

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP





Forord

Denne masteroppgaven er utført ved Handelshøyskolen ved Universitetet for Miljø- og biovitenskap (UMB). Jeg har fulgt studiet Industriell Økonomi, som er et spesialtilpasset studie for tekniske- og økonomiske fag. Jeg har gjennom min mastergrad ervervet meg faglig innsikt innenfor byggeteknikk og logistikk, som videre har gitt grunnlag for interessen rundt logistikk innenfor byggeproduksjon. En spesiell interesse finnes rundt utvikling av informasjonssystemer som kan benyttes for en mer korrekt og sikker planlegging.

I denne sammenheng ønsker jeg å takke veileder Kolbjørn Christoffersen og forsker Eilif Hjelseth for kritisk og god veiledning.

Masteroppgaven er utført i samarbeid med Skanska Norge. Problemstillingene er knyttet til utfordringene hos konsernet, men også i bransjen som helhet. Takker Pia Kruse, Randi Leikanger og John Skaar for god veiledning og tålmodighet i masterperioden.

I tillegg ønsker jeg å takke min samboer og resten av min familie for positive tilbakemeldinger og motiverende ord under produksjon av denne oppgaven.

Ås, november 2011

Kristine Bruun Midtsem

Sammendrag

Byggebransjen har i de senere årene fått mye kritikk for lav innovasjonsevne og dårlig produktivitet i sine prosjekter. Bransjen er i endring, der et marked har økt i takt med verdenshandelen og konkurransen mellom entreprenørene er blitt større. Dette gjelder også for Skanska, som ved å være et internasjonalt konsern må tilpasse seg enorme markedskrefter i en verdensøkonomi som har vært preget av store utfordringer de siste årene.

Fokuset har vært å utvikle tiltak som kan forbedre problemene i Skanska knyttet til minimal produktivitet utvikling og svak logistikk. Mye av inspirasjonen er hentet fra stasjonær industri og byggebransjens svar på Lean Production; Lean Construction. Ved å fokusere på en slank produksjon er målet for Skanska å kunne gjennomføre prosjekter på den mest effektive måten, uten at hindringer eller feilproduksjon oppstår. Problemstillingen i denne oppgaven lyder som følger

«Vil RFID-teknologi i samsvar med logistikkverktøyet S-LOG forbedre logistikkflyt og produktivitet på byggeplass?»

Logistikkverktøyet S-LOG utvikles i samarbeid mellom ACT Systems og NPU Logistics, som er logistikkavdelingen i Skanska. Verktøyet er et styringsverktøy som tar for seg styring av alle de prosessene som er grunnlaget for en god logistikkflyt på Skanskas byggeplasser. I tillegg er prosjektets fremdriftsplaner og verktøy for involverende planlegging tilgjengelig gjennom et SMARTboard™, som gir deltakerne direkte innsikt i planlagt produksjon.

RFID-teknologi presenteres i oppgaven som et verktøy for innsamling av data vedrørende materialhåndtering, mottakskontroll, lagerstyring og kontroll av soneaktiviteter for å nevne noen. Teknologien gjør det mulig for prosjektledelsen på et prosjekt å samle inn all informasjon om produksjonen, og vil kunne gi grunnlag for forståelse av virkelig produksjon og hvordan produktivitet kan forbedres.

Dagens planleggingsprognoser bygger på antagelser om fremtiden og erfaringen fra tidligere prosjekt. RFID vil gi grunnlag for en database som bygger på informasjon om virkelig hendelser gjennom produksjon, og en subjektiv tolkning av produksjonsgjennomføring kan unngås. Det kan først foretas forbedring av en aktivitet der roten til problemet er kjent.



RFID i samsvar med forbedret innrapportering og styring av logistikkflyt vil gi Skanska mulighet for en økt produktivitet på sine byggeplasser. Skanska må ta høyde for svakheter i teknologi og menneskelig svikt under styrings- og planleggingsprosesser. En implementering vil uavhengig av dette ha Lean-tiltak i fokus, med en mer kostnadseffektiv produksjon.

Abstract

The construction industry has in recent years received much criticism for the low innovation and poor productivity in their projects. The industry is changing due to the development in the global trade and the competition has increased, even for local entrepreneurs. This also applies for Skanska. They are an international company and must adapt to the enormous market powers in a world economy that has been tough in the recent years.

The focus has been on developing measures to improve the problems associated with minimal productivity and poor logistics. The construction industry looks to the product industry for inspiration, and made a version of Lean Production. Lean Construction focuses on the most efficient way to produce, without obstacles or that production errors occur. The main problem in this study has been:

“Can RFID-technology in accordance with the logistics tool S-LOG improve logistics flow and productivity on site?”

S-LOG is developed in collaboration between ACT Systems and NPU Logistics, which is the logistics department at Skanska. S-LOG is a management tool that focuses on managing all of the processes that represent a good logistic flow on Skanska’s construction sites. A SMARTboard™ is placed on site, and gives the participants a direct insight into the planned production.

RFID technology can be used as an instrument for collecting data on material handling, delivery control, stock management and control over zone activities. The technology makes it possible for the project management to collect all information about the project and provide an understanding of the real production and how productivity can be increased.

The current planning projections are based on assumptions about the future and experience from previous projects. RFID-technology will provide Skanska with a database that contains information about actual incidents through the production, and a subjective interpretation of the production can be avoided. Skanska can only improve their activities if they know why a problem or an obstacle appears in the first place.



RFID in accordance with improved reporting and management of logistics flow will give Skanska the opportunity for increased productivity at their construction sites. Skanska must consider weaknesses in technology and human errors in the process of management and planning. An implementation will, regardless of errors, lead to a production where Lean Thinking is one of the main focuses, and will give Skanska a more cost-effective production.

Innholdsfortegnelse

1.0 INTRODUKSJON	1
1.1 BAKGRUNN	1
1.3 PROBLEMSTILLING OG FORSKNINGSMESSIGE SPØRSMÅL.....	2
2.0 TEORETISK FORANKRING	3
2.1 PRODUKTIVITET I BYGG- OG ANLEGGSEBRANSJEN.....	3
2.2 INSPIRASJON HENTET FRA STASJONÆR INDUSTRI	4
2.3 TEORIRAMME FOR LEAN CONSTRUCTION	6
2.3.1 <i>Lean Construction - en slank byggeprosess</i>	<i>8</i>
2.4 HELHETLIG VERDIKJEDETANKEGANG	8
2.4.1 <i>ERP – systemer.....</i>	<i>9</i>
2.4.2 <i>VMI</i>	<i>10</i>
2.5 PULL-DESIGN I BYGGEPRODUKSJON.....	11
2.6 LOGISTIKK PÅ BYGGEPLASS.....	11
2.6.1 <i>Flaskehalsstyring</i>	<i>13</i>
2.7 ORGANISERING OG PLANLEGGING.....	14
2.7.1 <i>Aktivitetsbasert og stedsbasert planlegging</i>	<i>15</i>
2.7.2 <i>The Last Planner™ System</i>	<i>24</i>
2.7.3 <i>Involverende planlegging.....</i>	<i>29</i>
2.7.4 <i>Prosjektoppfølgning.....</i>	<i>32</i>
2.7.5 <i>BIM</i>	<i>35</i>
2.8 RFID OG STREKKODER.....	37
2.8.1 <i>RFID-standarder.....</i>	<i>38</i>
2.8.2 <i>RFID-brikke.....</i>	<i>38</i>
2.8.3 <i>Electronic Product Code.....</i>	<i>41</i>
2.8.4 <i>RFID-leser.....</i>	<i>42</i>
2.8.5 <i>Sikkerhet</i>	<i>44</i>
2.8.7 UTFORDRINGER MED RFID	45
2.8.8 <i>Strekkoder.....</i>	<i>45</i>
2.8.9 <i>RFID vs. strekkoder</i>	<i>45</i>
3.0 METODE	47
3.1 VALG AV METODE.....	47
3.2 KRITIKK TIL VALG AV METODE	47
3.2.1 <i>Samarbeidsavdelinger</i>	<i>47</i>



4. DAGENS PLANLEGGINGSMETODER OG LOGISTIKKTILTAK I SKANSKA	49
4.1 SKANSKAS LOGISTIKKPLANLEGGING	49
4.2 FLASKEHALSER	50
4.3 HMS MÅ IVARETAS GJENNOM PLANLEGGING	51
4.5 GANTT- OG AKTIVITETSBASERT PLANLEGGING	51
4.6 UTVIDELSE AV TERMINALSTYRING	53
4.7 BEDRE LAGERSTYRING VED HJELP AV VMI	54
4.8 ANALYSE AV DAGENS LOGISTIKKPLANLEGGING	55
5. FREMTIDIGE PLANLEGGINGSMETODER OG LOGISTIKKVERKTØY I SKANSKA	57
5.1 HVORFOR ER LOGISTIKK SÅ VIKTIG?	57
5.2 OPPBYGGING AV S-LOG	58
5.3 STEDSBASERT FREMFOR AKTIVITETSBASERT PLANLEGGING?	59
5.4 FREMDRIFTSPLANLEGGING VED HJELP AV INVOLVERENDE PLANLEGGING OG LAST PLANNER SYSTEM™	62
5.5 PLANLEGG BEMANNING	66
5.6 TEKNISKE TEGNINGER	68
5.7 MATERIALMOTTAK, LAGER PÅ BYGGEPLASS OG MATERIALKONTROLL	68
5.8 RFID SOM DEL AV PRODUKSJONEN PÅ BYGGEPLASS	70
5.8.1 RFID i terminal	71
5.8.2 Mottak ved hjelp av RFID på byggeplass	72
5.8.3 Innlogging av arbeidssoner ved hjelp av RFID	73
5.8.4 Plassbegrensninger på byggeplass	75
5.8.5 Forbedret utleiekontroll og sporing ved hjelp av RFID	76
5.8.6 Forbedret innrapportering av informasjon	78
5.9 ANALYSE AV FREMTIDIGE LOGISTIKKLØSNINGER	79
6.0 DISKUSJON AV PROBLEMSTILLING OG FORSKNINGSMESSIGE SPØRSMÅL	81
6.1 INNOVASJON OG FORBEDRET PRODUKTIVITET VED HJELP AV INVOLVERENDE PLANLEGGING (FS1)	81
6.2 REDUKSJON AV FLASKEHALSER VED HJELP AV RFID (FS2)	83
6.3 FORUTSIGBARHET VED HJELP AV SONEPLANLEGGING OG LINE-OF-BALANCE (SKRÅSTREKPLANLEGGING) (FS3)	85
6.4 S-LOG I ANDRE DELER AV BYGG- OG ANLEGGSNÆRINGEN (FS4)	85
6.5 HOVEDPROBLEMSTILLING	86
7.0 KONKLUSJON	92
8.0 VIDERE ARBEID	94
9.0 REFERANSELISTE	95
VEDLEGG 1	99

Oversikt over figurer

Figur 1: Verdiskapning på byggeplass.....	8
Figur 2:ERP system.....	9
Figur 3: Ønsket logistikkflyt på byggeplass.....	12
Figur 4: Balansert kapasitet i forholdt til full utnyttelse av kapasitet.....	14
Figur 5: Eksempel på et CPM-diagram.....	16
Figur 6: PERT-diagram.....	17
Figur 7: Eksempel på Gantt diagram.....	18
Figur 8: Skråstrekplanlegging.....	20
Figur 9: Skråsterkplanlegging.....	21
Figur 10: Skråstrekplanlegging.....	22
Figur 11: Skråstrekplanlegging.....	22
Figur 12: Skråstrekplanlegging.....	23
Figur 13: Last Planner System™.....	25
Figur 14: De 7 forutsetningene for en "sunn" og gjennomførbar aktivitet.....	27
Figur 15: Eksempel på utkikkplan fra Skanska.....	28
Figur 16: Bakoverplanlegging på pilotprosjektet SiA for Skanska avd, Agder.....	32
Figur 17: Årsaksanalyse ved å spørre seg 5 Why's.....	33
Figur 18: Prinsippet bak "5 Why's".....	34
Figur 19: RFID-system.....	37
Figur 20: RFID-brikke.....	39
Figur 21: Lagerarbeider skanner leveranse med en håndholdt leser.....	43
Figur 22: Brikke, skriver og PDA.....	44
Figur 23: Skanskas organisasjonskart.....	48
Figur 24: Funksjonene i VMI.....	55
Figur 25: Prosjektoppbygning.....	59
Figur 26: Fremdriftsoppfølging Line – of – Balance.....	61
Figur 27: Illustrasjon for oppsett av Last Planner System™.....	63
Figur 28: Oppsettet av SMARTboard™.....	64
Figur 29: Elektronisk Backplanner.....	65
Figur 30: Trafikklys viser til gjennomføringsgrad.....	66
Figur 31: Inn- og utlogging av soner.....	74
Figur 32: Bruk av RFID som kommunikasjonsverktøy ved leveranse på byggeplass.....	76
Figur 33: Oppbygning av S-LOG.....	79
Figur 34: Faser for å oppnå kontinuerlig forbedring.....	87



Oversikt over tabeller

<i>Tabell 1: Bruksområder for EPC.....</i>	<i>Feil! Bokmerke er ikke definert.</i>
<i>Tabell 2:RFID vs. Strekkoder. Hentet fra www.atlasrfid.com.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabell 3: Forventet fordeler ved RFID (ERABuild, 2006)</i>	<i>70</i>
<i>Tabell 4: RFID og flaskehalsar</i>	<i>Feil! Bokmerke er ikke definert.</i>

Oversikt over vedlegg

Vedlegg 1: Forkortelser og begreper.

1.0 Introduksjon

1.1 Bakgrunn

Byggebransjen får kritikk for dens lave produktivitet, kvalitet og produktfunksjonalitet i forhold til andre bransjer (Ørstavik et al., 2003). Jeg fant påstanden interessant, og med logistikk som en av hovedretningene i min utdanning, ønsket jeg å undersøke om logistikkforbedringer kan være med på å forbedre bransjens innovasjon og produktivitet. Interessen rundt ny teknologi fikk meg til å se til andre bransjers implementering av RFID-teknologi, der informasjonen strekkoder gir, blir strukket enda lengre. Radio Frequency Identification, på norsk radiofrekvensidentifikasjon, vil kunne gi byggebransjen en totaloversikt over material- og informasjonsflyt gjennom sine produksjoner.

Den lave innovasjonen i næringen kan være grunnet i måten næringen er organisert (Espelien and Reve, 2007). Det er liten deling av informasjon på tvers av fag, og problemløsning skjer på ulike måter i ulike prosjekt. En prosjektgruppe blir satt sammen av forskjellige mennesker ved inngåelse av nye prosjekt. Dette betyr at en gjennomføring som har fungert svært godt med én gitt prosjektgruppe, kanskje ikke vil fungere i det hele tatt ved et annet prosjekt. Involverende planlegging er løsningen på dette, der kompetansen i konsernet utnyttes maksimalt og erfaringer kan deles mellom ulike prosjektgrupper.

Skanska har de samme utfordringene som resten av bransjen, og har allerede tatt i bruk involverende planlegging i noen av sine prosjekter. Last Planner System™ gjør det mulig til å hente ut all kompetanse som finnes i prosjektet, samtidig som systemet gir sikrere planer for bedre flyt.

Da prosessen rundt denne oppgaven ble satt i gang, var det mye usikkerhet rundt problemstilling og hvordan temaet best kunne bli besvart. Skanska har som mål å nå en Lean-tilpasning, der logistikk og gjennomføringen av prosjektene står i fokus. Jeg ønsket derfor å sammenlikne nåværende planleggingsprosess med en implementering av ny teknologi og nye verktøy. Det eksisterer lite data på området, så kontakten med Skanska har vært viktig gjennom hele prosessen. Jeg har fått delta i utviklingsprosessen av S-LOG, og har hatt tilgang til all informasjon tilgjengelig om verktøyet. Samarbeidet kan prege analyser og konklusjoner.

Verktøyet S-LOG er ennå ikke en del av Skanskas faste verktøy, og slik situasjonen er i dag er det avdelingen NPU Logistics som utvikler ideen. Det er viktig å nevne at verktøyet beskrives fra denne avdelingens perspektiv, og det kan derfor ikke settes likhetstegn mellom Skanska og S-LOG. Jeg har valgt å se på fordelene en implementering av Last Planner System™, stedsbasert planlegging og Line-of-Balance vil kunne gi Skanska. Skulle S-LOG feile, eller møte motstand må Skanska på tross av dette finne nye teorier og verktøy for å forbedre produktiviteten på sine byggeplasser. Det blir derfor presentert flere teorier som sammen med ny teknologi vil kunne gi Skanska ønskede resultater. Lean Construction, stedsplassert planlegging og The Last Planner™ System blir presentert og satt i en tenkt sammenheng med RFID og NPUs S-LOG.

Det vurderes kun om presenterte teorier vil kunne forbedre Skanskas produksjonsproduktivitet. Teorier som vil kunne gi produktivetsforbedring, men som ikke er presentert i den teoretiske forankringen, vurderes ikke i studiets analyser. Beskrivelse av Last Planner System baserer seg utelukkende på Skanskas tolkning, og aktuell RFID-teknologi er tilpasset Skanskas behov.

Forkortelser og eventuelle definisjoner befinner seg i vedlegg 1.

1.3 Problemstilling og forskningsmessige spørsmål

Hovedproblemstillingen i denne oppgaven er;

Vil RFID-teknologi i samsvar med logistikkverktøyet S-LOG forbedre logistikkflyt og produktivitet på byggeplass?

De forskningsmessige spørsmålene for oppgaven har vært

- *Hvordan bidrar involverende planlegging til innovasjon og forbedret produktivitet på Skanskas byggeplasser?*
- *Hvordan kan RFID redusere flaskehalsen på Skanskas byggeplasser?*
- *Vil soneplanlegging og Line-of-Balance gir en mer forutsigbar fremdrift på Skanskas byggeplasser?*
- *Vil S-LOG kunne overføres til andre deler av bygg- og anleggsnæringen.*

2.0 Teoretisk forankring

2.1 Produktivitet i bygg- og anleggsbransjen

Bygg- og anleggsbransjen blir anklaget for å være preget av lav produktivitet, og at bransjen har hatt lavere vekst enn andre bransjer de siste 10-årene (Veiseth et al., 2004). Flere velger å avvise påstandene ved å vise til hvor komplekst og unikt hvert enkelt prosjekt er, og at det derfor er svært vanskelig å standardisere og effektivisere prosjektets operasjoner.

Så hvorfor er det et slikt fokus på produktivitet, og hvorfor bør den oppnås? Produktivitet i byggebransjen kan defineres som følgende

“Med produktivitet, eller prestasjonsledelse, tenker vi på delområder som logistikk, produksjon, vedlikehold, prosessorientering, prestasjonsmåling, ulike forbedringsverktøy, selvevaluering, kunnskapsoverføring, kompetanse og læring i egen organisasjon, for å oppnå et høyere prestasjonsnivå og bedret konkurranseevne for virksomheten. Resultatet er økt verdiskaping og mer fornøyde kunder samt en trygging av bedriftens fremtid og arbeidsplasser.” (url24)

Å måle produktivitet i byggebransjen kan være vanskelig. En forbedring av produktiviteten gjøres ved enten å redusere innsatsfaktorer eller ved å øke verdiskapning. Det kan vises til tre spesielt viktige områder for å øke produktiviteten i produksjon (Albriksen, 1989); at arbeidsressursen økes, forbedringer innen eksisterende teknikk eller at ny og bedre teknikk tas i bruk. Ved byggeproduksjon er det imidlertid mange aktiviteter som ikke gir økt verdiskapning, men som likevel vil forbedre flyt og god gjennomføring av et prosjekt. Dette er for eksempel økt kommunikasjon og god informasjonsflyt.

Byggenæringen i Norge skiller seg ikke ut når det gjelder lav produktivitetsutvikling i forhold til resten av Europa. Bransjen bygger på lange tradisjoner, som bidrar til konservativ tankegang og frykt for å endre gammel byggeteknikk. Bransjen har imidlertid endret seg de siste årene. Fra å være hjemlig, der entreprenører fokuserer på lokalt marked, har globaliseringen også nådd byggenæringen. Markedene er blitt internasjonale og større, og konkurransen blant entreprenørene øker. Bransjen preges av lav innovasjon og utvikling av effektive prosesser, noe som er vesentlig for å oppnå konkurransefortrinn (Veiseth et al.,

2004). Forskningspåstandene nedenfor omhandler produktivitet i byggebransjen, og vurderes opp mot nye metoder (Veiseth et al., 2004):

- Mye av svakheten i næringen er logistikken, der fokuset bør ligge på material- og informasjonsflyt (Atkins, 1994).
- En montør bruker 50 % av tiden på aktiviteter som er ikke-verdiskapende (Persson and Solberg, 1994).
- Produktivitetsutvikling i byggeriet har stoppet opp (FRI, 1993).
- 80 % av materialanrop er hasteordre (FRI, 1993).
- Det kan oppnås en kostnadsreduksjon på inntil 20 %, ved å forbedre logistikk (FRI, 1993).

2.2 Inspirasjon hentet fra stasjonær industri¹

Skeptikere for implementering av ny teknologi og utvikling i byggebransjen peker på byggeprosjekters unike karakter og at det er umulig å standardisere en uensartet produksjon (Veiseth et al., 2004). Ved å dele opp total produksjon ned i deloperasjoner vil en allikevel oppleve at de samme aktivitetene gjennomføres hver gang ved oppføringen av et bygg. Fundament skal legges, stendere reises, bygget skal lukkes, kabler trekkes, osv. Det er byggets utseende, lokasjoner og elementer som skiller prosjektene fra hverandre, ikke nødvendigvis de ulike operasjonene.

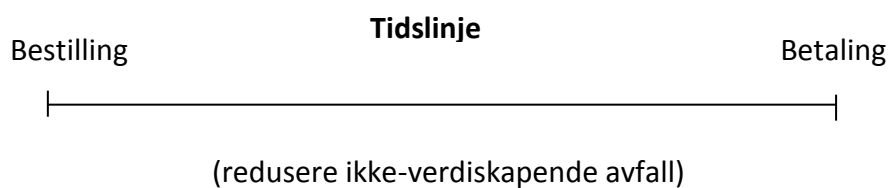
Ved å anse en byggeprosess som et sett ulike operasjoner og prosesser, er det mulig å se til den stasjonære industrien for inspirasjon. Det eksisterer flere likheter mellom byggeproduksjon og tradisjonell stasjonær industri (Veiseth et al., 2004):

- Et fysisk produkt fremstilles i begge næringene.
- Det eksisterer inngående materialstrømmer av komponenter og råvarer.
- Høy andel logistikk i sin verdiskapning.
- Begge former for produksjon har høye krav til kort produksjonstid, lave kostnader, høy kvalitet og andre faktorer.

