2000) it is shown that a high utilization of resources creates more variability which leads to longer lead time, more WIP and less output. The second reason is “the pressure of immediate response”, which comes from the belief that starting an activity as early as possible also makes it finish early. Push-production and top-down management that do not see the difference between real progress and planned progress may also create making do. The third reason it occurs is that an activity has an unreasonable number of inputs, making the probability that some of them

will not be in place high. The consequences of making-do are an increase and more variability in the processing time.

From the creation of International Group of Lean Construction (IGLC), construction has been viewed as a flow of tasks that creates value for the end-customer, where the workflow is the logical sequence of activities (Bertelsen, Koskela, Guilherme, & Rooke, 2006). The authors are seeking a “Construction Physics”, inspired by “Factory Physics”. “Construction Physics” is an understanding of not only workflow, but also the flow of crew, information, space, materials and external conditions. Flowline is a way of planning flow through time and space. Seppänen & Kenley (2005) suggests to use flowline together with Percent Plan Complete (PPC), making a team of workers commit to work through locations, not only discrete tasks as in LPS, claiming this will improve workflow.

Being a static industry, flow is easier to handle in manufacturing. Koskela (2000) criticize Womack & Jones (1996) for not being academic enough in the way they handle flow. They do not give a precise definition of flow, other than that it is the opposite of stop-and-go production, neither does Schonberger in *World Class Manufacturing* (1986). What they do say, however, is that in order to achieve good flow, one must focus on reducing lead time and reducing variability. Hopp & Spearman (2000) describes a manufacturing system as a “goal oriented network of processes were entities flow”. Flow is “how materials and information is handled with”, in short: logistics.

When trying to measure workflow, we suggest separating the flow of the process, flow in operations and flow of the individual. Process and operations are defined by Shingo (1990), where, in construction, the process will be the progress of the project, while operations will be a task a team of workers can perform without interfering with other trades. In addition to this, we have added a third dimension, the individual. Improvement of the process flow is what has to be focused upon according to Shingo.

## **Indicators**

The purpose of Last Planner is to stabilize work flow by shielding activities from upstream variation (Ballard & Howell, 1994). Percent Plan Complete (PPC) is a measure on how many tasks a team can perform per week in comparison to how many tasks they said they would complete. According to Chitla & Abdelhamid (2003), PPC is a reflection on the flow between different trades. PPC has been criticized for not taking into account the fact that workers can manipulate it by committing to fewer tasks per week, another weakness is the fact that when a task is not completed on time, it does not matter whether it is one day or four days delayed (Kalsaas, Skaar, & Thorstensen, 2009). Labor Utilization Factor (LUF) is an indicator which measures productive time (Chitla & Abdelhamid, 2003). Chitla & Abdelhamid compared LUF to PPC and found no mathematical correlation between the two measures. Increasing LUF will be to prioritize operations before process, creating sub-optimization which leads to longer lead times and more WIP. Other performance indicators in construction are on-time delivery (Phusavat, Manaves, & Takala, 2007), where deliveries that are delayed will affect process flow (and operational flow in cases of interdependency between trades), time waste (Kalsaas, 2010) which is mostly caused by fragmentation of work or rework. The amount of time waste differs as to how it is measured. Kalsaas (2010) shows that waiting is almost not present in a time waste study when the boss method is

used. When micro-analysis is used (that being, someone uses a check list and checks whatever someone is doing every five minutes), time waste was 4 %. Health, Safety and Environment (EHS) indicators encompasses amount of injuries per unit of time, e.g. accidents per million work hours. Quality-indicators are mentioned by Chitla & Abdelhamid (2003) and Cox, Issa & Ahrens (2003) and involve rework and repair, factors that will affect the overall flow. The conclusion from the literature review is that no one has presented an indicator that can measure workflow directly. In order to create such an indicator, the concept of flow must be defined more precisely and not being what it is today; a metaphor of how workers, information and materials move through time and space.

## Discussion

The literature review shows no precise definition of the term *flow*. When working with this paper, we have asked some project managers the question “what is flow?” and “how do you measure flow?” The answers have been consistent; flow is production is streamlined and with few interruptions, that everybody has the drawings, materials, space and resources needed to perform a task. On how to measure it however, no one seems to have the answer. One compared it to how to measure physical shape. By using a heart rate monitor, you get an indication, however it is not enough to prove good shape. If you expand the test and use heart rate monitor in addition to oxygen up-take, perform lactic-acid tests, maximum muscular strength, maximum pulse, you get a better indication of physical shape. May it be the same with flow, that there is no way to determine exactly how good it is, but you have different indicators that point in the direction of how good the flow is?