I forhold til byggeproduksjon har stasjonær industri sett store endringer i utvikling mot moderne industriproduksjon slik vi kjenner den i dag. Den kanskje mest kjente er

¹ Stasjonær industri: Produksjon med fast lokasjon, slik som en fabrikk.

samlebåndsteorien til Henry Ford, der effektiv produksjon skapte nøyaktig den samme bilen til enhver kunde (Veiseth et al., 2004). Med bakgrunn i Fords teori presenterte Taiichi Ohno (Ohno, 1988) Toyota Production System (TPS) i 1988. Systemet var et resultat av den japanske bilindustriens manglende konkurransevne etter andre verdenskrig, og er senere vært grunnlaget for produksjonsstrategien "Just-in-time" (JIT). Hans teori er like enkel som den er genial. "Alt vi gjør, er å se på en tidslinje. Fra det øyeblikket kunden legger inn en ordre til det punktet vi mottar pengene. Tidslinjen gjør vi kortere ved å fjerne det ikke-verdiskapende avfallet"(Ohno, 1988).



Noen år senere dukket uttrykket slank produksjon opp, på engelsk kalt Lean Production. Teorien har en direkte inspirasjon fra Toyotas TPS. Tankegangen er å eliminere all form for sløsing (waste) i en produksjonsprosess og med dette redusere produksjonstid, ressursinnsats og kostnader. Sentralt i denne strategien er å skape en verdiøkning hos kundene, mens innsatsen av ressurser reduseres. I denne sammenhengen betyr dette å fjerne alle aktiviteter som ikke skaper noen økt verdi ovenfor kunden. Systemet ønsker å søke reduksjon i syv former for sløsing (Womack and Jones, 2003):

- *Transport*. Unødvendig transport mellom produksjonsposter eller transport av deler under produksjonen.
- *Lager*. Opplagring av deler som venter på å bli fullført eller ferdige produkter som er klare for salg eller transport.
- *Bevegelse*. Unødvendig forflytning av ansatte som jobber på produktene.
- *Venting*. Unødvendig ventetid for å kunne fortsette til neste produksjonssteg.
- *Over-prosessering* ved at man legger inn ekstra steg i produksjonen.
- *Overproduksjon* av unødvendige produkter.
- *Defekte* produkter, eller i defekte deler av produkter.

Mange benytter seg av en åttende type avfall. “Varer eller tjenester som ikke møter kundenes krav”. Kunden definerer en verdi, og møtes ikke disse kravene, vil produktene regnes som avfall.

Lean Thinking er avfallets motgift. Teorien består av fem prinsipper som sammen skal kunne bidra til minimal sløsing av innsatsfaktorer i produksjon.

- *Spesifisere verdien.* Det er kun den ultimate kunden som kan definere verdi på et produkt.
- *Identifisere verdistrømmen.* Verdistrømmen er betegnelsen på alle aktivitetene som må gjennomføres for at kunden skal motta et produkt. Er det manglende kommunikasjon mellom ledd og aktører i verdistrømmen, vil oppgaver kunne bli gjentatt eller utestått.
- *Flyt.* De verdiskapende stegene i produksjonen skal ha god flyt. Avdelinger som utfører en enkelt-aktivitet på store partier skal elimineres.
- *Pull.* Kundene skal bestille en vare før den produseres. På denne måten blir alle produserte enheter solgt.
- *Oppnå perfeksjon.* Det eksisterer ingen ende på målet om å oppnå redusert tid, plass, kostnader og feil. Det å “tenke lean” i en bedrift, betyr at bedriften alltid vil jobbe mot et mål om å bli *enda* bedre.

2.3 Teoriramme for Lean Construction

Så hvilken relevans har Lean Production for byggenæringen? Koskela forklarer at produksjon er blitt sett på fra forskjellige synspunkter de siste par hundre år (Koskela, 2000). Det startet med å tolke produksjon som en transformasjonslinje hvor hver aktivitet la til verdi på et produkt. Det er en enkel fremstilling, og var lenge måten produksjon ble tolket. Flere aktiviteter ga folk et inntrykk av at produktet fikk en høyere verdi. Dette bildet ble imidlertid endret etter annen verdenskrig, da fokuset ble flyttet over på produksjonsflyt og verdi- og ikke-verdiskapende aktiviteter. Eliminering av ikke-verdiskapende aktiviteter og minimal tidsbruk i produksjon ble et mål for produserende virksomheter.

Koskela hevder at det kan være vanskelig å definere hva slags prosess en byggeprosess faktisk er, og at byggenæringens utfordringer ikke kan håndteres med en teori tilpasset masseproduksjon av produkter. Han så svakheter i den allerede eksisterende Lean-teorien

og etablerte derfor et nytt paradigme for prosjektbasert produksjon (Koskela, 2000). Den nye teorien går ut på å forstå byggeprosessen fra flere ulike aspekter. Ved å koble sammen teoriene for transformasjon, flyt og verdiskapning (TFV) mener Koskela at prosessen innenfor byggenæringen kan optimaliseres.

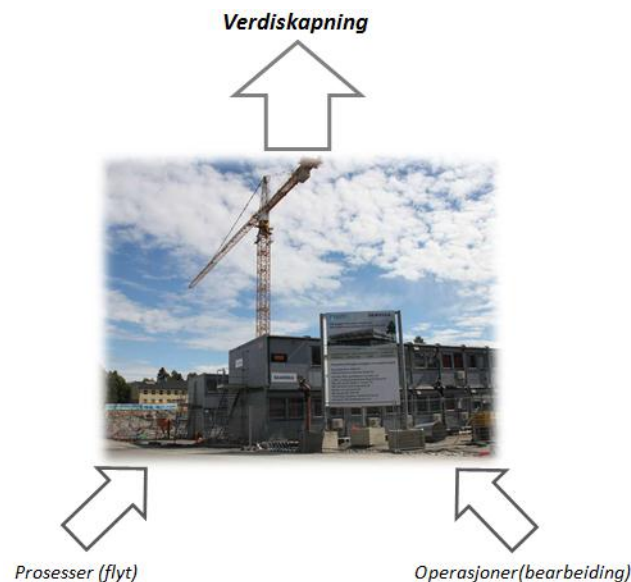
De tre ulike aspektene representerer tre ulike produksjonsvinklinger. Den *transformasjonsorienterte* delen av teorien viser til de ulike operasjonene i prosjektet, og hvordan flere enkeltstående steg individuelt legger verdi til et produkt. Målet er at ingen av oppgavene skal overlape hverandre og kostnadene som er satt av til utførelsen av oppgaven skal ikke overskrive budsjett. Effektivisering oppnås ved å minimere kostnadene for hver enkelt oppgave, og usikkerhet reduseres ved å benytte seg av “buffere” ved hver stasjon. En “buffer” kan for eksempel være et varelager, eller en oppsamling av arbeidsoppgaver som er klare for gjennomføring. Møter arbeiderne en hindring i en oppgave, kan de starte på en ny aktivitet i stedet for at produksjonen stopper opp.

Koskela sier ikke så mye om hva flyt er, men han viser til *hvordan flyt i produksjonen* kan oppnås. Utfra denne teorien skilte Koskela mellom “verdiskapende” og “ikke-verdiskapende” aktiviteter. Målet med å optimalisere prosessen er derfor å redusere de ikke-verdiskapende aktivitetene, for så å effektivisere de aktivitetene som tillegger produktet verdi. I tillegg må påliteligheten av de prosessene som verdiskapende aktiviteter er avhengig av økes. Dette kan oppnås ved å redusere gjennomløpstiden, eller redusere usikkerheter og fluktuasjoner. Å øke fleksibiliteten eller forenkle produksjonen vil også være med på å øke påliteligheten. En slik forenkling kan foretas ved å redusere antall prosesstrinn og koblinger i produksjonen (Koskela, 2000)

Den *verdskapningsorienterte* delen av TFV-teorien viser til kundens rolle i et prosjekt. En kunde som tar kontakt med en virksomhet har en formening eller et ønske om hva som skal være tilstede i et produkt, altså hva som generer verdi. Det er kundens krav som setter standarden for produksjon og som er avgjørende for hvordan organisasjonen styres til å ta valg og beslutninger. Koskela (2000) identifiserer fem elementer som kan være med på å bidra til en god interaksjon mellom kunde og virksomhet:

- sikre at alle kundekrav er fastlagt
- sikre at kundekravene er tilgjengelige i alle av produktets faser

- sikre at kundekravene stemmer overens med det ferdigstilte og leverte produktet
- sikre produksjonssystemets kapabilitet slik at produktet kan produseres etter kundens krav
- sikre at den ønskede verdi blir produsert/skapt for kunden



Figur 1: Verdiskapning på byggeplass.

2.3.1 Lean Construction - en slank byggeprosess

Målet innenfor Lean Construction (LC) er å maksimere verdi, minimere sløsing og antall feil og å få gjennomført prosjektet etter plan. LC omtales ofte som en trimmet byggeprosess. Dette er på mange måter en god betegnelse av teorien bak LC, men samtidig kan betegnelsen være misvisende. Betegnelsen kan gi en fornemmelse av at det kun handler om å gjennomføre prosjektproduksjonen så raskt som mulig. LC handler om å bruke kortest mulig tid på byggeprosessen, men samtidig skal avvik fra plan og uforutsette hindringer elimineres. Prosessen skal tilpasses slik at riktig produkt skapes av nødvendige prosesser, og det skal eksistere en kontinuerlig forbedring (Bertelsen, 2003). I følge Bertelsen oppnås optimal verdiskapning ved hjelp av flyt og optimaliserte operasjoner i produksjonen. For å kunne bidra til størst mulig økt produktivitet skal andelen «benyttet tid» reduseres, ikke øke aktivitetenes intensitet.

2.4 Helhetlig verdikjedetankegang

Verdikjeder og fokus på sluttkunden er blitt satt i høysetet innenfor flere næringer de siste årene. I stedet for å fokusere på hver enkeltbedrifts gevinst, ønskes en optimalisering av hele

verdikjeden. Den enkelte deltakeren har lett for å tenke på sin egen gevinst, og jobber med å optimalisere denne. Ulempen er at den individuelle optimalisering av egne aktiviteter fort kan føre til at neste ledd i verdikjeden ikke oppnår det samme gode resultatet. Stikkord i en felles verdikjede har vært å fokusere på felles produktutvikling, felles forbedringsarbeid, logistikk og god kommunikasjon mellom deltakerne (Veiseth et al., 2004).

I følge en studie utført av W. Atkins (1994) “optimerer virksomhetene kun sin egen ytelse, uavhengig av helheten”. Ved å implementere den helhetlige tankegangen inn i byggebransjen vil en se mer kommunikasjon og samarbeid mellom partene som deltar for å ferdigstille kundens prosjekt. Helhetlig verdikjedetankegang er ikke et verktøy i seg selv, men inviterer brukerne til å implementere begreper, teorier eller verktøy som skal bedre kommunikasjon, informasjonsflyt og gevinsten i verdikjeden (Veiseth et al., 2004).

2.4.1 ERP – systemer

ERP, Enterprise Resource Planning, er integrasjon av alle signifikante resursplanleggingsystemer i en organisasjon, og integrerer planlegging og kontroll med andre funksjoner i en virksomhet. MRP-filosofi² ligger bak utviklingen av systemet, og er et sett med kalkulasjoner innebygd i et system som hjelper organisasjoner til å utføre volum- og tidsberegning for planlegging og kontroll (Slack et al., 2007).



Figur 2:ERP system (url19).

² Material requirements planning: Er et system for produksjonsplanlegging og lagerkontroll.

ERP øker synligheten av informasjon, og skjerper styringen av enhver operasjon i en organisasjon. Beste praksis blir synlig for alle, og kan implementeres i hele virksomheten. Eksisterer det individuell særegen adferd i en del av selskapet, vil eventuelle hindringer av andre prosesser unngås. Det er likevel ikke gitt at en felles standard vil egne seg for en hel virksomhet.

En implementering av ERP er svært kostbart. Systemet må tilpasses hver enkelt virksomhet, implikasjonene systemet gir må forstås innad i virksomheten og ansatte krever grundig opplæring. Flere organisasjoner ser seg nødt til å omorganisere hele sin virksomhet for å kunne benytte seg av ERP, noe som igjen kan ha en negativ effekt på organisasjonens operasjoner. På tross av kritikken fortsetter selskap å investere i systemet. Det er svært attraktivt for ledere å ha en plattform der informasjonsflyten er god blant deltakere. I tillegg kan tapet ved å *ikke investere* i ERP vise seg å være større enn selve investeringen, når konkurrentene på markedet velger å benytte seg av ERP (Slack et al., 2007).

EDI

EDI, Electronic Data Interchange, er elektronisk overføring av data mellom ulike organisasjoner (url10). De elektroniske meldingene kan være bestilling, ordrebekreftelse, «advance shipping notice» (ASN) eller faktura (Skanska, 2011a). Blir overføringene elektronisk, reduseres den menneskelige håndteringen som igjen bidrar til reduksjon av menneskelig svikt.

2.4.2 VMI

VMI, Vendor-managed Inventory eller leverandørstyrt lager på norsk, er en forretningsmodell der kjøperen av et produkt gir en leverandør fullt ansvar for å opprettholde et avtalt inventar av materiell, vanligvis på kjøperens forbruksområde (url11). Modellen skaper gjensidig sikkerhet hos leverandør og kunde, ved at kunden reduserer risikoen ved å sitte igjen med et for stort kvantum etter produksjon, eller at materiell mangler på lager når det skal benyttes. Leverandører oppnår langsiktige avtaler, bedre innsikt i kundens forbruksmønster og kan ved hjelp av dette ha bedre forutsetninger for å anta noe om fremtidig etterspørsel (Veiseth et al., 2004).

VMI kan styres på to ulike måter. Det kan eies av kunden eller kun være i besittelse hos kunden. Begge metodene styrker kundens sikkerhet. Ved eierskap, men drift av leverandør, kan avtale inngås om tilbakekjøp av ubenyttet materiell. Lageret kan også være i besittelse hos kunden, men selges først når varene tas ut av lageret (url11).

2.5 Pull-design i byggeproduksjon

Utrykkene push-pull strategi er lenge vært kjent innenfor Lean Production og tradisjonell verdikjede. Teoriene beskriver hvordan et produkt eller informasjon forflytter seg mellom to ulike prosesser. Den eksisterende holdningen i byggebransjen er å produsere en fremdriftsplan over hva som skal utføres i løpet av prosjektet, for så å “presse” disse aktivitetene ut i livet. Planene skal følges direkte, og en konsekvens av dette er at planene ofte ikke er i overenstemmelse for hvordan situasjonen på byggeplassen virkelig er. Lean Construction (LC) har et annet syn på hva som bør drive fremdriftsplanen av et prosjekt. I stedet for at foregående aktiviteter styrer den etterfølgende, slik som i en push-produksjon, legger LC opp til at etterfølgende aktiviteter styrer den foregående (Bertelsen, 2003). Målet er at produksjonen skal foregå i et naturlig tempo, der det er de ferdigstilte aktivitetene som frigir ressurser til å trekke nye aktiviteter. Denne form for planlegging gir en naturlig flyt i produksjonen, samtidig som prosjektet holder det tempoet som avsatte ressurser tilsier. I følge Bertelsen (2003) er det ikke planen som skal bestemme produksjonshastigheten, men de forutsetningene som eksisterer på byggeplassen.

2.6 Logistikk på byggeplass

Logistikk defineres som “kunnskapen om utforming og effektiv styring av enheter som skal flyttes mellom ulike steder, der koordinering med andre enheter er viktig” (url5). Logistikk omhandler varer, informasjon, energi eller personer.

Logistikk på byggeplass har i lange tider vært nedprioritert ved prosjektering, og for mange er det fremdeles vanskelig å se at prosjektets produktivitet kan forbedres ved større fokus på logistikk. Så hvordan kan en forbedre logistikk gi en kostnadsreduksjon i byggebransjen?

I følge “Logistikkhåndboken” NPU la frem i 2011, eksisterer det noen grunnprinsipper for å oppnå en god flyt i logistikken (Skanska, 2011b):

- Bygget blir på et tidlig tidspunkt delt inn i ulike arbeidssoner/lokasjoner.
- Alt av materialer som ankommer byggeplassen skal være korrekt merket med definert sone/lokasjon.
- Materialer skal i hovedprinsippet ikke lagres over lengere tid, men leveres direkte til montasje. All lagring skaper en økning i kostnader. Målet er å unngå de unødvendige lagerkostnadene.
- Materialer skal leveres på korrekt tidspunkt i forhold til produksjon. Det er ikke ønskelig å mellomlagre materialer på prosjekt, men en forsinkelse i prosjekt grunnet materialmangel skal unngås.
- Mengden materialer i de ulike sonene skal være tilpasset reelt forbruk i aktuell sone.
- Precut-løsninger skal benyttes der dette er mulig.
- Optimalisering av pakking. Det er ønskelig å få materialene pakket etter montasjerekkefølgen.
- Optimalisering av emballasje. Materialene skal ikke bli skadet under levering, men ikke overforbruk.



Figur 3: Ønsket logistikkflyt på byggeplass (Skanska, 2011b).

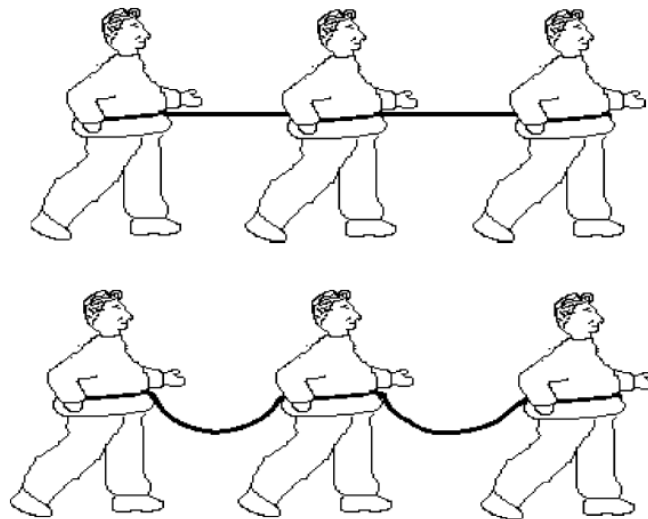
2.6.1 Flaskehalsstyring

Et produksjonssystem består av ressurser som transformerer råvarer til ferdigstilt produkt. Dette gjelder også i byggeproduksjon der produksjonsressurser er det som kreves for å ferdigstille et bygg, slik som maskiner, verktøy, materialer og utstyr. En flaskehals defineres som et punkt eller prosess i produksjonen som har mindre eller lik kapasitet som ønsket produksjon (Veiseth et al., 2004).

Flaskehalsene påvirker hele produksjonen, også ikke-flaskehals. Dette betyr at utnyttelsene i en ikke-flaskehals ikke blir bestemt ut ifra ressursenes potensiale, men ut fra en begrensning et annet sted i systemet. Planleggerne må fokusere på forbedringer i flaskehalsene. En time som går tapt i en flaskehals går også tapt for hele systemet. Det er flaskehalsene som bestemmer omsetning og beholdning i prosjektet (Veiseth et al., 2004).

Mange forsøker å øke kapasiteten i den ressursen som senker produksjonstakten, og som med dette tror at hele systemet vil bli mer effektivt. Er kapasiteten større enn flaskehalsen i neste ledd, vil en kapasitetsøkning i aktuell flaskehals være gunstig for total produksjon. Faren er hvis allerede benyttede ressurser tas fra en annen prosess i produksjonen, som skaper en ny flaskehals. Hvis flaskehalsen oppstår i en prosess som er vanskeligere å styre, vil en kapasitetsøkning i eksisterende flaskehals være mindre gunstig (Veiseth et al., 2004).

I visse situasjoner bør det erkjennes at flaskehals oppstår, og i stedet for å bruke tid og ressurser for å balansere kapasiteten i produksjonen, heller se fordelene av at andre aktiviteter eller prosesser har en buffer på tid eller kapasitet. Figur 4 viser et stramt og et slakt tau. Det stramme tauet gjenspeiler balansert kapasitet, mens gruppen som holder det løse tauet korresponderer med å balansere flyten. Det er mulig å holde en høyere hastighet med det slake enn det stramme tauet, som er svært sårbar hvis det oppstår avvik i hastighet. Skulle det oppstå forsinkelser, vil den tregeste av karene på figuren senke den samlede hastigheten. Tauet som er løst har en større buffer enn det stramme tauet, så effekten på den totale hastigheten kan unngås. Over tid vil den tregeste personen, som representerer flaskehalsen, bestemme tempoet til den totale kjeden uavhengig av hvor stramt tauet er. Forhold bør derfor legges til rette for at den tregeste personen kan holde høyest mulig tempo (Veiseth et al., 2004).



Figur 4: Balansert kapasitet i forholdt til full utnyttelse av kapasitet (Veiseth et al., 2004).

2.7 Organisering og planlegging

Livssyklusen til et prosjekt er prosessen fra den første ideen foreligger, til den aktuelle ideen er realisert. Denne syklusen kan deles inn i fem steg (Turner, 2009); fra konsept, til mulighet, til design, til utførelse og til sist ferdigstilling eller avslutning. Å bevege seg fra et steg til det neste er en fire-steps prosess, som innebærer planlegging, organisering, implementering og kontrollering.

Hvordan prosjektet planlegges og koordineres er helt avgjørende for å kunne oppnå ønsket resultat på en suksessfull måte. Utfordringen med prosjektstyring er å oppnå prosjektets mål, samtidig som det settes begrensinger grunnet krav til kvalitet, økonomi og tid. Dette gjør at organisasjonen må gjennomføre alle aktivitetene på bakgrunn av ressursene som er tilgjengelig. Arbeidskraft, materiell, penger, areal og kommunikasjon må fordeles slik at de sammen vil gi det beste resultatet. En endring i den ene faktoren vil ha en effekt på minst én av de andre faktorene. Hvis eksempelvis en snekkerne faller bort fra prosjektet grunnet sykdom, vil dette ha effekt på tid og kostnader, men ikke nødvendigvis kvalitet.