In our work, we have regarded flow as a situation where value is added smoothly during the construction phase. By choosing value added instead of work done, we eliminate work that needs rework from the equation.

In the rest of this paper, it is important to distinguish between productivity and efficiency. Productivity is how well one utilize the resources at hand (Horner & Duff, 2001), while efficiency is how much is produced per unit of time<sup>1</sup>.

In the literature, there is presented some requisites for flow (in practice, the seven flows presented by Koskela (2000)). Lack of these prerequisites will give certain consequences; waiting, interruptions, request to project management, frustration and high variability. To illustrate the characteristics, conditions and consequences of workflow, one can compare it to flow in fluid mechanics (Rouse, 1946).

Table 1. Characteristics of flow.

	<b>Fluid mechanics</b>	<b>Construction</b>
<b>Characteristics</b>	Turbulent or laminar	Constant adding of value
<b>Conditions</b>	Aggregate state, viscosity, drop, slope,	7 prerequisites
<b>Consequences</b>	Friction, noise, change in	Waiting interruptions, requests,

<sup>1</sup> Formally, productivity is input/output, while efficiency is output/time.

	velocity	telephones, frustration, low predictability
--	----------	---

In manufacturing, emphasize is on optimizing process flow. It is the same with construction. In the construction of a five storey building, the carpenter need two weeks per floor, whereas the painter can do his work in half a week. The sequence of work in this (simplified) example is that the carpenter enters firstly, secondly the painter does his work, and at last the electrician finishes each floor. The painter has incentives to wait as long as possible in the process to show up and do his work, the optimum situation for him is to arrive on site when the carpenter is almost done with the fifth floor. In that way he can paint his way through five floors in about two weeks time. However, this leads to the electrician not being able to start his work until the carpenter is fully done with five floors. If the painter had painted floor one as soon as it was available, the electrician would be able to start working on floor one just under a week after the carpenter is done, and not ten weeks as it will be when the painter is optimizing his flow. Similarly, this is the case in the interaction between flow in operations and flow for the individual. Let us say we have a team of two carpenters, working up under the roof. If they were to optimize their individual workflow, meaning each of them was creating value continuously, than they would both have to leave their tools, climb down the ladder and get materials every time they needed to. As we remember, cycle time is made up of processing time, waiting, moving and inspection. With both doing value-adding work, the share of moving time would be greater than if, one carpenter would be in the ladder doing work, while the other carpenter get the studs, saw them in correct lengths and deliver them to the carpenter in the ladder. This is because the marginal product is greater than the average product (Pindyck & Rubinfeld, 2009), where two workers produce more combined than each of them would produce by themselves.

What we have learned from this brief discussion is that flow in construction should be prioritized in the same manner as in manufacturing, as presented in Figure 1.

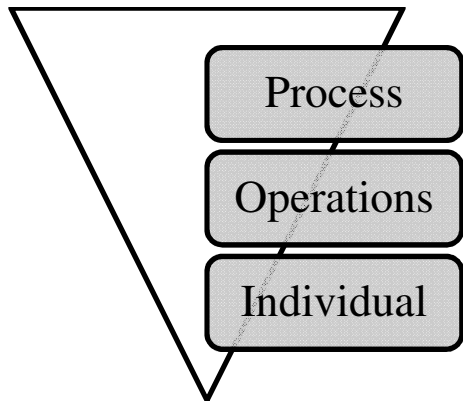


Figure 1. The process, operations and individual flow hierarchy.

Variability is presented as the greatest enemy of manufacturing (Schonberger, 1986). Reduction of variability is even more challenging in construction than manufacturing, due to that fact that construction is a prototype production (Koskela, 1999). When dealing with variability in manufacturing, it is the variability in time that is to be reduced (process time,

set up time, uptime per machine etc.), while in construction we would like to reduce variability in time per activity, but also variability in tasks. In Quick Response Manufacturing (Suri, 1998) (and in lean production) it is great focus towards reducing batch sizes. This would be favorable to construction as well, especially in projects with shortage of time and a high degree of repetitive activities. For example it can be better to install all the doors in one floor at once and by this achieve of sense of mass production, instead of installing each door at different times.