I tillegg til god organisering av ressurser, krever en god prosjektgjennomføring godt samarbeid mellom de ulike aktørene i prosjektet. De ulike partene går inn i prosjektet med ulike mål, og derfor må samspillet mellom dem organiseres. Dårlig planlegging, mangel på styring, mangel på ressurser, dårlig kommunikasjon, uklare mål og visjoner, og konflikter mellom parter er grunnet i menneskelig svikt, og er ikke av teknisk karakter.

2.7.1 Aktivitetsbasert og stedsbasert planlegging

Aktivitets- og stedsbasert planlegging er to ulike metoder for utvikling av et prosjekts fremdriftsplan. Det kan benyttes flere ulike typer planer for å fremstille byggeprosessens kompleksitet. Selv om metodene har eksistert like lenge er det den aktivitetsbaserte planleggingen som er dominerende i byggenæringen. Mye av grunnen til dette er at stedsbasert planlegging har blitt ansett som en mer grafisk metode for å gi brukerne en virtuell forståelse av byggets livssyklus. Den aktivitetsbaserte planleggingsmetoden er kommet lenger når det gjelder støtte i verktøy og programvare, som igjen har gjort metoden mer tilgjengelig for brukeren. Tryggheten i eksisterende verktøy og kunnskapen selskaper allerede sitter inne med ligger ofte til grunn for valg av metode. De siste årene har det tydelig skjedd en endring i byggebransjen og flere aktører har fått øynene opp for den stedsbaserte planleggingen.

Før planleggingsprosessen kan begynne utføres en prosjektnedbrytningsstruktur, på engelsk kalt «work breakdown strukture» (WBS). Dette vil si at prosjektet brytes ned i mindre aktiviteter og delprosjekter, slik at prosjektets totale arbeidsomfang lettere kan defineres (url35). Aktivitetene i et prosjekt har ulik tilknytning eller avhengighet i forhold til hverandre, og blir videre satt opp i en plan etter disse grensesnittene (Skaar et al., 2010). I en slik plan kan kritisk vei og avhengigheter mellom aktiviteter defineres. En visuell fremstilling vil kunne vise de ulike aktivitetene fordelt over en tidslinje, slik som for eksempel et gantt-diagram (Skaar et al., 2010).

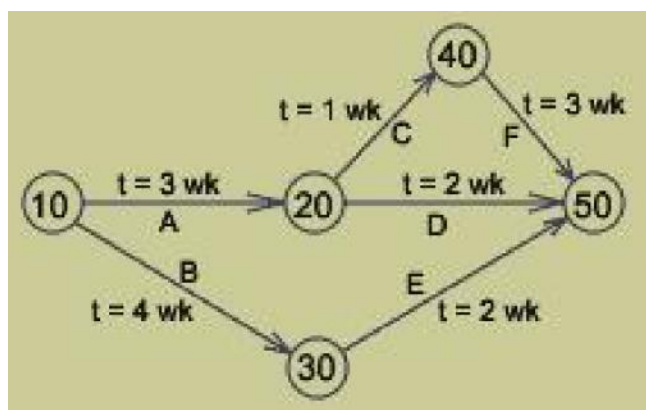
Aktivitetsbasert planlegging

Aktivitetsbasert planlegging bygger på en teori om at fremdriftsplanlegging er: “Å identifisere de aktiviteter som skal utføres, fastlegge varigheten av dem og plassere aktivitetene i tidsmessig riktig rekkefølge i forhold til hverandre” (Kolltveit et al., 2009). Byggenæringen holder et høyt fokus på usikkerhet og styring av risiko gjennom sine prosjekter. Fremdriftsplanleggingen må vise til en gjennomføring som det vil være mulig å utføre i virkeligheten. Er det for store avvik mellom forutsetningene fremdriftsplanen bygger på og virkelig gjennomføring vil dette ha store konsekvenser for prosjektet.

Nettverksdiagrammer

CPM (*critical path method*) og PERT (*Program Evaluation and Review Technique*) er to metoder innenfor nettverksplanlegging, og benyttes for å styrke sikkerheten rundt planer som baserer seg på den aktivitetsbaserte planleggingen. Et nettverksdiagram, også kalt node-nettverksdiagram, viser avhengigheter og rekkefølgen mellom aktiviteter. Nettverksplanlegging kan deles inn i tre ulike grupper. Den første gruppen består av en analyse der varigheten på aktiviteten er gitt. Gruppe 2 tar med en enkel vurdering av usikkerhet, mens planlegging i gruppe 3 betrakter forventet varighet for hver aktivitet som sannsynlighetsfordelt (Samset, 2008).

CPM benyttes der varigheten til en aktivitet er gitt, altså i nettverk plassert i gruppe 1. En viktig del av metoden er å kartlegge den “kritiske” veien i prosjektet. Det er avgjørende å finne tidligst mulig start- og sluttdato uten at aktivitetene forlenger den totale prosjektiden. Dette vil kunne gi et bilde av hvilke aktiviteter som er kritiske, og hvilke aktiviteter som har større slingringsmonn i forhold til når de må gjennomføres (Grover, 2002). Når kompleksiteten av et prosjekt øker, er det nødvendig å identifisere avhengigheter mellom de ulike aktivitetene, og det blir stadig viktigere å vise den mest effektive rekkefølgen for gjennomføring (Slack et al., 2007). Den “kritiske” vei defineres som den lengste sekvensen av avhengige aktiviteter. Veien beskrives som kritisk fordi en forsinkelse i disse aktivitetene, vil forsinke hele prosjektet. Varigheten på de ulike aktivitetene fastsettes, og videre vil summen av disse kunne gi et estimat for total prosjektvarighet. CPM baserer seg kun på estimat og erfaring. Usikkerhet rundt gjennomføringstiden av aktivitetene legges ikke til grunn (Samset, 2008).

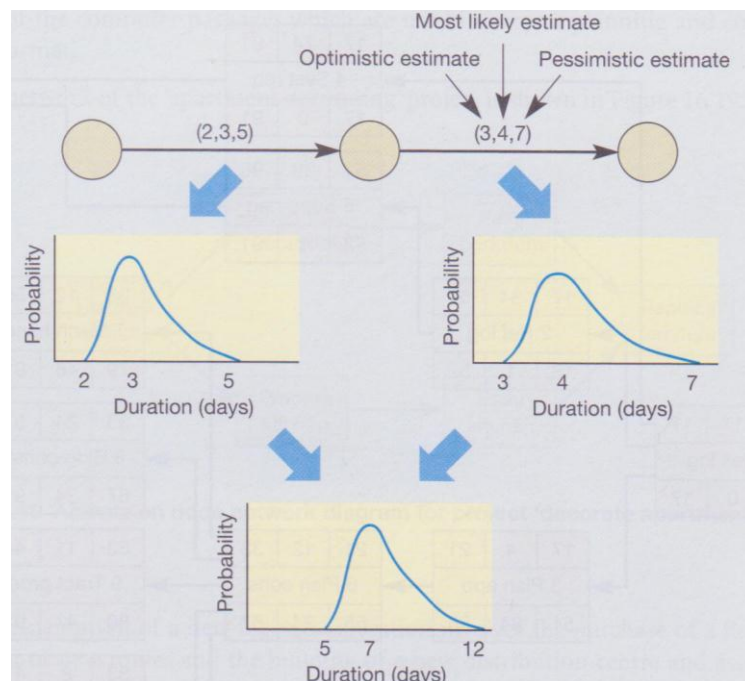


Figur 5: Eksempel på et CPM-diagram (Eikeland, 2009)

Gjennomføringstiden av en aktivitet er basert på tidligere erfaring og mengde. Både erfaringen til den planleggende part av prosjektet, men også kompetansen til utførende part. I tillegg er både størrelsen på aktiviteten og dens kompleksitet vesentlig. Det må også legges inn tidsforskyvninger når dette er påkrevd, som for eksempel herdetid til betong. Ved definering av aktivitetens gjennomføringstid er det viktig å ha en god dialog mellom de ulike arbeidsgruppene. Settes det av for liten tid til en aktivitet som ender i forsinkelser i henhold til planer, skaper dette en dominoeffekt med flere forsinkelser i videre aktiviteter.

På grunn av frykten for et stramt tidspress avsettes det ofte for mye tid til gjennomføringen av en aktivitet. En konsekvens er økte kostnader i form av arbeidskraft, leie av utstyr og alternativkostnaden ved og ikke kunne starte med nye prosjekter. Korrekt definisjon av tidsbruk per aktivitet gir den beste planleggingen. Definisjonen avhenger av størrelse på aktivitet og tilgjengelige ressurser.

PERT settes opp med samme prinsipp som CPM, men i motsetning til CPM vurderes det ved bruk av PERT den stokastiske tilnærmingen. Dette vil si at PERT tar hensyn til usikkerheten til de ulike aktivitetene. Uttrykkene «optimistisk tid», «sannsynlig tid» og «pessimistisk tid» representerer usikkerheten de ulike aktivitetenes gjennomføringstid, og legger videre til rette for beregning av sannsynligheten for å gjennomføre prosjektet til frist (Grover, 2002).

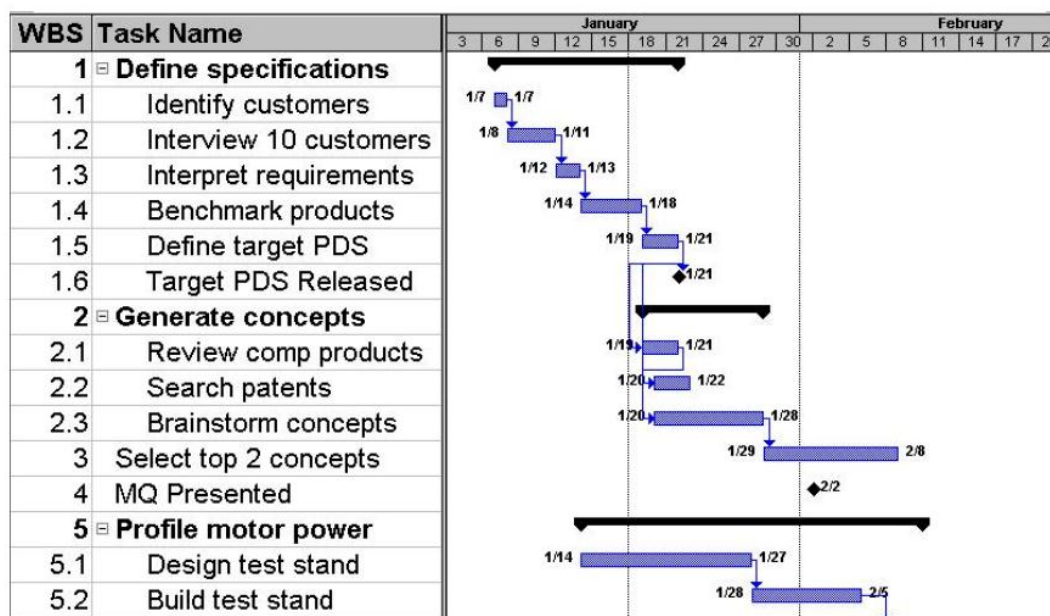


Figur 6: PERT-diagram (Slack et al., 2007).

Gantt-diagram

I byggenæringen er gantt-planlegging den tradisjonelt mest benyttede planleggingsmetodikken innenfor aktivitetsbasert planlegging. Metoden bygger på CPM, og fokuserer på “kritisk” vei. Gantt-metoden vises gjennom et diagram bygd opp av en vertikal- og horisontal akse med henholdsvis aktiviteter og tidsrom. Hver aktivitet er ført opp med en lineær linje som gir brukeren mulighet til å lese av varigheten på aktiviteten utfra kalenderen på horisontalaksen. Aktivitetene er ofte gruppert i kategorier, og hver kategori blir så behandlet som en samlet aktivitet der den lineære linjen (varigheten) dekker alle aktivitetene innenfor kategorien (Grover, 2002). Aktivitetene er vanligvis listet opp fra toppen av diagrammet og nedover i den rekkefølgen de oppstår. Hvis det er en gruppe med oppgaver, er oppgavene oppført kronologisk innenfor kategorien fra start- til sluttdato. Videre blir gruppene sortert etter startdato. I følge Grover (2002) gir gantt-diagrammet brukerne fordeler fordi

- tiden vises tydelig
- aktiviteter vises i forhold til andre
- tidsfrister og milepæler er vist
- det er mulig å få en statusrapport på prosjekt
- fremgang kan vises ved å “fylle inn i” aktivitetsbokser med kommentarer



Figur 7: Eksempel på Gantt diagram (Grover, 2002). Her er Microsoft Project benyttet som program.

Stedsbasert planlegging (Location-Based Scheduling)

Stedsbasert planlegging eller Location-Based Scheduling (LBS) dekomponerer det planlagte bygget ned i mindre soner og lokasjoner. De utførende arbeidslagene forflytter seg mellom de ulike lokasjonene etter avsluttede aktiviteter, og oppnår med dette en jevn produksjonsflyt gjennom de ulike lokasjonene i prosjektet. LBS baserer seg på at økt flyt i produksjon gir økt produktivitet. Teorien bak stedsbasert planlegging har eksistert i mange år, men som alle andre fremlagte metoder og teorier kreves det at teorien bygges opp av gode eksempler fra virkeligheten. Aktivitetsbasert planlegging har stått sterk i miljøet, og har for mange vært den eneste løsningen.

Når flere aktører arbeider på samme sted til samme tid viser det seg at produktiviteten reduseres betraktelig og at faren for at materiell og andre ressurser ikke er tilgjengelig til riktig tidspunkt øker (Seppänen, 2008). I starten av et prosjekt er det vanlig å skille mellom soner i de ulike etasjene i bygget, men bygget kan også deles inn i ulike fløyer eller leiligheter. Dette gir klare skiller for de utførende fag, og det er enkelt å følge opp arbeidet i forhold til planlagte mål. Ved innledning av avsluttende byggeperiode er det ofte ønskelig å fremlegge en mer detaljert plan. I denne perioden kan det være aktuelt å dele opp i mindre soner og lokasjoner. Små soner er å foretrekke, noe som gir mulighet for en mer detaljert inndeling av prosjektet. Det er også ønskelig at kun ett fag arbeider i en sone av gangen, slik at ikke kollisjon mellom fag oppstår (Skaar, 11.04.2011).

Nedbrytningsstrukturen gir soner i ulike størrelse, med ulikt innhold av aktiviteter og nødvendig materialer. Krav til mengde defineres utfra størrelsen på sonene, og aktivitetene som skal utføres blir bestemt i forhold til mengdelistene fra de ulike sonene. Det er derfor nødvendig å utføre nedbrytningsstrukturen før de ulike aktivitetene blir definert (Seppänen, 2009). Etter at aktivitetene er definert, blir de ulike arbeidslagene involvert ved at de knyttes direkte opp mot aktivitetene som skal gjennomføres. Arbeidet blir godt spesifisert i henhold til standarder, slik at feil og mangler unngås.

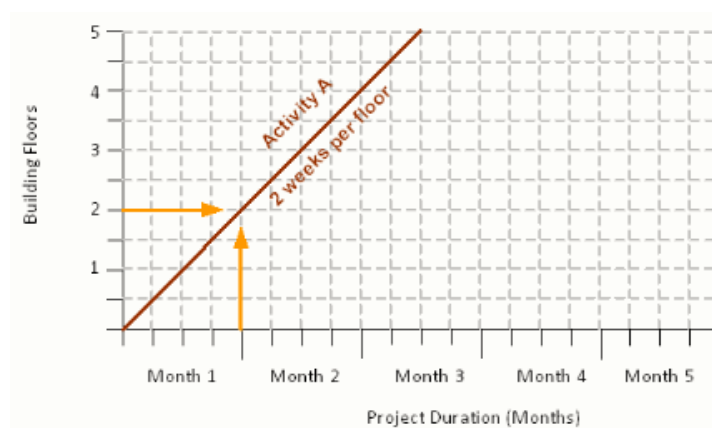
Line – of – Balance

Line-of-Balance (LoB), også kalt skråstrekkplanlegging, er et planleggingsverktøy utviklet for bruk ved stedsbasert planlegging. Verktøyet legger opp til at planlagte aktiviteter kan utføres

kontinuerlig, uten stopp eller unødvendig dødtid. Den viktigste fordel med LoB er at produksjonshastighet og varighet på hver aktivitet blir fremstilt grafisk. Sonene i LoB kan være ulike etasjer eller lokasjoner innad i etasjene.

Aktivitetene i skråstrekkplanleggingen bygger på de samme målene som i ganttplanleggingen, altså tilgjengelige ressurser. Den visuelle fremstillingen i skråstrekkdiagrammet er imidlertid svært ulik fra den som vises i gantt. Varigheten til hver aktivitet vises langs en horisontal tidsakse, mens selve streken strekker seg gjennom de ulike sonene. Dette gir en vekstrate som representerer gjennomført arbeid i forhold til benyttet tid. Diagrammet gir da en visuell fremstilling av antatt tidsbruk, og i hvilke sone arbeiderne skal befinne seg på et bestemt tidspunkt.

Målet med LoB er som nevnt å unngå kollisjoner mellom aktiviteter og unngå unødvendig dødtid i produksjonen. Ved produksjon av byggprosjekter er arbeiderne vant med mye venting mellom operasjoner, i tillegg til kollisjoner som oppstår grunnet mangel på ressurser eller utilstrekkelig planlegging. Den grafiske fremstillingen i LoB viser hvor kollisjoner oppstår ved å benyttes seg av estimert varighet på aktiviteter, og aktivitetene kan derfor plasseres slik at en kollisjon unngås. Figur 8 viser et eksempel på en aktivitet A.

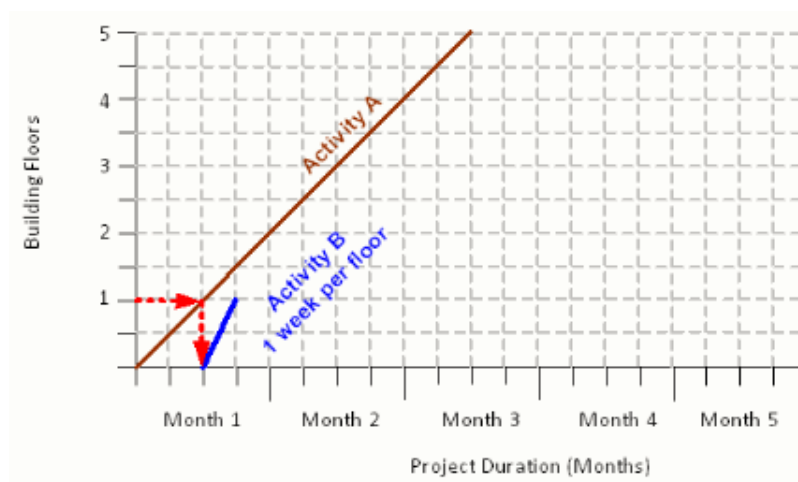


Figur 8: Aktivitet A varer i 10 uker og skal utføres i 5 etasjer. Med jevn arbeidshastighet tar det 2 uker å utføre aktiviteten per etasje. (<http://www.cpmtutor.com/c02/lineofbalance.html>)

Hver strek i diagrammet representerer én aktivitet. Maleren i et fagområde har en strek, mens elektrikerer har en annen. Målet er å kunne utføre oppgavene med størst mulig forutsigbarhet, og at aktiviteten er helt ferdigstilt før neste aktivitet skal settes i gang etter plan. Ofte er det nødvendig å ferdigstille en aktivitet før en annen begynner, altså at foregående aktiviteter er gjennomført og godkjent. I tillegg gir strekdiagrammet et visuelt

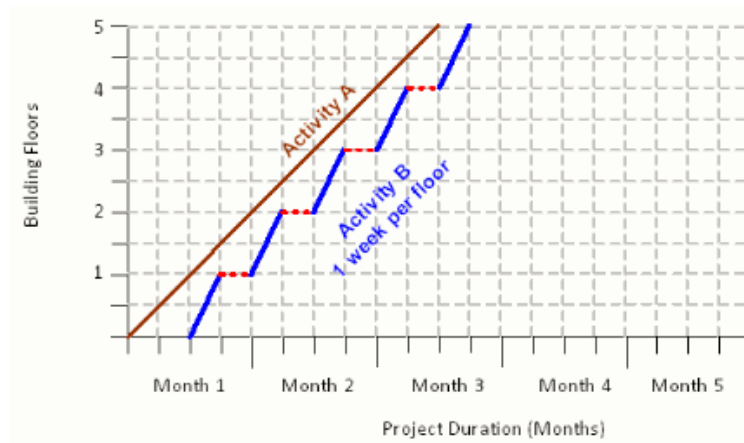
bilde av når neste aktivitet kan settes i gang, uten at den kommer i veien for foregående aktivitet (Skaar, 11.04.2011).

Det implementeres så en aktivitet B i figuren over. Denne aktiviteten har en produktivitet på én uke per etasje, og beveger seg derfor med en raskere vekstrate enn aktivitet A. Det er ønskelig å starte aktivitet B så fort som mulig, men for å unngå kollisjon mellom aktivitetene, kan ikke aktivitet B settes i gang før i slutten av uke 2 (url1). Figur 9 viser en fremstilling av dette.