As with the question on what theories are essential when trying to measure flow, we believe that there is no direct measure. Just like the example on whether you are in good shape or not, there are several indicators that when combined, give an indication to how well the flow is. Cost-related indicators are criticized by Suri (1998) for creating longer lead times, but costs are related to resource use, and therefore, should be taken into consideration in a measure of flow. Time-based indicators are probably the most important ones in measuring flow. Construction time and on-time-completion will be useful in measuring process flow, while time waste is useful when looking at flow in operations, it shows time spent on waiting and the fragmentation of work. HSE-indicators is an indicator on interruptions and stops in production due to accidents, while quality indicators will influence other indicators, poor quality leads to longer lead time, lessened productivity, fragmented work due to rework and higher costs.

## **Suggested indicators on measuring work flow**

### ***Time waste***

The first indicator is time waste, which is due to waiting for materials, information, errors on equipment or rework. When presented as a fraction, “1/time waste”, work flow will be between 0 and 1, 1 being better. This indicator needs that time waste is defined. We have followed the definition presented in Kalsaas (2010), where time waste is generated by fragmentation of work through errors on equipment, rework, lack of drawings, lack of decisions by owner, non-available working space, lack of information from management, or work out of sequence generated by lack of drawings, poor coordination or errors made by self or others. Time waste due to poor logistical solutions will not be affected by this indicator, making it an operational indicator.

### ***Deviation from plan***

The next indicator is to measure the variance between planned time and real time consumed. Planned time is a baseline productivity measure, and it is important that it is as realistic as possible, based on experience and productivity numbers from the past. When the time difference is known, it can be further analyzed. It may be because of a change in worker productivity, a change in resources, more use of prefabricated elements than planned and perhaps other factors. But those being the same, the change in time used will be because of *better flow*, meaning that logistics have been optimized better, less variability, more series fabrication, less interruptions and less time waste. The weakness of this is the baseline, and

it may be difficult to decide whether the change in time used is due to flow or due to a poor baseline.

**Value-adding time**

This method requires a micro-study of the production. The solid line represents a situation without waste, where value is continuously added, while the dotted line is how production has been. The horizontal parts are where work is on hold due to waiting for information, material or equipment, rework, or any other activity that does not add value for the final customer. The vertical parts are value-adding work and non-value adding but necessary work, such as HSE and cleaning.

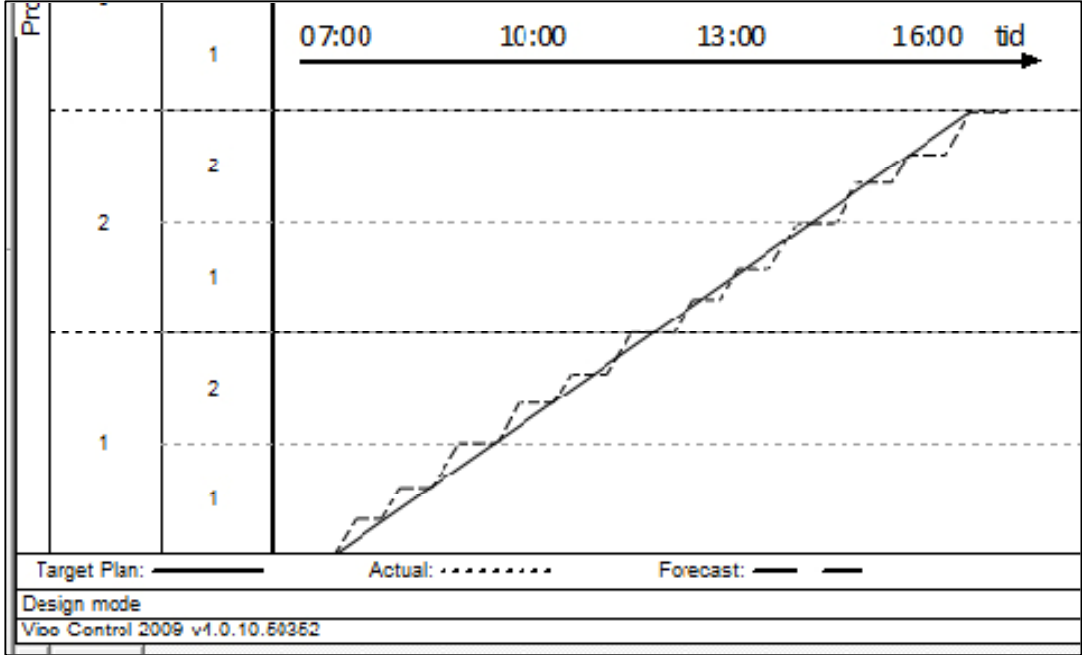


Figure 2. A micro-study of a day’s work.

How the flow has been that day can be found by looking at the correlation between the two lines, the more they correlate, the better the flow has been that day. This is a very time-consuming method, best suited for random sampling tests.