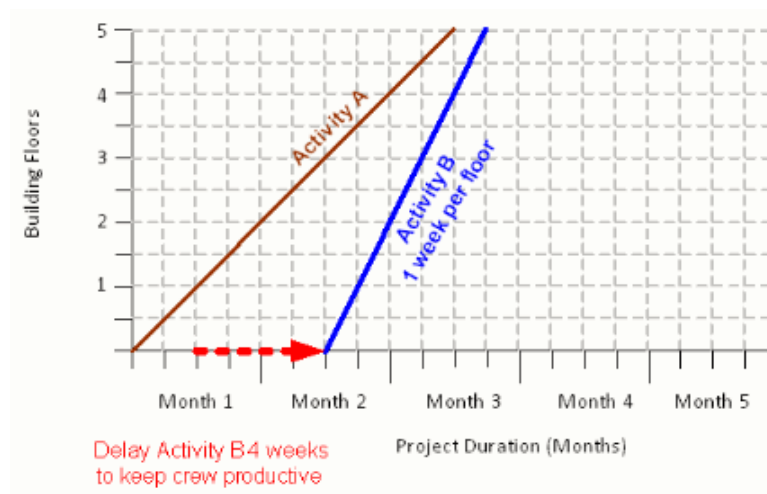
Figur 9: For å unngå kollisjon mellom aktivitetene, settes aktivitet B i gang først i slutten av uke 2. (<http://www.cpmptutor.com/c02/lineofbalance.html>)

Hver gang aktivitet B er i ferd med å kollidere med aktivitet A, stopper aktiviteten opp, og kan resultere i sløsing av tid grunnet venting. Figur 10 viser hvor mye sløsing som kan oppstå gjennom en 10 ukers periode. Sløsing oppstår ofte i form av opp- og nedrigging. De røde stiplede linjene i aktiviteten er av stor betydning, og viser den tiden de utførende må vente på at aktivitet A gjennomføres. Dette resulterer i at samlet tap grunnet venting blir hele 4 uker (url1).



Figur 10: De røde strekene i aktivitet B, viser den tiden arbeiderne må vente for å fortsette med aktiviteten. (<http://www.cpmtutor.com/c02/lineofbalance.html>)

En løsning på dette vil være å utsette oppstart av aktivitet B. Ved å utsette aktiviteten til den kan gjennomføres uten avbrett, vil ventetiden elimineres (Figur 11). Arbeidslaget som utfører aktiviteten vil med dette være produktive under hele deres opphold på byggeplassen. Små forsinkelser vil allikevel oppstå og må tas med i planleggingen.



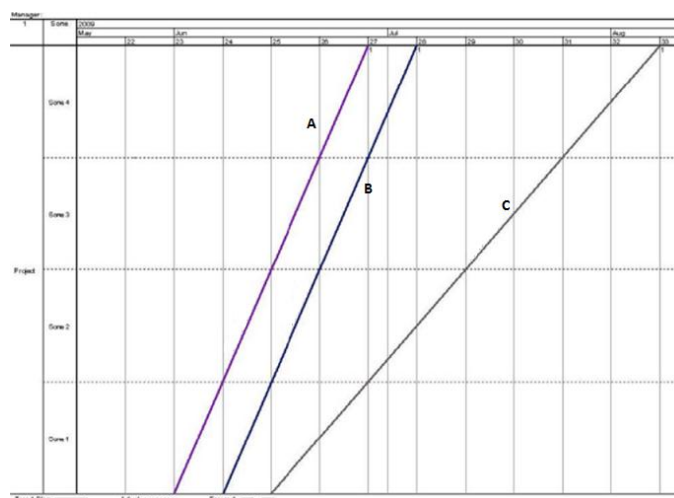
Figur 11: Uavbrutt gjennomføring av aktivitet B, ved utsettelse av oppstart. (<http://www.cpmtutor.com/c02/lineofbalance.html>)

Det vil normalt være en suboptimalisering av de ulike oppgavene på byggeplassen. Dette vil si at aktørenes tilpasning kan være optimal ut fra aktørens rammevilkår, men der den totale gevinsten for produksjonen ville vært større hvis den aktuelle aktøren tok hensyn til konsekvensene for de andre deltagende aktørene ved sin tilpasning (url26). En slik optimalisering kan utføres på de ikke-kritiske aktivitetene og i prosjekter som har god tid til planlegging.

Fokuset på flyt er helt nødvendig for å oppnå en “perfekt” byggeprosess. Det å bevege seg fra en sone til neste bør derfor skje hurtig og uten store forsinkelser. Arbeiderne befinner seg fortsatt på samme “strek” i diagrammet selv om det foretas forflytning til ny sone. Aktiviteten er først avsluttet når arbeidet er 100 % utført i alle de aktuelle sonene.

I et byggeprosjekt er svært mange aktiviteter avhengig av hverandre, og kan av den grunn ikke plasseres tilfeldig. At aktivitetene krysser hverandre vil kunne forekomme mellom uavhengige aktiviteter, og tiltak for å unngå dette må benyttes. Der krysninger skaper forstyrrelser i aktivitetsgjennomføringen må krysningene hindres eller det må foretas en vurdering av størrelsen på forsinkelsen som vil oppstå av kollisjon. Blir tapet minimalt kan det være at kollisjonen er mer gunstig enn å legge aktivitetene til andre tidspunkt i produksjonen.

Figur 9 viste at kollisjon kan unngås ved å utsette iverksettelse av aktivitet B. Det eksisterer imidlertid flere mulige løsninger for å unngå kollisjoner. Ved å tilføre flere ressurser til en aktivitet vil produktiviteten av aktiviteten kunne øke. Ved å fortsette på eksempelet med aktivitet A og B, vil aktivitet A utføres raskere hvis det jobbet flere arbeidere med aktiviteten. Får aktivitet A og B lik vekstrate, kan aktivitet B settes i gang på et tidligere tidspunkt (Figur 12). Det kan også være gunstig å redusere bemanning av aktivitet B. Dette gjelder spesielt hvis aktivitet C har samme gjennomføringsaktivitet som aktivitet A. Ved å tilpasse hastigheten på aktivitetene i forhold til hverandre, vil den totale gjennomføringstiden i de ulike sonene bli kortere, som igjen kan korte ned den totale prosjektiden.



Figur 12: Aktivitet A og B har lik produktivitet. Aktivitet B kan starte i sone 1, så raskt aktivitet A er ferdigstilt i den sonen (Eikeland et al., 2010).

Det er mulig å inngå avtale med håndverkere om å jobbe “stykkvis”. Dette er i utgangspunktet en løsning som arbeidere ofte finner lite tiltrekkende, og arbeidsform er ofte ikke definert i kontrakt mellom entreprenør og underentreprenør (UE). UE-er ønsker å gjennomføre arbeidet slik at de tjener mest mulig penger, og det er ikke alltid arbeidsformen som kreves ved LoB er den som gir UE-ene best betalt for sitt arbeid.

Tanken er at aktiviteten utføres til en eventuell kollisjon oppstår. Ved kollisjon avsluttes arbeidet, og arbeideren begynner på en “buffer” aktivitet, eller reiser fra byggeprosjektet. Arbeidet kan igjen fortsette når det er ledig plass i sonen. For en entreprenør vil arbeidsmetoden ved LoB være gunstig, ved at den oppdelte aktiviteten kan “fylle” ut rom i strekdiagrammet, og prosjektiden kan med dette reduseres betraktelig.

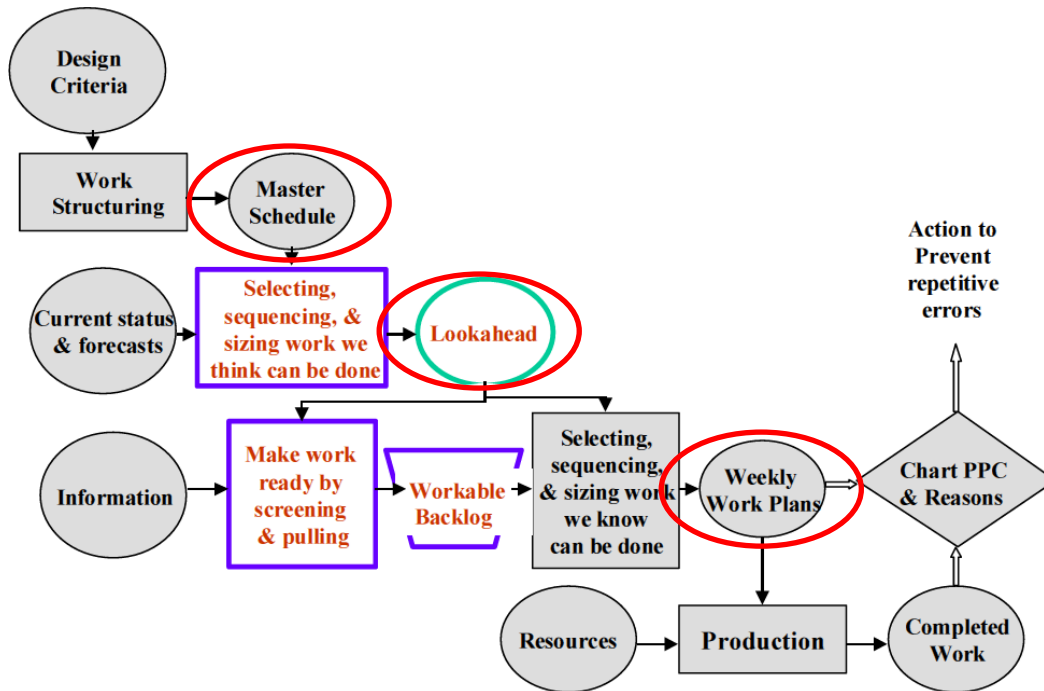
2.7.2 The Last Planner™ System

The Last Planner™ System (LPS) ble første gang introdusert av Glenn Ballard i møte med International Group for Lean i 1993. Systemet er et verktøy for planlegging og styring av byggeprosessen innenfor konstruksjon, og bygger på teorien i Lean Construction. LPS er et av de mest benyttede planverktøyene for å øke påliteligheten, og verktøyet tar hensyn til byggeprosjektene kompleksitet. En byggeprosess består av høy uforutsigbarhet, og det vil være vanskelig å legge en hovedfremdriftsplan på starten av prosjektet, for så å følge denne planen til “punkt og prikke” gjennom hele prosjektets levetid. Planene legger opp til at det er situasjonen på byggeplass, altså statusen på de foregående aktivitetene, som avgjør når de neste aktivitetene og tilknyttede ressurser skal settes i gang. LPS har som oppgave å skape en jevn og en mer forutsigbar arbeidsflyt, slik at planene blir mer pålitelige. For å sikre kvaliteten på planene produsert i LPS er det satt opp noen kritiske kvalitetsegenskaper på et oppdrag:

- Oppgaven er godt definert.
- Den riktige rekkefølgen av arbeidet er valgt.
- Riktig mengde arbeid er valgt.
- Arbeidet som er valgt er praktisk eller tilpasset, det vil si at det er mulig å utføre arbeidet.

Ut fra punktene ovenfor har Glenn Ballard bygd opp følgende planer som skal dekke ulike planleggingsbehov

- Hovedfremdriftsplanen (*kontraktbaserte mål*)
- Faseplan (*Aktiviteter som bør utføres for best resultat*)
- Periodeplan (*Aktiviteter som kan være aktuell sammensetning*)
- 3-ukersplan (*Aktiviteter som virkelig vil bli utført*)



Figur 13: Last Planner System; Kontroll av arbeidsflyt (Ballard, 1999). De røde sirlkene indikerer de ulike planene; Hovedfremdriftsplan, utkikkplan og ukeplaner.

Planer i The Last Planner™ System

Last Planner System™ består av fire ulike planer og har en hierarkisk oppbygging (Figur 13). Systemet består av en hovedfremdriftsplan, som er den overordnede, deretter en faseplan og 3 ukers plan, for så å avslutte med en produksjonsplan. De ulike planene befinner seg på de ulike gjennomføringsnivåene i forhold til hva som *må*, *bør*, *kan* og *vil* bli utført i løpet av prosjektet. Figuren ovenfor viser organiseringen av de ulike planene i LPS, altså hvordan LPS fungerer i praksis.

Hovedfremdriftsplan (Master Schedule)

Hovedfremdriftsplanen viser en total oversikt over hvilke aktiviteter som *skal* gjennomføres for å tilfredsstille kundens krav (Ballard, 2000). Planen baserer seg på kontrakten mellom byggherre og entreprenør, og har oversikt over frister for varelevering, kritiske beslutninger og de ulike milepælsplanene i prosjektet. Hovedfremdriftsplanen er statisk, noe som vil si at den ikke justeres underveis i prosjektet. Ifølge Ballard og Howell (2006) er funksjonene til planen

- Å vise i hvilken grad det er gjennomførbart å fullføre det planlagte arbeidet innen tilgjengelig tid.
- Å identifisere de ulike milepælers betydning til klienter og andre interessegrupper.
- Å utvikle og vise til strategier for god fullføring.
- Å fastsette tidspunkter for levering av hovedelementer til byggeplass.

Utkvikksplaner

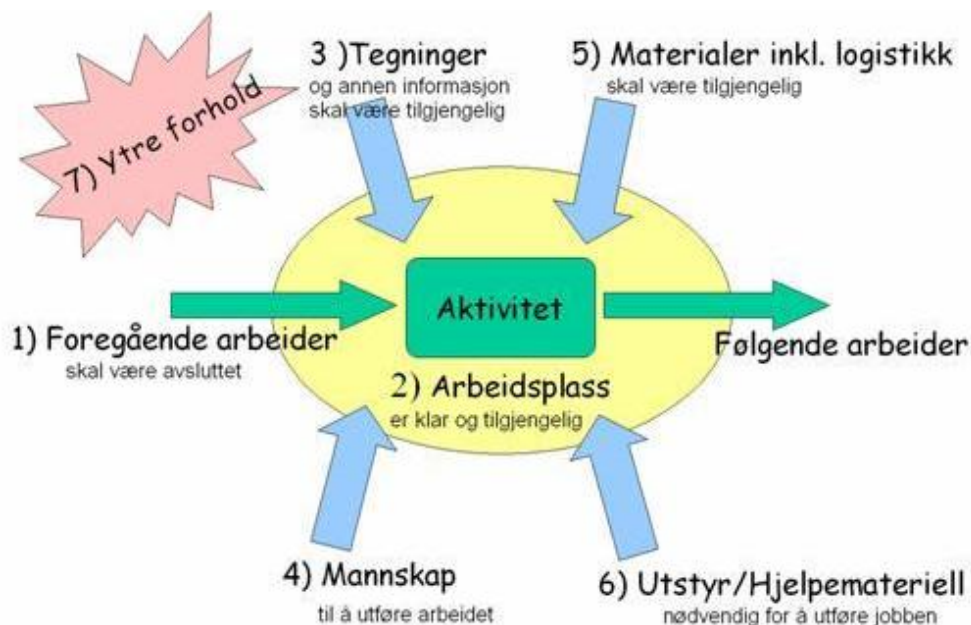
Hovedfremdriftsplanen utvikles helt i starten av et prosjekt, noe som gir høy usikkerhet til den totale detaljplanleggingen, spesielt for aktiviteter langt frem i tid. Mye av grunnen til dette er mangel på informasjon rundt leveringer, varighet på aktiviteter og tilgang på innsatsfaktorer (Ballard, 1997). Ved å benytte seg av kortsiktige planer underveis i prosjektgjennomføringen vil sikkerheten og korrekt planlegging øke. Utkvikksplanen går over en periode på 6, eventuelt 8 uker. Den eksakte tidsperioden, hvilke aktiviteter som bedriften anser som relevant og hvordan bedriften følger opp avvik som oppstår i planen, varierer mellom ulike brukere av LPS. Det kan også være variasjoner gjennom de ulike fasene av prosjektet. I LPS har utkvikksplanene flere funksjoner (Ballard, 2000):

- Tilpasse arbeidsflytens frekvens
- Tilpasse arbeidsflyt og kapasitet
- Dekomponere masterplanleggeren inn i arbeidspakker og operasjoner
- Utvikle detaljerte metoder for gjennomføring av arbeidet
- Opprettholde et etterslep av ferdig arbeid
- Oppdatere og revidere planene på høyere nivå etter behov

Å ha fokus på fremtidige aktiviteter tidlig gjør at eventuelle hindringer kan elimineres på et tidlig tidspunkt. Planene skal vise til hvordan aktivitetene i hovedfremdriftsplanen bør løses for en optimal gjennomføring.

En aktivitet må karakteriseres som “sunn” før den kan gjennomføres. For at en slik betegnelse skal kunne benyttes må syv forutsetninger være tilstede. Dette er alt fra å ha riktige materialer til riktig tid, at det er nok arbeidskraft tilgjengelig og at foregående aktiviteter er gjennomført. De syv forutsetningene baserer seg på Koskelas syv “strømmer”. Dette er forutsetninger han mener må være på plass for at en gitt oppgave skal kunne utføres optimalt (Koskela, 2000):

1. Det forutgående arbeidet må være avsluttet.
2. Det skal være nødvendig plass til å utføre arbeidet.
3. Korrekt informasjon i form av tegninger og beskrivelser må være til stedet.
4. Mannskapet må være til stedet.
5. Byggemateriale må være til stedet.
6. Nødvendig utstyr må være til stede.
7. De ytre omstendighetene/forhold må være til stede.



Figur 14: De 7 forutsetningene for en “sunn” og gjennomførbar aktivitet (<http://www.majateknobygg.no/slik-arbeider-vi/trimmet-bygging>)

I tillegg til disse syv punktene snakker Skanska om 7+1 forutsetning hvor de i tillegg tar med forutsetningen om godkjent sikkerhet før gjennomføring av aktivitet. Denne forutsetningen er imidlertid under diskusjon. Å ivareta sikkerheten i et byggeprosjekt skal alltid være en forutsetning, uavhengig av hvilke aktiviteter som gjennomføres. Utkviksplanen inneholder altså de syv forutsetningene, tverrfaglig koordinering og detaljeringen av prosjektet.

Figur 15: Eksempel på utviklingsplan fra Skanska (SXC Planning Book).

Faseplan

Faseplanen opprettes underveis i et byggeprosjekt, og har som mål å definere den ideelle byggeprosessen. Med dette menes rekkefølgen på aktiviteter som gir best flyt, og avsatt tidsforbruk på de ulike aktivitetene. Faseplanen forteller hvordan ting *bør* gjøres gjennom prosjektet.

For å oppnå en god faseplan blir underentreprenørene involvert i planleggingen. Dette fører til en plan med god tyngde i form av deres kompetanse samt en forsikring om at alle de involverte forstår og støtter planen. Fokuset ligger på flyt mellom ulike fag, og hvilke konflikter som kan oppstå mellom dem.

3-ukesplan

Denne planen beskriver hva som *skal* skje i produksjonsfasen, og det er en rullerende plan som alltid har en oversikt over hva som skjer de neste tre ukene frem i tid. Denne planen gir input i forhold til innkjøp og prosjektets logistikkplan. For å kunne følge denne planen må de nødvendige ressursene være på riktig plass til riktig tid.

Ukeplanene baserer seg også på syv forutsetninger, slik som utviklingsplanen. Planen for uke to og tre er godt detaljert, mens sikkerheten på planen for førstkommande uke er høyere, fordi

oversikten over forutsetningene for igangsettelsen av aktivitetene er bedre nærmere aktivitetstart. Ukeplanen har en tidshorison på én arbeidsuke, og baserer seg på diskusjoner tidligere i planleggingsfasen. Håndverkerne representeres individuelt eller som gruppe, og planen beskriver hvordan arbeidet skal utføres og hvordan gruppene skal samarbeide.

Når den aktuelle ukeplanen er gjennomført, vil det foretas en evaluering av arbeidet som er gjennomført. Evalueringen utføres for å kunne vurdere ukeplanens pålitelighet. Nøkkelen til en jevn arbeidsflyt i Last Planner System™ er pålitelig planlegging, som igjen vil bidra til en økt effektivitet (Bertelsen, 2003).

Innrapportering og oppfølging av plan

Planene entreprenøren utvikler krever kontinuerlig oppfølging, og det stilles krav til prosjektleder samt de ulike arbeidslagene, at planene blir fulgt. En forsinkelse eller feillevering kan gi avvik mellom planlegging og virkelig byggeprosess, noe som vil kunne unngås hvis en aktivitet defineres som sunn. En sunn aktivitet har alle forutsetningene til stede og tiltak for å unngå forsinkelser og hindringer er iverksatt.

Innrapportering skjer gjennom oppsatte fremdriftsmøter, men også gjennom inspeksjoner på byggeplassen. I tillegg er det nødvendig med god dialog mellom partene utenfor møtene, slik at informasjonen er lett tilgjengelig hvis noe uforutsett skulle inntreffe (Skaar, 11.04.2011).

2.7.3 Involverende planlegging

Involverende planlegging har som mål å effektivisere og forbedre byggeprosessen. Dette oppnås ved å involvere kunden, leverandører, egne fagarbeidere og underentreprenører i prosjektplanleggingen. Som mange andre bransjer er også byggebransjen preget av en "ovenfra-og-ned" styring. Dette fører i mange tilfeller til planer som fungerer på papiret, men som fort resulterer i avvik når de skal settes ut i livet. En involvering av alle parter vil føre til at all tilgjengelig kompetanse blir utnyttet maksimalt, som igjen fører til en sikrere planlegging på alle nivåer av produksjonen. For de utførende parter, både egne fagarbeidere og underentreprenører, fører en involverende planlegging til eierskap til plan som igjen øker motivasjon til det arbeidet som skal utføres.

Bakoverplanlegging (Backplanner)

Bakoverplanlegging er et planleggingsverktøy som bygger på konseptet rundt involverende planlegging. Planleggingsverktøyet har som mål å finne den mest produktive byggeprosessen og hvordan den tiden som er til rådighet kan disponeres på best mulig måte. Bakoverplanlegging bygger på en sug-strategi der utgangspunktet er at etterfølgende aktivitet styrer foregående. Byggherren setter en sluttdato utfra hvilke aktiviteter og oppgaver som skal utføres. Ved å benytte bakoverplanlegging fastsettes en sluttdato, for så å planlegge *hvordan* og i *hvilken rekkefølge* aktivitetene skal utføres for å nå denne datoen. Se at det er planlagt å lukke bygget en gitt dato, og at dette er en milepæl i planleggingen. Det må så kartlegges hvilke aktiviteter som må utføres *før* denne datoen for at milepælen skal kunne nås til riktig tidspunkt. Normalt kan dette føre til at det planlegges med en senere prosjektstart som øker risikoen for og ikke nå dato for ferdigstilling, men samtidig kan det føre til at prosjektering blir ferdigstilt før utførelse (Skaar, 11.04.2011).

Bakoverplanleggingen benyttes som input i prosjektets utviklingsplan, og hovedfremdriftsplanen benyttes for å markere de ulike milepælene.

Faseplanen er ikke like detaljert som ukeplanen, men gir en indikasjon på aktivitetsmengde gjennom prosjektets livssyklus. Når planleggingen beveger seg i motsatt retning oppnås en oversikt over hvordan arbeidsmengden fordeles over prosjektperioden. Det er en utfordring for byggeprosjekter at det er mye arbeid mot slutten av prosjekttiden. Når aktørene kartlegger arbeidsmengder i de ulike periodene er utfordringen å "stokke" om aktivitetene, slik at flyten i prosjektet blir bedre og prosjektet kan utføres med en høyere produktivitet. Ved å fordele aktivitetene utover hele prosjekttiden reduseres risikoen for at det gjenstår mange aktiviteter mot slutten av prosjektet, som vil kunne være med på å forlenge prosjekttiden (Skaar, 11.04.2011).

Gjennomføring

Gråpapir henges opp på en vegg, og plasseres et sted hvor alle på byggeplassen har tilgang. En naturlig plassering er for eksempel i fellesarealet i brakkene på byggeplassen. Planen tegnes opp på gråpapiret og tar for seg flere uker av gangen. Tidsintervall markeres opp, og ved å benytte seg av en mengde klistrelapper (eks. post-it®) i ulike farger, fordeles så de

ulike arbeidsoppgavene. Det er vanlig å benyttes seg av uke- og dagsmarkering. Alle deltakerne i prosjektet er representert under prosessen for bakoverplanlegging. Det er på den måten at alle forstår hvordan de ulike aktivitetene må sees i sammenheng med andre, og at arbeidslagene også må ta hensyn til hverandre. Det er først når størsteparten av alle lappene er plassert opp på veggen at det oppstår et bilde av arbeidsfordelingen gjennom prosjektperioden. Ved å gjennomgå de ulike forutsetningene for gjennomføring av arbeidsoppgaver, vil en omrokking av aktiviteter være mulig. Dette vil kunne være med på å avlaste perioder med stor arbeidsmengde og fylle opp perioder som forsinker prosjektet.

Bakoverplanlegging tvinger arbeiderne til å kartlegge alle egne aktiviteter samt forventet tidsbruk. De involverende parter sitter fysisk i samme rom, og utarbeidelsen av plan foregår i fellesskap. Innsikten i andre fags aktiviteter og arbeidsmønster øker, og det foreligger en forståelse av avhengighetsforhold mellom aktiviteter. Diskusjon av best plassering av aktiviteter forgår før lappene plasseres ut, men endringer utføres også etter at alle lappene er satt i sammenheng med hverandre. Planen gjør det også mulig å plassere bufferaktiviteter hensiktsmessig i forhold til flaskehalsar og utnyttelse av kapasitet. Den enkelte aktør vil kunne styrke samholdet med resten av arbeidsgruppen samtidig som en egenprodusert plan fører til eierskap og ønske om korrekt utførelse. Det er viktig at hvert enkelt fag selv henger opp egne lapper for å oppnå eierskap til aktivitet. Hvis en prosjektleder henger opp lappene, selv om fagarbeiderne er i samme rom, oppnås ikke samme effekt.

Figur 16 viser bakoverplanlegging i et igangsatt prosjekt. De blå linjene skiller mellom de ulike sonene, mens fargene på lappene representerer ulike fag eller entreprenører. Skråstrekplanleggingen vises tydelig gjennom de ulike fargekodene, men Line-of-Balance (LoB) er fremdeles ikke utviklet innenfor konsernet. Det er en naturlig sammenheng mellom bakoverplanlegging og LoB, og for å oppnå størst økning i produktivitet bør en samkjøring av verktøyene vurderes.



Figur 16: Bakoverplanlegging på pilotprosjektet SiA for Skanska avd, Agder.

2.7.4 Prosjektoppfølgning

I tillegg til gode planleggingsverktøy og pålitelige planer, er prosjektoppfølgningen svært vesentlig i en prosjektprosess. Dette gjelder underveis i prosjektet, men også når et prosjekt er ferdigstilt og levert. Både positive og negative erfaringer må dokumenteres, slik at erfaringene kan bringes inn i liknende prosjekter på senere tidspunkt.

Årsaksanalyse

En årsaksanalyse benyttes for å finne de underliggende årsakene til at feil, svakheter etter svikt i produksjon har oppstått. Det er ofte slik at de virkelige årsakene er skjult og hendelsene må settes i sammenheng med hverandre for å kartlegge årsakene (url27). Eksempler på årsaker som hindrer en aktivitet kan være

- Uforutsette hendelser
- For liten tid til rådighet
- Underbemanning
- Manglende utstyr eller materiale
- Eksterne forutsetninger slik som f. eks vær
- Ufullstendige tegninger
- Mangler ved foregående aktivitet, f. eks forsinkelser

Noen årsaker kan kontrolleres med god planlegging, mens andre årsaker er vanskeligere å kontrollere. Værforhold og sykdom blant de ansatte er årsaker som er svært vanskelig å forutse, og kan ikke kontrolleres. Værmeldinger er et hjelpemiddel, men variere fra dag til dag, og gir usikkerhet til plan.

En "5 Why's" analyse benyttes som verktøy for å finne de underliggende årsakene til et problem i en produksjon. Svært ofte behandles en hindring eller svikt som er svært åpenbar, der årsaken er enkel å definere. Selv om løsningen gir et raskt resultat er det en tendens til at samme problem oppstår igjen, enten i ny eller samme form som tidligere. Det bør være et mål for prosjektleder, å nappe ut problemet ved roten allerede første gang det oppstår (url28).



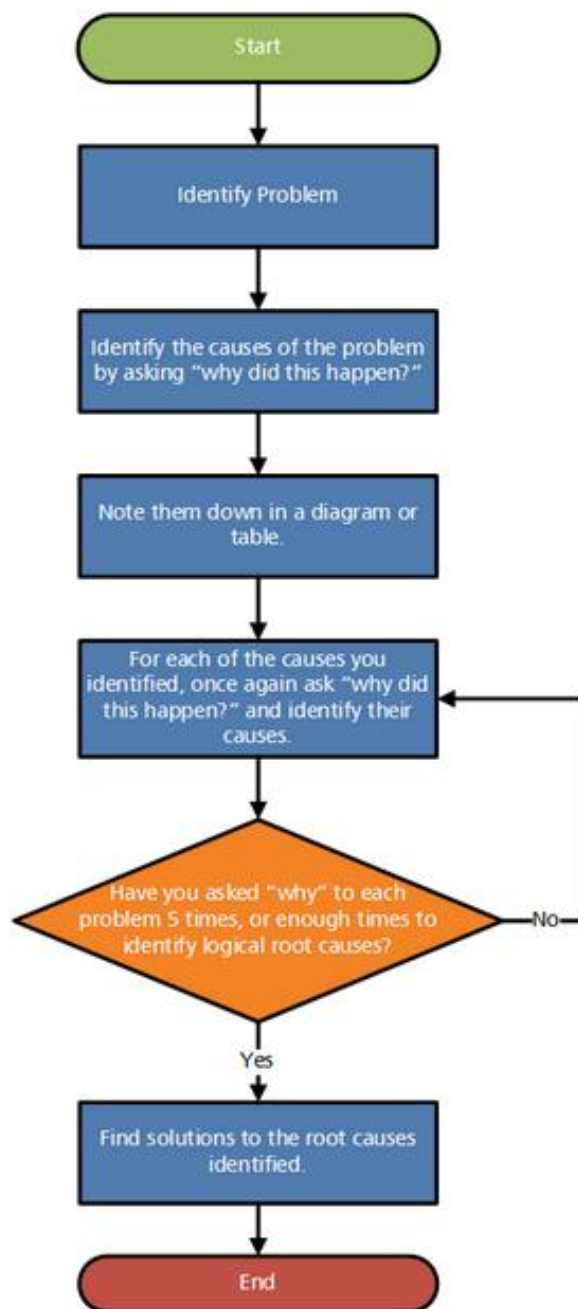
Figur 17: Årsaksanalyse ved å spørre seg 5 Why's (url28).

Konseptet bak “5 Why’s” er enkel, og består av fem deloperasjoner (url28):

1. Identifiser problemet som ønskes løst.
2. Spør: Hvordan oppstod problemet? Her skal alle tenkelige årsaker nevnes.
3. For hver enkelt årsak som blir nevnt, skal spørsmålet “hvordan oppstod dette?” spørres på ny.
4. Punkt 2 og 3 skal repeteres fem ganger, derav navnet “5 Why’s”. På dette tidspunktet skal det være mulig å definere kjernen til problemet.
5. Når kjernen til problemet er funnet må løsninger og tiltak iverksettes slik at samme problem ikke oppstår på ny. Skulle dette mot all formodning forekomme skal produksjonsteamet være bedre rustet for å takle hindringen.

Det er viktig at “5 Why’s” utføres av de som har utført den aktuelle oppgaven på et prosjekt, for det er kun disse personene som kjenner til alle omstendighetene rundt gjennomføringen. Hvis analysen utføres av personer som ikke har deltatt i prosessen ender det fort opp med spekulasjoner uten virkelig innhold (url28).

Svakheten med “5 Why’s” er at problemer og løsninger baserer seg på personlige vurderinger. Dette betyr at flere personer som analyserer samme problem kan ende opp med svært ulike analyser og ulike meninger om hva som er kjernen i problemet. Denne svakheten reduseres hvis deltakende personer utfører analysen. Deltakerne i en prosess sitter vanligvis inne med nok kompetanse til å fremlegge en analyse som bygger på virkeligheten.



Figur 18: Prinsippet bak "5 Why's" (url28).

Kontinuerlig læring – PPU

Et viktig verktøy innenfor Last Planner System™ er PPU, **p**rosent **p**lanlagt utført, og er antall aktiviteter *utført* i henhold til plan, uttrykt i prosent (Ballard, 2000). Beregningen kan utføres på både gjennomførte og igangsatte aktiviteter, for så også å analysere avviket mellom disse. Det er interessant å analysere et resultat der igangsatte aktiviteter har høyere PPU enn gjennomførte aktiviteter. I en plan kan det være at alle aktivitetene er igangsatt, men at ikke alle er fullstendig gjennomført etter plan. Det betyr at det har skjedd en hindring ved gjennomføring som har gitt forsinkelser eller stans. Høyere PPU betyr større del korrekt utført arbeid med gitte ressurser, som igjen gir høyere produktivitet og progresjon (Ballard, 2000).

PPU viser med andre ord i hvilken grad det som *skal* utføres virkelig *ble* utført. Ved lav PPU kan «5 *why's*» benyttes, altså årsaken til at aktivitetene ikke ble utført i henhold til plan.

2.7.5 BIM

Bygningsinformasjonsmodellering (BIM) benyttes for å generere og administrere bygningsinformasjon gjennom å tegne og prosjektere hele prosjektet fra start til slutt. Dette gir mulighet for å utføre en krasjtest, altså utføre hele produksjonen visuelt før den virkelige produksjonen settes i gang. De to viktigste bokstavene er I og M, som står for informasjonsmodellering. Til forskjell fra vanlig 3D-modell som inneholder all geometrisk informasjon, og som gir et bilde av det synlige i produksjonen, står "I"-en i BIM for informasjon om de ulike elementene og delene av produksjonen. Dette vil si at en enhet, som kan være alt fra en vegg til en ventil, tildeles en egenskap og dens relasjoner til andre enheter i bygget. Dette gir aktørene en unik mulighet til å holde oversikt over prosessen, men også hente ut nødvendig informasjon på tvers av fagområdene (url22).

BIM reduserer informasjonstapet mellom designer, byggherre, eier og eventuelle andre aktører. Beregninger og bestemmelser kan her samles på et sted, og det er ikke nødvendig å gjøre beregningene eller dobbeltsjekke andre avgjørelser flere ganger. Dette gjør igjen at tid spares, og aktivitetene kan utføres med høyere produktivitet (Hjelseth, 2011).

4D simuleringer kan utføres ved en ferdigstilt bygningsinformasjonsmodell. Modellen kobles opp mot tilhørende tidspunkter for en produksjon definert i en fremdriftsplan. Resultatet er

en slags "film" som viser produksjonen fra start til slutt. BIM er altså en modell av det ferdige bygget, mens 4D simuleringer er samme modell dekomponert over byggeprosessen tid (Wethelund, 2011).

Simuleringer i 4D blir utført for å bedre kommunikasjon mellom deltakere i prosjekter og for å avdekke potensielle flaskehals. 4D simuleringer benyttes for å sikre at en plan er gjennomførbar og at den er optimalisert. Det vises til 5 fundamentale fordeler ved å ta i bruk 4D simuleringer (Gao and Fischer, 2008):

- Kommunikasjon
- Kontakt med interessenter
- Logistikk
- Koordinering mellom fag
- Sammenligne fremdriftsplan med virkelig fremdrift

Planleggerne av et prosjekt kan visuelt kommunisere ut til deltakerne om den planlagte produksjonsrekkefølgen. Modellen tar hensyn til fremdriftsplanen lagt i prosjektet og er mer effektiv i forhold til endringer og oversikt over tilgjengelig kapasitet enn tradisjonell planlegging slik som gantt.

Den visuelle fremstillingen er godt egnet når et prosjekt skal presenteres for interessenter og deltakere som mangler byggeteknisk kompetanse. For en interessent er endelig resultat viktig, men også hvordan byggeprosessen påvirker trafikk, lokalmiljø og naboer.

Logistikken forbedres ved å lettere kunne plassere lager til materiell, trafikk inn og ut på plassen og plassering av større utstyr, slik som løftekranen. Dette blir viktigere desto mindre plass prosjektet har til rådighet, og store forsinkelser kan oppstå dersom internlogistikken er dårlig løst.

Tid og plass hvert fag trenger til ulike aktiviteter kan koordineres. Dette er en direkte kobling opp mot teorien bak stedsbasert planlegging og Line-of-Balance. Ved å samkjøre den visuelle fremstillingen med nevnte verktøy vil planleggerne ha mulighet til å redusere antall kollisjoner betraktelig. I tillegg er det mulig å detaljplanlegge små soner og lokasjoner. Skeptikerne til BIM mener imidlertid at det benyttes store ressurser i plan- og

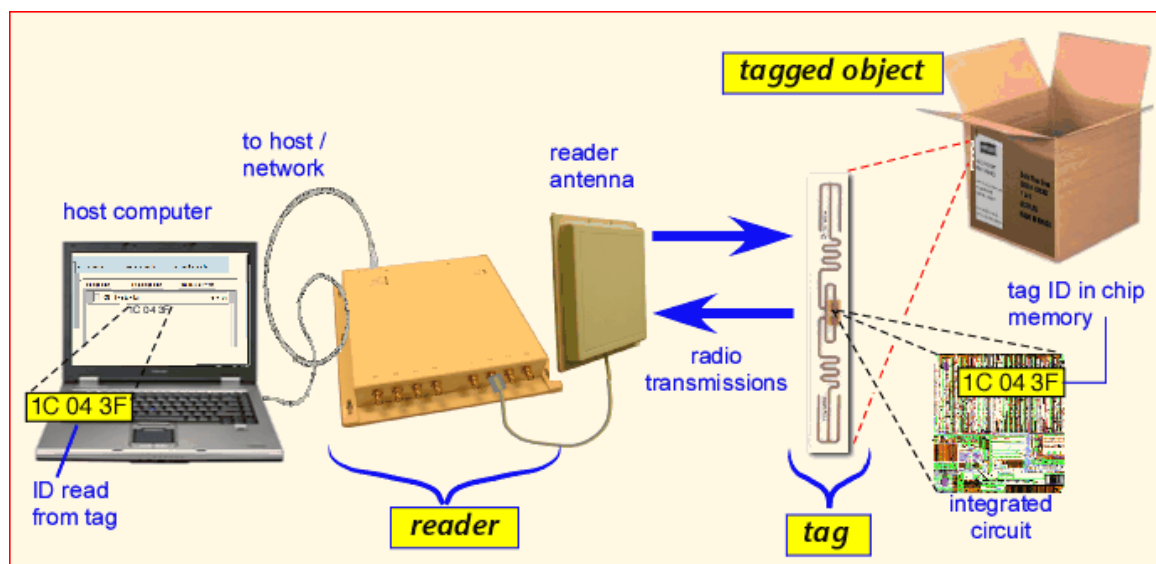
prosjekteringsfasen, og at denne utgiften ikke kompenseres for besparelsene verktøyet gir prosjektet (Skaar, 11.04.2011).

2.8 RFID og Strekkoder

RFID står for “Radio Frequency Identification” og gjør det mulig å overføre informasjon trådløst, uten fysisk kontakt eller direkte sikt mellom objekter, ved hjelp av radiosignaler. Et RFID-system består av en brikke, en leser og et IT-system (OLF, 2010b).

I følge det norske teknologirådet kan et RFID-system defineres ut fra tre kjennetegn

- *Elektronisk identifisering:*
En enkel merking av gjenstander eller personer muliggjøres gjennom elektronisk lagret data.
- *Kontaktløs dataoverføring:*
Gjenstander kan gjenkjennes gjennom trådløs avlesning av data som sendes gjennom en radiofrekvenskanal.
- *Overføring på anrop:*
Det overføres kun data om en gjenstand når en leser sender ut signaler for å sette i gang prosessen.
(Teknologirådet, 2007)



Figur 19: RFID-system. Består av en brikke, en RFID-leser, og en vertsmaskin (url15).

2.8.1 RFID-standarder

Et RFID-system sporer objekter i bevegelse. Systemet muliggjør datatransformasjon gjennom en mobil enhet eller brikke, som leses av en RFID-leser for videre å bli behandlet med hensyn til et bestemt bruksområde. Den transformerte dataen vil kunne gi systemet objektidentifikasjon, informasjon om lokasjon eller spesifikke data om det merkede objektet. Dette kan for eksempel være pris, farge, produksjonsdata eller bruksområde (Tranchard, 2010).

RFID kan benyttes over hele verdikjeden. For byggebransjen vil RFID-brikkene kunne gi sporingsinformasjon om elementer, paller, containere og transporterte enheter. I tillegg kan brikkene benyttes ved lagerkontroll, synlig intertransport og skadeforebygging.

2.8.2 RFID-brikke

Brikken, som er en grunnleggende del i RFID, består av en microchip og en antenne som gjør at den kan sende, motta og svare på radiosignaler. Navnene transponder eller RFID-tag benyttes også, men heretter vil benevnelsen være RFID-brikke eller bare brikke benyttes. Utviklingen av RFID-brikkene er stor og av den grunn er det kun valgt å presentere grunnleggende teknologi.

RFID-brikker kan gi en gjenstand eller en person en unik identifiseringskode. Identifikasjon vil si at en identitet fastslås, og det er det som skjer ved bruk av RFID. Teknologien gir brukerne mulighet til å gjenkjenne et spesielt objekt ut fra mange. Dette er avansert i forhold til en strekkode som skiller mellom ulike typer produktgrupper, men har ingen egen kode for hver eneste gjenstand. RFID-brikkene kan enten ha en fast id, eller ha et minne hvor ny informasjon kan lagres et ubestemt antall ganger. Størrelsen og utforming på brikkene varierer etter det aktuelle behovet, men alle brikker inneholder en integrert strømkrets, minne og styringslogistikk (OLF, 2010b).



Figur 20: RFID-brikke ([url14](#))

RFID-brikker kan være *aktive* eller *passive*. De aktive brikkene er utstyrt med eget batteri eller en solcelle, og er derfor fysisk større enn de passive brikkene. Fordelene er at brikkene kan romme mer informasjon og kan sende og motta informasjon på lengre avstand (Teknologirådet, 2007). Bompengebrikker er et godt eksempel på en aktiv brikke. Den aktive brikken gjør det mulig for bompengestasjonen å kjenne igjen bilen når den passere, i tillegg til at ny informasjon sendes tilbake til brikken, slik at passeringen blir registrert (Teknologirådet, 2007).

De passive brikkene benytter en annen teknologi enn de aktive. I stedet for at brikkene er utstyrt med eget batteri, får brikkene den nødvendige energien fra radiosignalene leseren sender ut. De passive brikkene fungerer ikke på like lang avstand som de aktive, og benyttes derfor ved avlesning av koder, slik som ID-kort eller biometriske pass (Teknologirådet, 2007). Den aller mest vanlige anvendelsen finnes innenfor detaljhandelen, hvor de passive RFID-brikkene blir anvendt i alle ledd av forsyningskjeden. I dette tilfellet er brikkene kun tildelt en ID-kode. Brikken er koblet opp mot en database, som henter ut tilgjengelig informasjonen ved avlesning. Den største bekymringen blant skeptikere til RFID er at de passive brikkene er svært små, og at brukerne ikke er oppmerksomme på at brikkene eksisterer på objektet (Teknologirådet, 2007).

Semipassiv brikkene bør også nevnes, og er naturlig nok en kombinasjon av de to foregående typene. Brikkene benytter seg av et batteri for å opprettholde minne, men

trenger radiobølger for å kunne sende informasjonen tilbake til leseren (OLF, 2010b). Valg av teknologi er avhengig av leseavstand og hva brikkenes funksjonalitet skal være.

I tillegg til å skille mellom energiform, skilles det mellom *promiskuøs* og *sikker* dataoverføring. De fleste brikkene er promiskuøse og kan kommunisere med hvilken som helst leser. De sikre brikkene krever imidlertid at leseren oppgir et passord eller en annen form for nøkkel før brikken overfører dataen til leseren. Felles for både de passive og aktive brikkene er at de ikke sender ut informasjon før det kommer en forespørsel fra en leser. En viktig egenskap til RFID-brikkene i forhold til sikkerhet er at brikkene kan bli utstyrt med en selvutslettende egenskap, også kalt "kill"-egenskap. Dette gjør brikken inaktiv, med eller uten mulighet for å gjenopplive brikken på ny (Teknologirådet, 2007).

En RFID-brikke kan bli utstyrt med ulike typer minne. I følge Teknologirådet (2007) skilles det mellom

- *Read-write*

Et "read-write" minne vil si at innholdet i brikken kan formateres og endres av en leser. Det er svært viktig at disse brikkene inneholder en form for sikkerhetsmekanisme, slik at uvedkomne ikke får mulighet til å endre eller benytte seg av konfidensiell data.