**Conclusion**

In order to empirically prove that Last Planner increases flow in construction, flow must firstly be defined. How will one describe flow, what state is desirable? Good, poor smooth, agile, steady, fast, continuously, slow or any other adjective? During the work with this paper, we have reached an understanding that there is a tacit understanding of what flow is; it is used to illustrate the progress of a construction project. The fewer stops, interruptions and poor logistical solutions, the smoother the flow will be. The more productive the crew at site is, the more agile the flow will be, the lower the variability and the steadier the flow will be. Being a term that covers productivity, interactions between trades, the physical organization of the worksite, planning etc., we have not found a direct measure for work flow. Like physical shape and health, one has to use several indicators to get an overall image of the construction phase.

## References

- Ballard, G. (2000). *The Last Planner System of Production Control*. Birmingham: The University of Birmingham.
- Ballard, G., & Howell, G. (1994). Implementing Lean Construction: Stabilizing Work Flow. *2nd Annual Conference of Lean Construction*. Santiago, Chile: International Group of Lean Construction.
- Bertelsen, S., Koskela, L., Guilherme, H., & Rooke, J. (2006). Critical Flow - Towards a Construction Flow Theory. *Proceedings IGLC-14*. Sydney: International Group of Lean Construction.
- Chitla, V. R., & Abdelhamid, T. S. (2003). Comparing Process Improvement Initiatives Based on Percent Plan Complete and Labour Utilization Factors. *11th Annual Conference of Lean Construction*. Virginia: International Group of Lean Construction.
- Chitla, V. R., & Abdelhamid, T. S. (2003). Comparing Process Improvement Initiatives on Percent Plan Complete and Labour Utilization Factors. *11th Annual Conference of Lean Construction*. Virginia: International Group of Lean Construction.
- Cox, R. F., Issa, R. R., & Ahrens, D. (2003, April/Mai). Management's Perception of Key Performance Indicators for Construction. *Journal of Construction Engineering & Management*, 142-152.
- Formoso, C. T., Isatto, E. L., & Hirota, E. H. (1999). Method for Waste Control in the Building Industry. *Proceedings IGLC-7* (ss. 325-334). Berkely: International Group of Lean Construction.
- Hopp, W. J., & Spearman, L. M. (2000). *Factory Physics* (2. utg.). New York: McGraw-Hill.
- Horner, M., & Duff, R. (2001). *More for less: A contractor's guide to improving productivity in construction*. London: CIRIA.
- Kalsaas, B. T. (2010). Work-Time Waste in Construction. *18th Annual Conference of Lean Construction*. Haifa: International Group of Lean Construction.
- Kalsaas, B. T., Skaar, J., & Thorstensen, R. T. (2009). Implementation of Last Planner in a Medium-Sized Construction Site. *Proceedings IGLC-17* (ss. 129-143). Taipei: International Group of Lean Construction.
- Koskela, L. (2000). *An exploration towards a production theory and its application to construction. A doctoral thesis*. Espoo: VTT Publications.

Koskela, L. (2004). Making Do - The Eight Category of Waste. *12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Copenhagen: International Group of Lean Construction.

Koskela, L. (1999). Management of Production in Construction: A Theoretical View. *Proceedings IGLC-7* (ss. 241-252). Berkely: International Group of Lean Construction.

Phusavat, K., Manaves, P., & Takala, J. (2007, Volume 10, nummer 2-3). Proposed model for performance measurement standards. *International Journal of Manufacturing Technology and Management* .

Pindyck, R. S., & Rubinfeld, D. L. (2009). *Microeconomics*. Upper Saddle River: Pearson Education Inc.

Polat, G., & Ballard, G. (2004). Waste in Turkish Construction: Need for Lean Construction Techniques. *12th Annual Conference of Lean Construction*. København: International Group of Lean Construction.

Rouse, H. (1946). *Elementary Mechanics of Fluid*. Dover Publications: New York.

Schonberger, R. J. (1986). *World Class Manufacturing*. New York: The Free Press.

Seppänen, O., & Kenley, R. (2005). Performance Measurement Using Location-Based Status Data. *Proceedings IGLC-13* (ss. 263-269). Sydney: IGLC.

Shingo, S. (1990). *The Shingo Production Management System. Improving Process Functions*. Cambridge: Productivity Press.

Suri, R. (1998). *Quick Response Manufacturing - A Companywide Approach to Reducing Lead Times*. New York: Productivity Press.

Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). *Lean Thinking. Banish Waste and Create Wealth In Your Corporation*. New York: Simon & Schuster.