- *Read only*

Denne form for brikker inneholder en skrivebeskyttelse slik at brikkene kun kan leses av. Det er ikke mulig å formatere eller legge inn mer data på brikkene i etterkant. Brikkene inneholder ofte kun en ID eller et serienummer, for så videre å være koblet opp til en database. Informasjonen om objektet/gjenstanden vil da befinne seg i databasen koblet opp mot et RFID-system.

RFID-brikkene kan tillegges egenskaper som gjør informasjonssamling enkelt, slik som å hente ut data om for eksempel luftfuktighet, trykk eller bevegelse. For å få til dette blir brikkene utstyrt med en sensor for så å lagre sensorens resultater i et read-write minne som kan leses av på et senere tidspunkt (Teknologirådet, 2007).

Real-time locating system

Real-time locating system (RTLS) gjør det mulig å spore enheter, materiell eller andre objekter i korrekt sanntid. En enkel RFID-brikke plasseres til objektene, og kan spores opp ved hjelp av en leser. Leseren mottar radiosignaler fra brikkene og kan ved hjelp av signalene spore opp ønsket objekt. Denne form for informasjonsinnsamling omhandler vanligvis ikke fart, retning eller annen form for romorientering. Det som er interessant for brukerne av systemet er informasjon om objekt plassering på avlest tidspunkt (url23).

2.8.3 Electronic Product Code

EPC, Electronic Product Code, identifiserer produsent, produktkategori og individuelle elementer ved et objekt. Det er et universalt, globalt nummereringssystem og benyttes som standard for identifiseringskoder (OLF, 2010a). Uten en slik standard ville det ikke vært mulig å dele informasjon mellom ulike bedrifter (Kjærås, 2008).

EPC kan sammenlignes med dagens UPC, Universal Product Code, og EAN, European Article Number, som også er standardiserte identifiseringsnummer. Forskjellen er at UPC og EAN kun kan identifisere ulike artikler, mens EPC systemet tar det enda lenger, og merker hver enkelt vare på individnivå. Nummersystemet som brukes i EPC baserer seg på nummersystemet som benyttes i vanlige strekkoder. Dette gjør det mulig for bedrifter å overføre eksisterende nummersystem direkte inn i EPC og fører til en enkel strukturendring. Tabellen nedenfor viser de ulike EPC kodene og bruksområder (Kjærås, 2008).

Tabell 1: Bruksområder for EPC

EPC	Bruksområder	Eksempel
<i>SGTIN</i>	Videreutviklet av GTIN, og benyttes til unik identifikasjon av objekter på individnivå	Alle mulige produkter
<i>SGLN</i>	Videreutviklet fra GLN, og benyttes til identifisering av juridiske foretak, handelspartnere, lokasjoner mm.	Fabrikk, varehus, hyller, soner
<i>GRAI</i>	Unik identifisering av gjenbrukbare ressurser	Paller, lastebiler, container, kasser ol.
<i>GIAI</i>	Unik identifisering av fastmonterte ressurser	Produksjonsmaskineri
<i>SSCC</i>	Unik identifisering av logistikkenheter	Varer på pall

SSCC

Det er et poeng å nevne SSCC nærmere, da dette er den koden som betegnes som “Kollidentifikatoren” (url16). Nummeret er unikt på verdensbasis, og gir opplysning om land, avsender og eventuelt transportør samt et serienummer. SSCC kan også benyttes i elektronisk melding som for eksempel ASN, Advanced Shipping Notice. Varene som sendes på et kolli skannes, for så å sende en ASN elektronisk til kunden. På denne måten vet kunden hvilke varer som ankommer på den aktuelle leveransen, og kan registrere mottak og eventuelle avvik ved å skanne SSCC koden når varene ankommer terminal eller byggeplass (Kjærås, 2008).

2.8.4 RFID-leser

For at RFID-brikken og leseren skal kunne kommunisere må de bygge på lik standard og kommunikasjonsprotokoll. I dag benyttes ulike typer lesere slik som faste, portable, mobile og håndholdte (OLF, 2010b). Lesere som skal kommunisere med passive brikker trenger større effekt enn ved avlesning av de aktive brikkene. Signalene leseren sender skal aktivere brikken for så å ta med koden tilbake til systemet. Leserens ytelsesgrad er også avhengig av hvilke materialer brikkene og leseren er tilknyttet. Miljøbetingelser slik som temperatur og luftfuktighet påvirker kommunikasjonsevnen. Designet på kommunikasjonssystemet må bygge på et design og en materialbruk som kan overleve i tøffe omgivelser, hvis dette skulle være nødvendig (OLF, 2010b).

En RFID-leser er vanligvis slått på til ethvert tidspunkt. De sender ut radiosignaler kontinuerlig, og venter på RFID-brikker som kommer innenfor leserens avlesningsområde. Det er mulig å programmere leseren slik at den kun sender ut radiosignaler når andre ytre hendelser faktisk inntreffer (Teknologirådet, 2007).

RFID-teknologien kan benyttes som et hjelpemiddel for å øke produktiviteten på en byggeplass. Ved avlesning i et bygg og rundt på byggeplassen vil portable lesere være best egnet. Portable lesere som i tillegg befinner seg i et tøft miljø, slik som en byggeplass antas å være, vil trenge et spesialtilpasset system (OLF, 2010b). Byggeprosjekter varer ofte i flere år av gangen. Det forventes at RFID-systemet skal fungerer hele perioden uten høye vedlikeholdskostnader. Det er en fordel om komponentene også kan benyttes i senere prosjekter, slik at investeringskostnaden ikke blir like høy for hvert prosjekt.

PDA

I likhet med brikkene kommer lesere i ulike størrelser. En leser kan være alt fra en stasjonær datamaskin til en leser på størrelse til et frimerke, som videre kan bygges inn i andre objekter, slik som en mobiltelefon (Teknologirådet, 2007).

En PDA (Personlig Digital Assistent) er en mobil enhet med ulike funksjoner utviklet for behandling og formatering av informasjon. I dag har de fleste PDA-er mulighet for internettilkobling, og i forhold til RFID-teknologien er det mulig å koble til en RFID-leser i enheten. En PDA er utstyrt med skjerm, slik at en nettleser kan benyttes, og nyere modeller har mulighet for lyd (url7).



Figur 21: Lagerarbeider skanner leveranse med en håndholdt leser (url36).

På en byggeplass kan en PDA benyttes for kommunikasjon mellom arbeidslag og for mottak og håndtering av materialer. Det skal også være mulig å benytte PDA-en som en del av et innloggingssystem. Det vil være forstyrrende for arbeiderne å bære en PDA rundt mens de utfører aktiviteter, så valg av størrelse og funksjonalitet er viktig. Det er imidlertid viktig å velge en modell som tåler røff håndtering, samt støv, smuss og fuktighet som oppstår når aktiviteter utføres utendørs.



Figur 22: Brikke, skriver og PDA (Url6)

2.8.5 Sikkerhet

Når RFID-teknologien blir implementert er det viktig å stille seg noen sikkerhetsspørsmål. Dette gjelder både for ny teknologi, men også for samspillet mellom ny og eksisterende teknologi i virksomheten. Det er nødvendig at operatøren markerer de sikkerhetsutfordringer og løsninger relatert til RFID, Real-time Location System og nettverket for trådløse sensorer. Det bør samtidig gjøres en vurdering av sikkerhetsproblematikk rundt eksisterende teknologier og applikasjoner (OLF, 2010a).

Sikkerheten i forhold til informasjonsdelinger øker hvis brikken kun inneholder en identifikasjon fremfor informasjon som omhandler et objekt. Det eksisterer allikevel sikkerhetsrisiko uansett bruk grunnet sporing av brikkene, som kan utnyttes av konkurrenter eller grupper som er interessert i å skade eieren/produsenten av produktene. Utvikling av RFID-teknologien er en omfattende prosess som involverer interessenter, konsensusbygging, økonomiske begrensninger og felles samarbeid for optimale sikkerhetssystemer. Design og implementering av sikkerhetssystem avhenger av behov og RFID-systemets kompleksitet (OLF, 2010a).

2.8.7 utfordringer med RFID

Det at RFID-brikker kan identifisere en gjenstand, gjør det mulig å identifisere personen som bærer gjenstanden. Det er også mulig å identifisere individer direkte ved hjelp av implantering av brikkene (Teknologirådet, 2007). I 2007 ble det avdekket at Statens Veivesen holdt skjult at de siste 100 bomstasjonspasseringene ble lagret på bilenes bombrikker (url29, 2007). Denne form for loggføring avslører bilens bevegelsesmønster, og kan hentes ut ved å lese av brikkene (Teknologirådet, 2007)

Angrep på RFID-systemer forekommer og har i følge Teknologirådet (2007) ett av følgende formål:

- *Spionering*: Avlytting eller uautorisert tilgang til administrasjonssystemer.
- *Bedrageri*: Lurer brukerne ved å implementere uekte informasjon i RFID-systemet.
- *Blokking*: Kan forekomme ved hjelp av tjenestenekt, altså at tilgjengeligheten av brikkens funksjoner reduseres.
- Redusere brikkens funksjon eller ødelegging av RFID-brikken.

2.8.8 strekkoder

En strekkode består av ulike linjer som hver representerer tall og bokstaver. Ved avlesning dekodes linjene for videre å bli registrert og behandlet i et datasystem. En automatisering ved hjelp av strekkoder reduserer faren for menneskelig svikt ved dataregistrering og varehåndtering, standardisering av produktmerking og en hindrer feiltolkning av håndskrift (url8).

2.8.9 RFID vs. strekkoder

Men når er det naturlig å benytte seg av RFID brikker fremfor vanlige strekkoder og omvendt? I mange tilfeller gir RFID fordeler fremfor ordinære strekkoder. Den største forskjellen er at RFID-brikkene kan leses av uten direkte kontakt, altså trådløs avlesning. Leseren må være innenfor brikkens rekkevidde, men det er ikke nødvendig å se koden fysisk. Skulle strekkoden være ødelagt eller tilsølt på noen måte er det ikke mulig å indentifisere elementet. I tillegg vil en strekkode kun gi informasjon om produsent og produkt, ikke om det unike objektet (url9).

Tabell 2:RFID vs. Strekkoder. Hentet fra www.atlasrfid.com

	RFID	Strekkode
<i>Lesehastighet</i>	Høy gjennomstrømming. Flere enn 100 brikken kan leses av på samme tid	Veldig lav gjennomstrømming. Kun én kode kan avleses, manuelt, på samme tid.
<i>Siktlinje</i>	Ikke nødvendig, så lenge elementet og leseren er innen rekkevidde.	Absolutt nødvendig. Leseren må være i direkte kontakt med elementet, og må leses av på korrekt måte.
<i>Menneskelig kapital</i>	Praktisk talt ingen. Når systemet er oppe og går, er systemet fullstendig automatisert.	Svært nødvendig. Ansatte må utføre manuell skanning.
<i>Holdbarhet</i>	Høy. Koden er godt beskyttet, og kan være festet inne i elementet. Kan avleses i tøffe omgivelser.	Lav. Blir lett ødelagt eller borte. Kan ikke avleses hvis den er tilsmusset av støy eller skitt.
<i>Sikkerhet</i>	Høy. Vanskelig å kopiere. Data kan være kryptert, passordbeskyttet eller inkludere en "kill-funksjon" som å fjerne data permanent.	Lav. Mye enklere å kopiere eller forfalske.
<i>Hendelsesutløsende</i>	Kan benyttes til å sette i gang noen hendelser, slik som alarm, døråpner, etc.	Kan ikke benyttes som hendelsesutløser.

3.0 Metode

3.1 Valg av metode

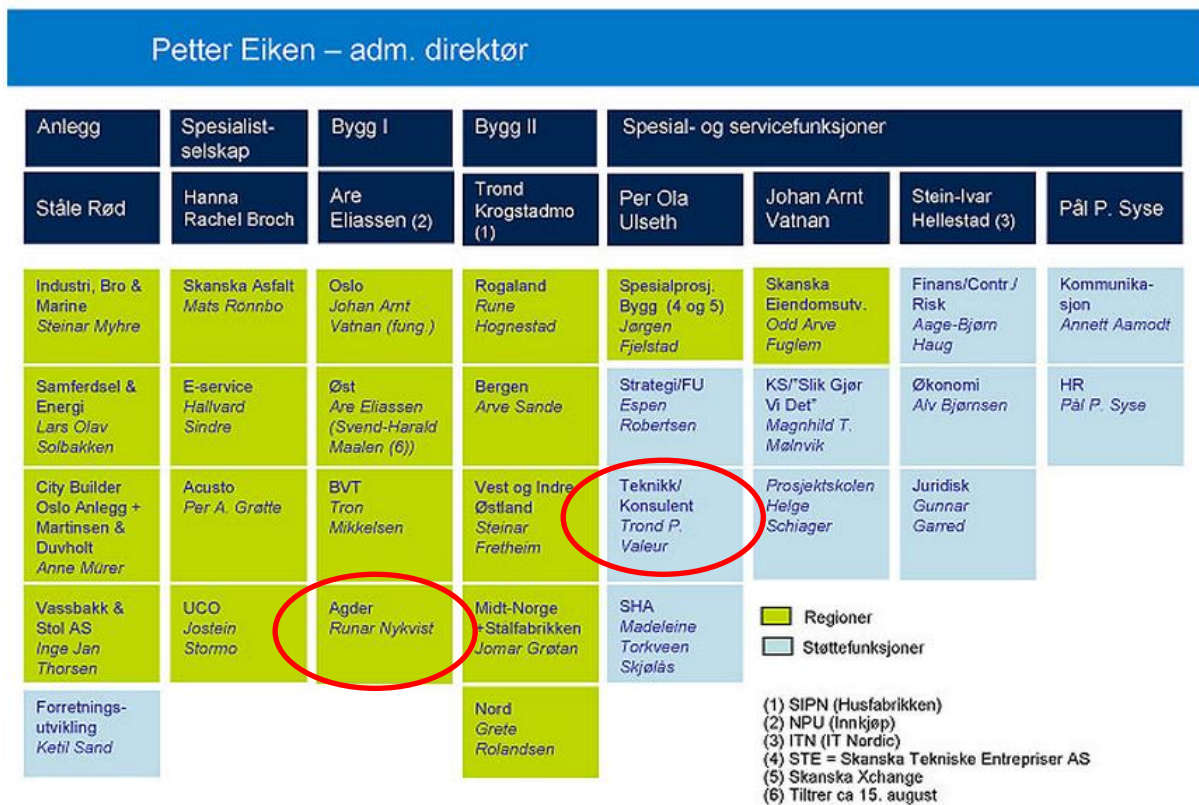
Det skilles mellom to ulike tilnæringsmetoder til forskning; *deduktiv* og *induktiv* forskning. Deduktiv forskning baserer seg på hypotesetesting. Problemstillingen som utarbeides ved deduktiv forskning er utledet fra teori. Målet med denne typen forskning er å underbygge en allerede eksisterende teori eller etablere en ny teori. *Kvantitativ metode* benyttes ved deduktiv forskning. Metoden egner seg godt når det eksisterer entydige, gyldige og pålitelige variabler. Kvantitativ data uttrykkes ved hjelp av tall, noe som gjør at telling og måling er vanlige former for kvantitative metoder (Samset, 2008). I arbeidet med denne oppgaven er det valgt å benytte kvalitativ metode. Denne type forskning kan være basert på flere ulike innsamlingsmetoder for data. Eksempler kan være intervjuer, observasjon, analyse av dokumenter eller dialog med aktuelle personer. Ved analyse av dokumenter benyttes data som allerede eksisterer.

3.2 Kritikk til valg av metode

Denne undersøkelsen bygger på innsamlet datamateriell i tillegg til samtaler/intervjuer med utvalgte intervjuobjekter. Undersøkelsene omhandlet kun et fåtall informanter, som kan ha bidratt til mangelfull datasamling om temaet. Det er imidlertid viktig å poengtere at problemstillingen i dette studiet er svært ukjent for mange. I tillegg til at Skanska ønsket en konfidensiell oppgave. Dette har ført til begrensninger i forhold til hvilke personer som har kunnet delta i prosessen.

3.2.1 Samarbeidsavdelinger

Veiledere hos Skanska har vært innenfor Skanska teknikk, samt Skanska avdeling Agder. I denne regionen har det vært utført flere pilotprosjekter, og avdelingen ønsker å investere mer tid og penger på logistikkverktøy som kan øke konsernets produktivitet. NPU Logistics er en del av innkjøpsavdelingen i Skanska. S-LOG er i skrivende stund kun et samarbeid mellom denne avdelingen og ACT. Skanskas organisasjon er vist i Figur 23.



Figur 23: Skanskas organisasjonskart.

4. Dagens planleggingsmetoder og logistikktiltak i Skanska

Skanska er et av verdens ledende entreprenørkonsern fordelt over ni ulike land, og Skanska Norge AS har eksistert siden 1906, da under navnet Ing. F. Selmer. I 2004 skiftet selskapet navn til Skanska Norge AS (Skanska). I 2009 var omsetningen på ca. 9,75 milliarder kroner, og konsernet har i dag en sterk markedsposisjon i både bygg- og anleggsbransjen.

I dag benytter Skanska seg i hovedsak av tradisjonell gantt-planlegging for planlegging av aktivitetsgjennomføring på sine byggeplasser. Det er blitt utført noen pilotprosjekter der Last Planner System™ (LPS) og involverende planlegging har stått i fokus. Prosjektet Havlimyra i Kristiansand kommune var et stort Lean-prosjekt der LPS og bakoverplanlegging ble tatt i bruk, for å oppnå involverende planlegging.

Skanska benytter seg av “kritisk vei” i sin planlegging og gantt viser planlegging med hensyn på varighet og avhengighet. I dag er det imidlertid mangel på korrekt informasjon i byggebransjen. Kalkylene i gantt baserer seg på antakelser og erfaringer. Erfaringer fra tidlige prosjekter er viktig å ta med seg inn i planleggingsprosessen, men ofte er en erfaring personlig og representerer ofte ikke hele “sannheten”. Det kan for eksempel være at en anleggsleder husker en situasjon fra én vinkling, mens en arbeider har et annet inntrykk av samme situasjon. Uten god dokumentasjon av hva som har skjedd i ulike situasjoner bør ikke erfaringer sette standard for hvordan aktiviteter skal gjennomføres i enhver situasjon.

Terminalstyring og VMI er blitt tatt i bruk hos Skanska, men er fortsatt lite utbredt hvis man ser på konsernet som helhet. Pilotprosjektene har gitt Skanska gode resultater og har vist seg å gi mindre hastebestillinger, mindre forsinkelser og mindre tap av materialer.

4.1 Skanskas logistikkplanlegging

Alle operasjoner på en byggeplass skal planlegges og korrekt tilrettelegges. Det foregår mange operasjoner og aktiviteter parallelt, noe som gjør koordinering svært viktig for å oppnå flyt og optimal gjennomføring.

Logistikkplanlegging omhandler blant annet (Skanska, 2011b):

- Trafikk til/fra byggeplass
- Riggplan med blant annet oppmerkede losseramper og plassbegrensinger
- Mottak og plassering av materialer
- Krantid og begrensinger
- Lager på byggeplass
- Verktøy- og utstyrshåndtering
- Avfallshåndtering og opprydning

Planleggingen av logistikken kan foregå på flere måter, og med metoder som alle lover å gi en optimalisering av flyt. I dag benytter Skanska seg av gantt-diagram som en del av sin planleggingsstruktur. I fremtiden ønsker imidlertid logistikkavdelingen internt i Skanska å benytte seg mer av stedsbasert planlegging og Line-of-Balance som visuelt verktøy.

4.2 Flaskehals

Byggeplassens logistikk-løsninger inneholder flere flaskehals, der produksjon stopper opp på grunn av underkapasitet. Typiske flaskehals på en byggeplass er

- Inn- og utkjøring til byggeplass (kan unngås med god planlegging)
- Varelevering
- Losseplass
- Kran
- Lagringsareal
- Kollisjon mellom aktiviteter

Det kan settes inn tiltak som vil kunne forhindre at flaskehals oppstår:

- Gi mindre slakk til den enkelte aktør.
- Bedre organisering.
- Trekke de ulike aktørene inn i prosjektet til rett tid

(Veiseth et al., 2004)

4.3 HMS må ivaretas gjennom planlegging

HMS er forkortelse for helse, miljø og sikkerhet, og skal ivareta (url31)

- Et godt arbeidsmiljø og sikkerhet
- Forebygge arbeidsskader/helseskader eller miljøskader grunnet produkter eller produksjon
- Verne miljøet mot forurensning fra produksjon

Skanska er, som alle andre bedrifter i Norge, pålagt å ivareta HMS gjennom systematisk arbeid. Ledelsen i konsernet har det overordrede ansvaret, men hver ansatt og arbeider har ansvaret for egne arbeidsrutiner, sikker gjennomføring av aktiviteter, at samarbeidet ivaretas mellom ansatte osv. (url31). Det er svært viktig å ivareta sikkerheten selv om nye logistikk løsninger presenteres.

Før et prosjekt settes i gang må byggeplassen kartlegges for å identifisere risikoforhold som vil ha betydning for hvordan arbeidet utføres gjennom prosjektet. Arbeidet og sikkerhet tegnes inn i riggplanen for prosjektet (url12). Det tar tid og arbeid å legge til rette for at sikkerheten ivaretas, og må tas med i tidsberegningen for planleggingsfasen.

Riggplanen skal skille mellom transport- og ferdselsveier. Hvis dette ikke er mulig, slik som fort kan forekomme ved prosjekter med trange byggeplasser, skal det iverksettes nødvendige sikkerhetstiltak, slik som avgrensning med gjerder og bygging av overbygginger (url12).

4.5 Gantt- og aktivitetsbasert planlegging

Gantt-planlegging har fokus på "kritisk vei" gjennom prosjektet. Microsoft Project er benyttet mye i Skanska, og vil videre bli brukt som eksempel. Programmet benyttes for å visualisere planene i prosjektet. Selve planleggingen som utføres bygger på kalkyler, erfaring fra tilsvarende prosjekter og møter mellom deltakere i prosessen. Etasjeskiller er naturlig inndeling ved bruk av den aktivitetsbaserte planleggingen, for så å planlegge de ulike aktivitetene i sekvensielle rekkefølger. Varigheten som blir satt av til hver aktivitet er avhengig av tilgjengelige ressurser, og det er kun en bestemt mengde ressurser som er avsatt i en gitt periode. Ved utføring av aktiviteter er bemanning en ressurs som vil gi resultater på gjennomføringstiden til en aktivitet. Jo flere arbeidere som er tilgjengelig på et

fag, jo raskere kan en aktivitet gjennomføres. Det må utføres en analyse mellom kostnaden for flere arbeidere og gevinsten ved å fullføre en aktivitet på kortere tid. Gantt-planlegging er som metode satt til å tenke kun på tid og ressurser. Hvor i bygget eller etasjen en aktivitet skal gjennomføres er ikke like viktig i denne form for planlegging (Eikeland, 2009).

Aktuell status i forhold til planlagt fremdrift oppdateres med jevne mellomrom. Det er viktig med god oppfølging for å vedlikeholde planenes formål og for å skape en mer forutsigbar byggeprosess. Skulle det vise seg at virkeligheten avviker fra plan, må det iverksettes tiltak for å endre fremdriften.

Ved utarbeidelse av anbud til en kunde fremlegges en hovedfremdriftsplan som skal møte kundens forventninger, og gantt-diagrammet er utgangspunkt for milepæler og valgt dato for overdragelse av det planlagte prosjektet. Vinner Skanska anbudsrunder vurderes fremdriftsplanen, og om den er realistisk, for videre å planlegge fremdriften ned på detaljnivå. Gantt-planlegging er i utgangspunkt egnet på strategiske planer, slik som fremdriftsplan og/eller periodeplaner (Eikeland, 2009).

Det er viktig med tilstrekkelig informasjon om bygget som skal planlegges, hvilke aktiviteter som skal pågå og avhengighetene mellom dem. Gantt-diagrammet viser hvilke aktiviteter som skal utføres i hvilken rekkefølge, men det fremkommer ikke av faseplanen om noen oppgaver kan settes i gang før andre er avsluttet. Flyt og koordinering mellom aktiviteter visualiseres ikke i gantt-diagrammet. Hvis en aktivitet fortsetter gjennom ulike soner, er det ikke mulig å lese av diagrammet i hvilken sone aktiviteten er planlagt gjennomført på ulike tidspunkt.

I gantt er det altså avhengigheten mellom aktivitetene som bestemmer rekkefølgen mellom dem. Hos Skanska er gantt blitt et svært vanlig verktøy å benytte, og aktivitetsbasert planlegging er derfor et kjent fenomen hos konsernet. Skanska er imidlertid i startfasen når det kommer til å benytte seg av annen planleggingsmetodikk, da de har sett mangler i den allerede benyttede gantt-planleggingen. Det er ønskelig å se på nye metoder, der det ikke bare er ekstra tid som benyttes som buffer mot forsinkelse i produksjon. Målet er bedre fremdrift, sikrere planer og en planlagt produksjon som gir et bedre bilde av virkeligheten.

4.6 Utvidelse av terminalstyring

En terminal er et slags mellomlager, og reduserer antall uanmeldte leveranser til byggeplass, samtidig som prosjektet unngår flaskehalsen som ofte oppstår med lager på byggeplass. Det er terminalen, med sine egne sjåførere, som leverer direkte til et prosjekt. Sjåførene kjenner til ruta mellom lager og lokasjon, slik at det ikke oppstår forsinkelser knyttet til transportvei. Sikkerheten rundt leveringene øker ved at sjåføren kjenner til bevegelsene på byggeplassen, de har med seg nødvendig verneutstyr, de vet hvor losserampen er plassert og kjenner til leveringsrutinene. I tillegg reduseres trafikken på byggeplassen som øker sikkerheten betraktelig.

En leveranse fra terminal består av materiell for én produksjonsuke frem i tid. Ved å følge Lean-prinsippet, som ønsker færrest mulig håndtering av materiell, skal materiell fra losseplass direkte inn i korrekt lokasjon. Resultatet er mindre oppbevaring på byggeplassen og en reduksjon i antall kranløft (Skanska, 2011b).

En terminal deles ofte av flere prosjekter plassert i nærheten av hverandre. Selv om prosjektet har stor lagerplass til rådighet i terminal, er det viktig at liggetiden holdes nede. Driften av terminalen settes til en annen virksomhet enn Skanska, og kostnadene er blant annet avhengig av plassen prosjektet benytter på lageret. Skanska benytter mer lagerplass hvis ikke materialene er i omløp. Dette gir en direkte økning på lagerkostnadene.

Skanska har som mål å oppnå en leveringspålitelighet på 98 % (Jensen, 29.07.2011). Skanska gjennomførte et pilotprosjekt med terminalstyring i Agder, ferdigstilt 2011. I dette prosjektet stod planlegging og logistikk i fokus, og implementering av terminal var en viktig del av prosjektet. I følge avsluttende rapport gikk leveringspåliteligheten fra 60 til 94 %. Beregningene tar her hensyn til avtalt leveringstidspunkt i forhold til når leveringene faktisk var på plass i terminal, for så å se på når varene ankom fra terminal til byggeplass. Påliteligheten var mye bedre fra terminal til byggeplass. Mye av grunnen til bedre pålitelighet er bedre styring, kjennskap til lokasjon og reduksjon av transportrisiko. Fordi risikoen øker med lengden på transportruten, vil en terminal redusere faren for at uforutsette hendelser oppstår.

Det er satt et krav til terminalen om leveringspålitelighet, der leveransen skal ankomme byggeplass med +/- 15 minutter i forhold til avtalt leveringstidspunkt. Dette fører til en

reduksjon av tiden mottaker benytter på å vente på leveranser, og gjør byggeplassen klar for mottak. Det er eieren av terminalen som har ansvaret på å purre på leveranser som ikke er ankommet terminalen til rett tid. Dette er også tidsbesparende for byggeplassen.

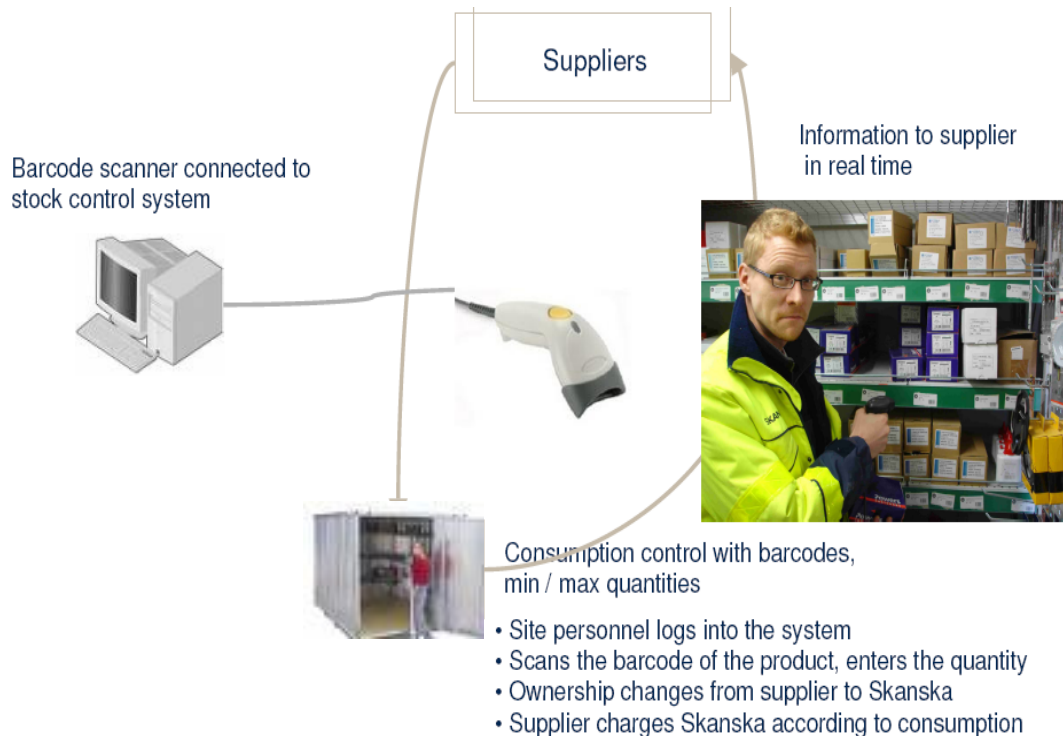
Det vil være større fleksibilitet ved endring av fremdriftsplan ved bruk av terminal. Leveransene til terminalen kan mottas uavhengig om prosjektet går etter plan. Ønsker byggeplassen å motta leveransen senere, må dette gis beskjed om til eieren av terminalen, som videre vil tilpasse seg dette. En eventuell bot/kostnad må benyttes, slik at Skanska forstår viktigheten av at leveranseplaner følges.

4.7 Bedre lagerstyring ved hjelp av VMI

Uavhengig av hvor byggeplassen er plassert er det vanskelig å sette opp et velorganisert lager på byggeplass. Lagerplassen ender opp som en flaskehals, der det går med mye tid på å lete og hente ut materiell og enheter. Lagringsplassen på byggeplass er liten, og det er svært vanlig å se materialer lagt på ulike steder rundt på plassen. Det eksisterer som regel en container som rommer noe materiell, men alt av lager får som regel ikke plass i denne.

På grunn av dårlig styring på mottak, og fast plassering av lager, rotes materiell og utstyr fort bort, og må i verste fall erstattes av nye bestillinger. Hardt vær, slik som vind, snø eller regn kan fort skade materialer som har stått uskjermet. Snøen kan også føre til at arbeidere ikke finner igjen materialer som de i utgangspunktet hadde styring på.

Skanska har benyttet seg av VMI i noen av sine prosjekter, og implementeringen av systemet er økende. Skanska benytter seg av et lager på byggeplass, der materiell først faktureres når de skannes ut av lager. En elektronisk melding sendes over til leverandør, som videre har oversikt over aktuell beholdning på lageret. Indirekte kan det være at kunden betaler noe mer for varene, men dette veies opp med klare fordeler av at Skanska slipper å tenke på varebestillingen selv (Veiseth et al., 2004). Leverandøren ankommer byggeplassen én gang i uken for å etterfylle de ulike produktene. Noen produkter har kortere liggetid enn andre, noe som tas med i beregningene. Lagerbeholdningen endres gjennom prosjektets livssyklus. I starten av et prosjekt er det behov for andre produkter enn på slutten av prosjektet.



Figur 24: Funksjonene i VMI (Skanska).

4.8 Analyse av dagens logistikkplanlegging

Gantt-planlegging er en kjent planleggingsmetode i bransjen og flere dataprogrammer som benyttes i Skanska er tilpasset gantt. Kjennskapen til metoden skaper trygghet for brukeren både i ledelse og for de utførende på byggeplass. Det finnes imidlertid svakheter med gantt som vil kunne elimineres ved bruk av stedsbasert planlegging i tillegg til den aktivitetsbaserte. En dreven bruker vil kunne lese ut hvor i prosjektet en aktivitet skal gjennomføres utfra gantt-diagrammet, men dette krever mye erfaring. Det bør vurderes et diagram som enkelt kan plassere aktivitetsgjennomføring til korrekt lokasjon. Dette forenkler oppfølging av planlagt produksjon. Fordelene en ny planleggingsmetode gir Skanska må veies opp mot ulempene en omstilling vil gi konsernet. Skepsisen er stor til nye endringer, og opplæring er helt nødvendig. Dette medfører en ressursbruk for Skanska i form av tid og kostnader.

Prosjekter der terminalstyringen er tatt i bruk har gitt Skanska gode resultater. Styringen og driften av terminalen blir satt ut til en leverandør noe som krever god kommunikasjon mellom leverandør og Skanska i tillegg til at Skanskas visjon og krav til prosjekt må forstås av leverandør. Datasystemer i terminal må være oversiktlige og må kunne forstås av andre en de involverte i terminalen. Korrekt leveringspresisjon til byggeplass er et avgjørende punkt,



og administrator i terminal må til enhver tid være oppdatert. Ved minimal kommunikasjon vil feil kunne oppstå, og effekten av terminalen reduseres.

5. Fremtidige planleggingsmetoder og logistikkverktøy i Skanska

Skanska har i samarbeid med firmaet ACT utviklet et verktøy under navnet S-LOG for styring av logistikk på Skanskas byggeplasser. ACT er utvikleren av markedets mest solgte systemløsning, superDAGFINN™, og bistår Skanska med god kompetanse innen programutvikling (url18). SuperDAGFINN™ er en løsning innenfor merking og sporing. I tillegg til mer korrekt produksjon skal S-LOG samle all informasjon for senere å kunne fremlegge korrekte rapporter og hente ut data etter avsluttet prosjekt. Mange beslutninger som tas i dag er mangelfulle på grunn av analyser som ikke gir et korrekt bilde av virkeligheten. En kost/nytte-analyse er vanskelig å fremlegge når det ikke eksisterer nok data for en tilfredsstillende analyse.

RFID-teknologi vil kunne forenkle material- og informasjonsstrømmene i Skanskas prosjekter. Teknologien er ennå ikke benyttet innenfor byggebransjen, men forskning tilsier at en implementering vil kunne gi Skanska gevinster i forhold til sporing, informasjonssamling og forbedret logistikkflyt.

5.1 Hvorfor er logistikk så viktig?

At logistikk på en byggeplass er detaljert og korrekt planlagt gir grunnlag for god flyt og fungerende infrastruktur. Logistikk omhandler varemottak, materialhåndtering, arbeidskraft, arbeidsmønster og avfallshåndtering. I tillegg vurderes prosjektplassering i forhold til plass og trafikkmaskiner. Utgangspunkt for planleggingen er tilgjengelig prosjekteringsinformasjon og prosjektets tegninger. Det er utfordringer knyttet til dette fordi tegninger ofte ikke er ferdigstilt før de skal benyttes, og det utføres stadige endringer. Det er plan- og tekniske tegningene i samsvar med hovedfremdriftsplan som danner grunnlaget for god planlegging av logistikk. Det hentes også erfaring fra tidligere liknende prosjekt, som samlet gir grunnlag for å skape en realistisk logistikkplanlegging.

Skanska har i dag fokus på logistikk, men metodene som benyttes er valgt på grunn av vane, mer enn hva som gir det beste resultatet. Logistikkavdelingen i Skanska, NPU Logistics, har sett potensialet i nye metoder og teorier, og har på bakgrunn av dette utført flere pilotprosjekter der logistikk og flyt, samt involverende planlegging har stått i fokus.

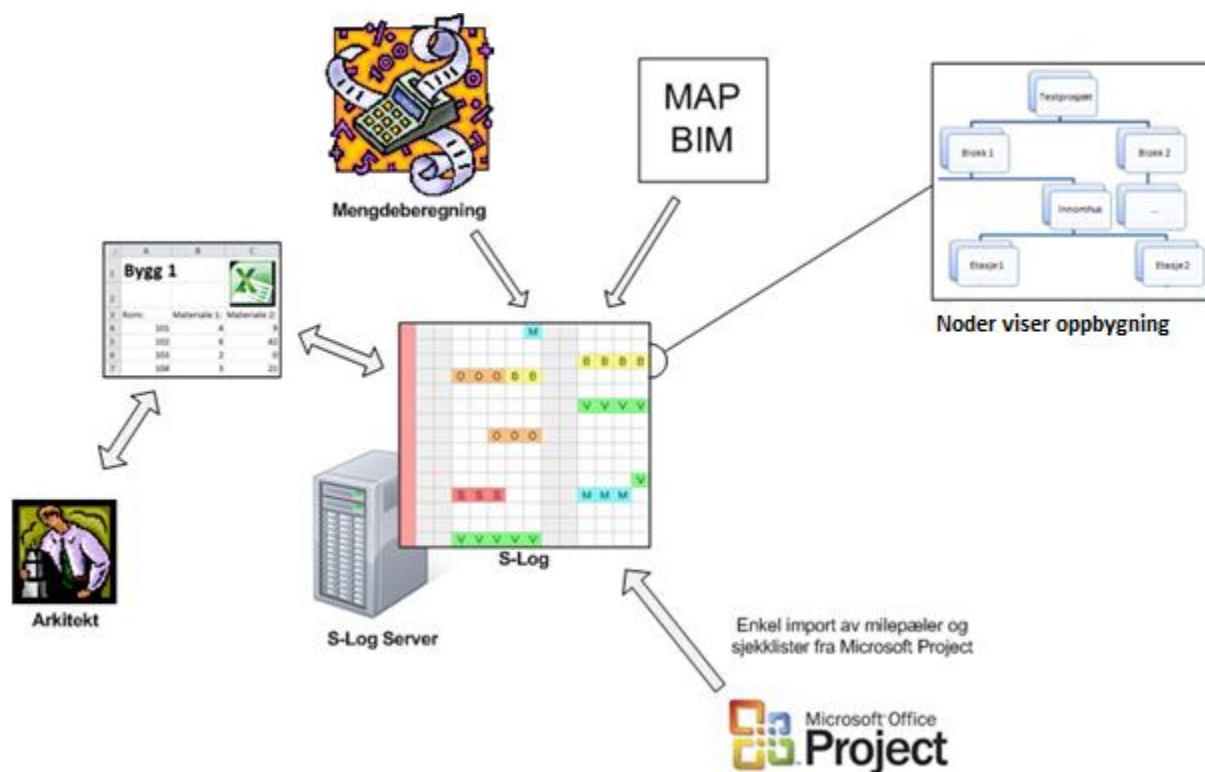
Lean Construction (LC) og fokuset på økt produktivitet innenfor byggebransjen har dannet et nytt perspektiv i planleggingssammenheng. Dette har ført til større fokus rundt oppgavene som skal utføres, og at alle forutsetninger for effektiv gjennomførlig er til stedet før aktivitetsstart. I tillegg har trekkprinsippet (pull) bidratt til en mer realistisk planlegging der ledige ressurser styrer prosjektutviklingen. Resultatet er bedre flyt gjennom byggeplass og produksjonsplaner med færre avvik.

Skanska har i samarbeid med firmaet ACT utviklet et verktøy under navnet S-LOG for styring av logistikk på Skanskas byggeplasser. ACT er utvikleren av markedets mest solgte systemløsning, superDAGFINN™, og bistår Skanska med god kompetanse innen programutvikling (url18). I tillegg til mer korrekt produksjon skal verktøyet samle all informasjon for senere å kunne fremlegge korrekte rapporter og hente ut data etter avsluttet prosjekt. Mange beslutninger som tas i dag er mangelfulle på grunn av analyser som ikke gir et korrekt bilde av virkeligheten. En kost/nytte-analyse er vanskelig å fremlegge når det ikke eksisterer data for å gjennomføre en analyse.

5.2 Oppbygging av S-LOG

S-LOG er et elektronisk verktøy som skal forbedre informasjonsstrømmer, logistikkplanlegging og flyt på byggeplass. Verktøyet er delt inn i undergruppene

- Prosjektstruktur
- Mengdeberegning
- Innkjøp/logistikkplan
- Backplanner/ 6 ukers plan
- Ulike sjekklister for hver lokasjon
- Mottakskontroll for både terminal og direktelevering
- Lageroversikt
- Rapporter



Figur 25: Prosjektoppbygning (ACT/Skanska, 2011)

De fleste delsystemer og planer som inngår i S-LOG eksisterer allerede i dag, informasjonen er altså tilgjengelig. Det som er nytenkende med S-LOG er koblingen mellom informasjonsplattformene, og at informasjonen er tilgjengelig på ett samlet sted. Det skal være mulig å hente ut informasjon om for eksempel tilgjengelige ressurser, fremdriftsplan og mengden spiker på lager i samme verktøy.

5.3 Stedsbasert fremfor aktivitetsbasert planlegging?

Det diskuteres om Skanska i fremtiden bør øke sitt fokus rundt stedsbasert planlegging og lokasjonsinndelingen av et prosjekt. Lokasjonsinndeling er vesentlig fordi den styrer leveringslogistikk, bestillingslogistikk og de ulike mengdeberegningene. Det er avgjørende å bryte ned bygget i lokasjoner som gir god flyt, og det vil være en fordel å benytte seg av stedsbasert planlegging fremfor tradisjonell gantt-planlegging. Nedbrytningsstruktur skal ta hensyn til naturlig bevegelsesflyt gjennom bygget samtidig som etasjeskiller og eventuelle leiligheter/kontorer/områder ofte blir den naturlige strukturen.

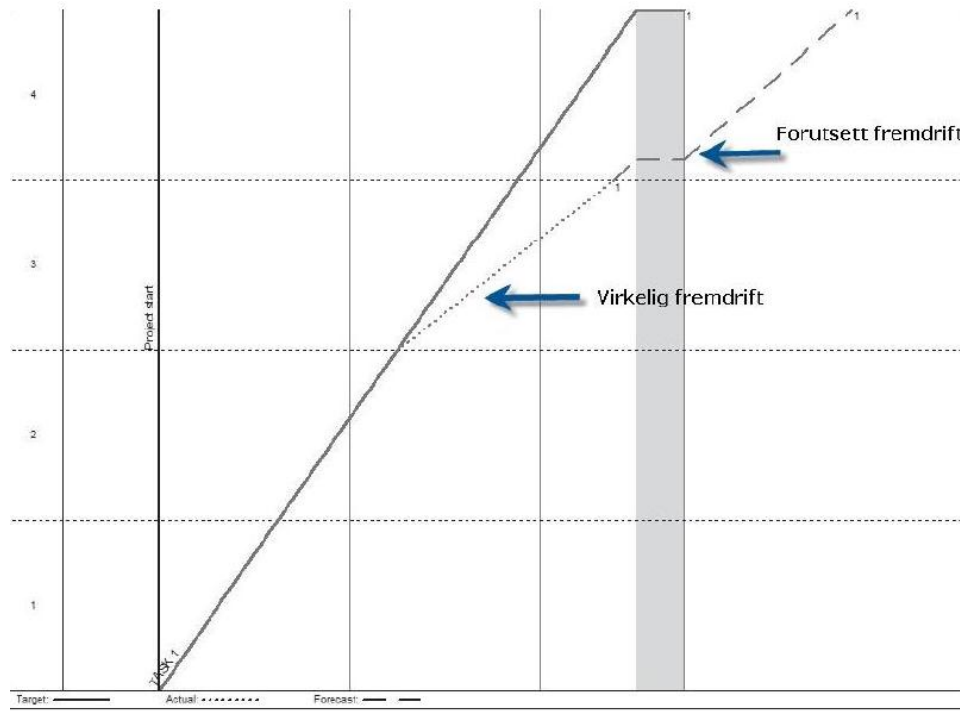
Line-of-Balance (LoB) bør vurderes benyttet fremfor gantt-planlegging ved stedsbasert planlegging. Når gantt kun fokuserer på tid og tilgjengelige ressurser, er *sted* en viktig tilleggsfaktor i LoB. Dette gjør altså at en må gå i ytterligere detalj, og inndelingen må tas

hensyn til på et tidlig stadium i planleggingsprosessen. De ulike sonene må defineres før de ulike aktivitetene planlegges. I LoB er en aktivitets startdato avhengig av mer enn kun sluttdato for foregående aktivitet. Hver strek i diagrammet har en helning som viser til aktivitetens varighet i forhold til tilgjengelige ressurser. Startdato på avhengige aktiviteter vil da variere etter hvor nærme strekene plasseres inntil hverandre, så lenge strekene ikke skjærer hverandre. Dette betyr at aktiviteter med lik helning vil kunne ha startdato nærmere hverandre, enn aktiviteter med svært ulik gjennomføringshastighet. Avhengigheter mellom aktivitetene er imidlertid viktig i LoB, og det må skilles mellom “foregående” og “etterfølgende” aktiviteter. Det bør skilles mellom de kritiske aktivitetene og aktiviteter som ikke ligger langs den kritiske linjen. Skanska legger mye vekt på kritiske aktiviteter fordi forsinkelser i disse aktivitetene kan føre til at hele prosjektet blir forsinket. Aktiviteter som ikke anses som kritiske må også gjennomføres, men de er ikke avhengig av den samme bestemte rekkefølgen, og tidspunkt for gjennomføring kan tilpasses resten av produksjonen (Eikeland, 2009).