# Skjema for teknisk arbeidstidsregistrering

FAG:   
 Dato for registrering:   
 Registrert av:   
 Sted for registrering:

Nr	Aktivitet	KI 07.00 - 08.00						KI 08.00 - 09.00						KI 09.00 - 10.00						KI 10.00 - 11.00						KI 11.00 - 12.00																																				
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60													
1.1	Direkte arbeid						x	x					x	x											x	x												x	x											x	x											
1.2	Direkte arbeid: Utbedring av tabbe									x																																																				
1.3	Direkte arbeid: Utbedring av tabbe fra annet lag/fag																																																													
1.4	Inspeksjon/kontroll																																																													
2.1	Henting av materialer til arbeidsstedet med tralle e.l																																																													
2.2	Henting av materialer innen ca 12 m					x							x																																																	
2.3	Henting av materialer lenger unna enn 12 m																																																													
3.1	Rydding for å få tilgang til arbeidsplassen																																																													
3.2	Generell rydding																			x																																										
3.3	Opprydding etter arbeidet																																																													
3.4	Bære avfall til konteiner																																																													
4.1	Rigge opp og ned					x																																																								
4.2	Flytte og hente verktøy																																																													
4.3	Bevege seg fra/til Gjerdesag og lignende																																																													
5.1	Avlesning av materialer og prosedyrer rundt dette. Lagring inkludert.																																																													
5.2	Pakke ut materialer																																																													
5.3	Venting																																																													
6.1	Møter. Studering av tegn. Komm. med bas og andre om fag	x	x	x																																																										
7.1	Kaffe og spisepause																																																													
7.2	Nødvendig personlig tid																																																													
7.3	Ikke nødvendig personlig tid																																																													

Tilleggsspørsmål til håndverkeren:

A	God flyt i arbeidet i dag? (Den som registrerer: Forsøk å finn årsak til dårlig	Til dels. Ikke mange unødvendige avbrudd, det gikk derimot mye tid på å fikse opp i feil fra tidligere lag.
B	Var arbeidsdagen spesiell?	Det var mandag, om det kan defineres som spesielt. Iflg. Måleobjektene var dagen representativ for dems hverdag.
C	Er arbeidet i dag i henhold til produksjonsplanen? - Evt. hvor mange	Ja i henhold

Noter type installeringsarbeid/håndverksarbeid. Ta evt bilde om du er i tvil. Det kan være flere type håndverksaktiviteter for samme

Til den som registrerer: Forsøk om mulig også å registrer mengde utført arbeid (kvm, stk, meter)



# Intervjuguide

---

## Intervjuprosessen

- Presentasjon av oss selv og studiet industriell økonomi og teknologiledelse
- Kort innledning om sentral teori og problemstilling til masteroppgaven
- Kort samtale om intervjuobjektets bakgrunn og nåværende funksjon
- Samtale med rettleidende spørsmål fra listen under
- Avslutning og høflig takk for samtalen

## Typiske spørsmål i løpet av intervjuet

- Hva er din oppfatning av flyt?
- Hvordan vil du definere flyt i et prosjekt?
- Hvor viktig mener du flyt i prosess i forhold til flyt i operasjoner og for enkeltpersoner er?
- Hva er typiske årsaker som hemmer flyt?
- Hva er typiske årsaker som fremmer flyt?
- Hva påvirker grad av flyt?
- Hva mener du kan indikere flyt, god eller dårlig?
- Husker du et prosjekt med spesielt god eller dårlig flyt?
  - Hva har kjennetegnet flyten i dette prosjektet?
  - Noe annet spesielt med dette prosjektet?
- Hvordan vil du i planlegging av et prosjekt legge til rette for god flyt?
- Kan entreprisform virke inn på prosjektets flyt?
- Kan du visualisere flyt i et byggeprosjekt?

## Intervjuets form

Intervjuene er samtalepreget og varer ca 45 minutter. Objektet oppmuntres til dialog og fortelling, men innhentende spørsmål stilles dersom tema sklir ut.

## Validitet

Det føres intervjuprotokoller i etterkant av de enkelte intervjuene. Intervjuobjektene får så tilsendt protokollene for gjennomgang og godkjenning.

## Anonymitet

Intervjuprotokollene behandles konfidensielt, og blir ikke levert som en del av masteroppgaven. Intervjuobjekter er referert til i oppgaven med tittel og stillingsbeskrivelse – ikke navn. Det er imidlertid rettet takk til intervjuobjektene i forordet. Det blir selvfølgelig tatt hensyn til konfidensialitet i de tilfeller hvor intervjuobjektet ytrer ønske om dette.