I et skråstrekdiagram kan fremdriften enkelt måles ved å studere diagrammet. Ved å trekke en linje fra nåværende tidspunkt på tidsaksen, opp til aktuell “aktivitetsstrek”, for så å trekke en strek fra punktet og ut til soneaksen, vil en kunne lese av i hvilken sone arbeidslaget skal befinne seg på valgt tidspunkt. Viser streken at et arbeidslag skulle ha begynt arbeidet sitt i sone 4, men fremdeles befinner seg i sone 3, viser dette at fremdriften er for dårlig (Eikeland, 2009).

Det er viktig at Skanska beholder baseline³ i sitt diagram. Den faktiske fremdriften blir lagt til som en egen strek. Det er lurt å skille mellom strekene for å unngå forvirring, ved å for eksempel gi faktisk fremdrift en stiplet strek. I tillegg vil det være fornuftig å vise antatt fremdrift til uavsluttete aktiviteter (Eikeland, 2009).

³ Opprinnelig planlagt aktivitetshastighet



Figur 26: Fremdriftsoppfølging Line – of – Balance (Eikeland, 2009).

Vurderes gantt-planlegging opp mot Lean perspektivet, vil en se at planleggingen ikke tar hensyn til flyt på byggeplass eller andre Lean-tiltak på samme måte som ved skråstrekeplanlegging. For en som planlegger i gantt er det tilstrekkelig å definere aktiviteten, altså er det ikke nødvendig å se til hvordan arbeidet i praksis vil foregå på byggeplass. Det er på grunn av dette gantt får mye negativ kritikk i forhold til planlegging av byggeprosjekter. Det er en grunnleggende tanke at kontinuerlig arbeid gir høyere produktivitet, men samtidig må hindringer og stopp i produksjon unngås. Slike hindringer vil lettere kunne oppdages ved hjelp av skråstrekeplanlegging.

Den stedsbaserte planleggingen gjør det mulig å definere de ulike lokasjonene som bestemte arbeidssoner, som igjen blir plassert inn i LoB og i prosjektstrukturen i S-LOG. Gjennom prosjektets levetid benyttes sonene som referanse ved materiallevering, arbeidsstasjoner, fremdrift mot plan, plassering av arbeidslag, osv.

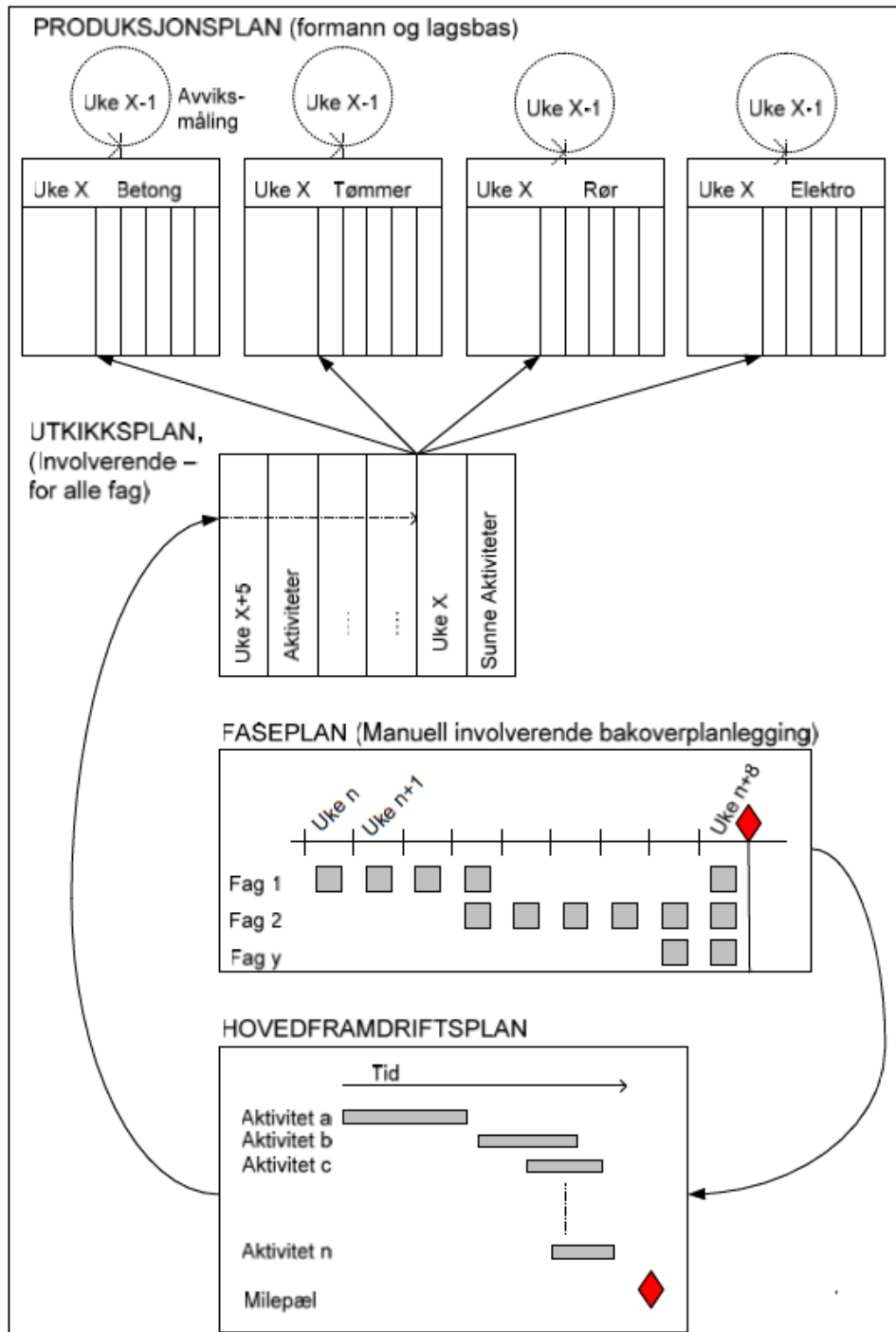
Prosjektstrukturen i S-LOG bygges opp av ulike soner, slik som etasjer og lokasjoner. Hver node i systemet (Figur 25) viser til ulike soner som igjen bygges opp av tegninger, mengdeberegninger og prosjekteringsinformasjon. Fremdriftsplanene til Skanska lages i Microsoft Project. Definerte milepæler og sjekklister kan importeres inn i S-LOG. Mengdeberegninger utføres for hver sone basert på tegninger fra arkitekt, MAP eller BIM.

Implementeringen av ulike programmer og data gir S-LOG brukerne en totaloversikt over hva som skal utføres i de ulike sonene, hvordan det skal utføres og til hvilken tid sonen skal være ferdigstilt. Det er en enkelt kobling opp mot utvikksplaner, der forutsetninger for korrekt gjennomføring av aktiviteter er definert. Skulle det oppstå avvik eller forsinkelser i forhold til plan vil all informasjon være samlet i et system som igjen vil kunne gi grunnlag for en korrekt analyse av hvorfor avviket oppstod.

5.4 Fremdriftsplanlegging ved hjelp av involverende planlegging og Last Planner System™

Å planlegge et prosjekt baserer seg i dag på kunnskap blant prosjektorganisasjonen, rapporter fra tidligere prosjekter og eventuelt innleid kompetanse i form av rådgivende ingeniører. De siste årene har fokuset rundt involverende planlegging økt innenfor entreprenørbransjen, og flere går vekk fra generell "ovenfra-og-ned" styring. Den involverende planleggingsformen fokuserer på fagkompetansen blant arbeiderne som deltar i byggprosjektet.

The Last Planner System™ (LPS) er allerede tatt i bruk som verktøy i noen av Skanskas prosjekter. Andelen prosjekter er allikevel så lav at verktøyet ikke kan omtales som standard når hele konsernet vurderes under ett. Skanska lener seg mot Lean-prinsipper og Lean Construction, men har fortsatt en lang vei å gå før tankegangen kommer naturlig i alle produksjonsleddene. LPS er som tidligere nevnt et planleggingsverktøy som er mer tilrettelagt for byggeproduksjon og har utvikksplaner med kort tidshorisont som gir detaljplanleggingen høyere sikkerhet. I S-LOG er det 6-ukersplanen (faseplan) som har fått fokus, da denne gir en indikasjon på hva som skal skje noen uker frem i tid, samtidig som detaljert planlegging er mulig. 6-ukersplanen endres gjennom prosjektet, og endringer vil kunne skje både på byggeplass og fra Skanskas lokale kontorer. Skulle noe endres eksternt fra byggeplassen må ledelsen på byggeplassen varsles ved hjelp av et automatisk varslingsystem i S-LOG, slik at endringene oppdages. Hovedfremdriftsplanen blir også implementert i S-LOG, men denne skal forbli lik slik at avvik kan analyseres etter avsluttet prosjekt.

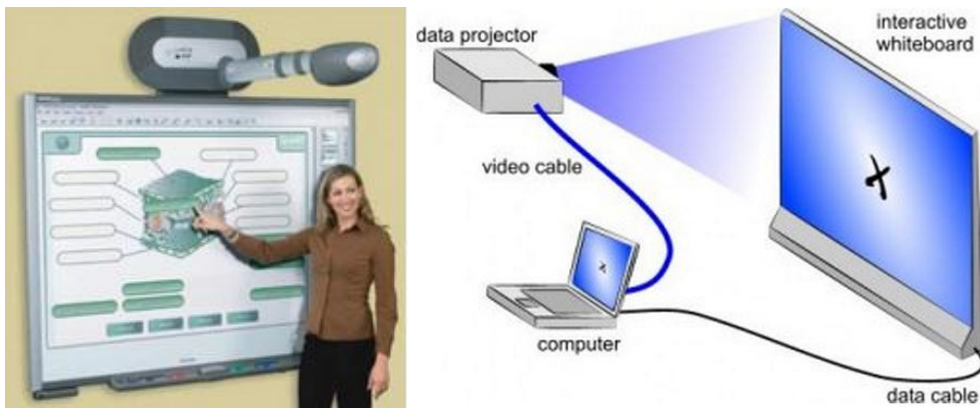


Figur 27: Illustrasjon for oppsett av Last Planner System™ i Skanskas prosjekt Havlimyra (Skaar et al., 2010)

Figur 27 viser hvordan ukeplanene til de ulike fagene settes sammen i utkikkspanen, sammen med bakoverplanleggingen som utføres manuelt. Hovedfremdriftsplanen fungerer som den overordnede planen, men i denne kan det ikke foretas endringer.

Skanska bør bevege seg over til en involverende planlegging som ivaretar fagkompetanse og kunnskap blant deltakere i en planleggingsprosess. Bakoverplanlegging er benyttet i pilotprosjekter hos Skanska, og har gitt gode resultater. Arbeidere fra ulike fag sitter inne med kompetanse om tidsbruk og løsninger som Skanska bør benyttes seg av. Motivasjon kan fremkomme av flere faktorer, der studier viser at jobbautonomi er den sterkeste blant dem (Mikalsen, 2007). Jobbautonomi vil si at det er fravær av kontroll og detaljstyring, og at arbeideren selv kan påvirke hvordan arbeidsoppgavene skal utføres. Det vil ikke være mulig i en byggeprosess å eliminere all styring og kontroll, men den involverende planleggingen gir arbeiderne mulighet for å diskutere løsninger og alternativer seg imellom.

En stor del av S-LOG vil bli en elektronisk versjon av bakoverplanlegging. Skanska kaller denne delen av S-LOG "Backplanner", og det er dette navnet som benyttes videre i oppgaven. Ideen er å flytte bakoverplanlegging fra gråpapir, og over på et SMARTboard™ (SB). Et SB er en interaktiv tavle som bruker berøringsgjenkjenning, slik at brukeren direkte kan legge inn input (url4). En prosjektor viser data fra en pc, for så å la brukeren kommentere, bevege eller endre dataen direkte på tavlen.



Figur 28: Oppsett av SMARTboard™ (url37)

Kort repetert er bakoverplanlegging et verktøy der de ulike fasene planlegges fra slutt- til startdato, og kartlegger alle aktiviteter som må gjennomføres før prosjektet blir ferdigstilt. Bakoverplanlegging gir aktørene svært god oversikt over avhengigheter mellom aktiviteter, i hvilke deler av produksjonen det er mye å gjøre og i hvilke perioder det er moderat med aktiviteter. Et av målene er å fordele aktivitetene i produksjonen slik at aktivitetsmengden er jevn gjennom hele prosjektets levetid. Bakoverplanlegging er svært gunstig fordi klistrelappene gir en visuell fremstilling av planleggingsprosessen, og de ulike arbeidslagene

forstår når og hvorfor de må ta hensyn til hverandre. Fordelene prosjektet oppnår med felles planlegging og utnyttelse av kunnskap blant arbeidslagene forblir i prosjektet selv om planleggingen gjøres om til et elektronisk verktøy.

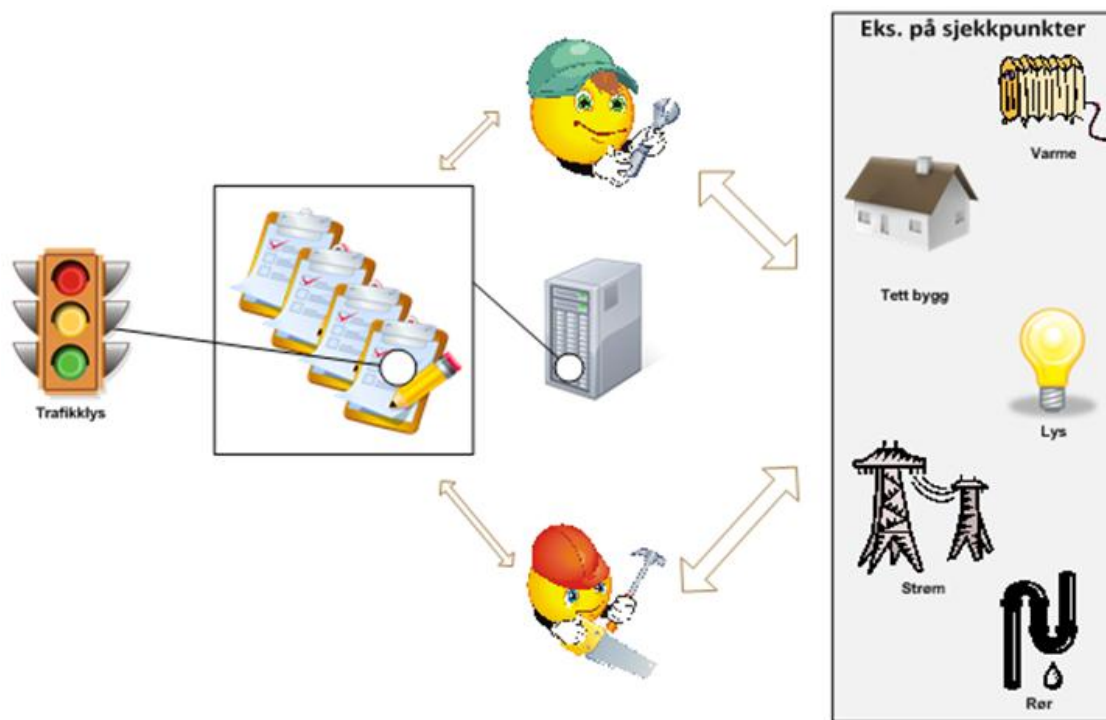


Figur 29: Det er ønskelig å flytte vanlig form for bakoverplanlegging inn i S-LOG i form av en elektronisk versjon (Skaar et al., 2010).

Det må defineres en administrator i Backplanner. Det vil være umulig å få systemet til å fungere hvis alle kan endre planen slik de måtte ønske til enhver tid. De elektroniske klistrelappene kan flyttes rundt på, og det kan legges inn mye informasjon rundt en aktivitet. Aktiviteten kan deles opp i tidsperioder, og det er mulig å legge til avhengigheter mellom aktiviteter. Forutsetninger for gjennomføring av aktivitetene registreres. Dette gjør at Skanska holder oversikt over hvilke forutsetninger som er til stede, og hvilke som ennå ikke er registrert. RFID vil benyttes for å registrere forutsetninger som materialmottak, materialer på riktig lokasjon og at foregående arbeid i aktuell sone er avsluttet.

“Klistrelappene” vil være utstyrt med trafikklys. Trafikklysene indikerer om aktiviteten kan settes i gang, altså at alle forutsetningene for korrekt gjennomføring er til stede. Skanska må avgjøre om noen forutsetninger vil gi umiddelbart rødt lys, “ikke klart for gjennomføring”, slik som HMS. Andre forutsetninger slik som materialer og arbeidere på plass i lokasjon vil kunne gi et gult lys. Er det for eksempel kun én av to arbeidere til stedet eller hvis det mangler 1 gipsplate ved gjennomføring, kan aktiviteten settes i gang. Forsinkelser vil kunne oppstå, derfor gult lys. Grønt lys betyr at alle forutsetninger er til stede og oppgaven kan utføres optimalt.

Skjeklister opprettes for hver lokasjon. I tillegg til trafikklys for forutsetninger, vil også status for gjennomføring representeres av et trafikklys. På denne måten er det enkelt å følge med på fredriften av aktivitetene. Fremtidige sjeklister kan blokkeres, slik at de kun blir tilgjengelige når foregående aktiviteter er gjennomført. Montørene henter opp sjekklister når de ankommer aktuell lokasjon. Etterhvert som de ulike deloppgavene på sjekklisten blir utført, rapporteres dette og status blir oppdatert. Slike oppdateringer vil låse opp nye lister, eller lage en melding til kontrolløren om at lokasjonen må godkjennes (ACT/Skanska, 2011).



Figur 30: Trafikklys viser til gjennomføringsgrad (ACT/Skanska, 2011).

5.5 Planlegge bemanning

Det må planlegges med tilstrekkelige ressurser for hver aktivitet som skal gjennomføres. At det er satt av nok arbeidskraft for gjennomføring av produksjon er helt avgjørende for å unngå forsinkelser eller stans. I dag vurderes nødvendig bemanning opp mot størrelse på aktivitet, hvor kompleks aktiviteten er og erfaringen blant arbeiderne. I planleggingsfasen benyttes rapporter fra tidlige prosjekter og erfaring som finnes hos Skanska. Aktuell aktivitet må vurderes i samspill med resten av produksjon, for så å planlegge innsatsen av arbeidsressurser. Plasseres det en stor arbeidsressurs på en aktivitet vil den gjennomføres raskere, enn om antall arbeidere legges på et lavere nivå.

De viktigste prinsippene når bemanning skal planlegges er:

- Tilstrekkelig arbeidskraft
- Rett mann på rett sted
- Godt tillitsforhold mellom entreprenør og arbeidere

God dialog mellom prosjektleder, anleggsleder og de ulike arbeidslagene må være til stede for korrekt gjennomføring av prosjektplan. Dags- og ukesmøter der fremdrift rapporteres må videreformidles og sammenlignes med fremdriftsplan. Oppstår det avvik grunnet bemanning skal dette korrigeres så raskt som mulig.

Grunnet mangel på arbeidskraft benyttes også utenlandske arbeidere i Skanskas prosjekter. Det eksiterer kommunikasjonsproblemer ved at ikke alle arbeiderne kan benytte engelsk eller norsk. Mangel på forståelse gjør at arbeidernes tolkninger ikke alltid stemmer overens med tegninger eller beskrivelser av utførelse. Dette vil i flere tilfeller føre til at arbeidet må gjøres på nytt. Dette er svært kostbart for Skanska i form av benyttet materiale, forsinkelser som oppstår i form av at arbeidet må gjøres på ny, eller at prosjektet i noen tilfeller må vente på levering av nye materialer. Skanska bør sette et krav om at alle basene fra de utenlandske arbeidslagene kan beherske engelsk, slik at misforståelser på grunn av språk reduseres. Kravene for HMS er forskjellig i ulike land og Norge har høye krav til HMS på byggeplass. For utenlandske arbeidere er mange av kravene ukjent, noe som gjør informasjon og kommunikasjon enda viktigere. Uansett hvem som utfører den aktiviteten som ender galt, er det Skanska som sitter med ansvaret. Skanska må fortsette å gi informasjon underveis, og følge opp med inspeksjoner og kontroll.

Underentreprenører blir valgt på et tidlig tidspunkt i planleggingen, og Skanska vet hvor mange arbeidere som er tilgjengelig når prosjektet er igangsatt. Det kan imidlertid være vanskelig å holde oversikt over hvilke arbeidere fra de ulike arbeidslagene som utfører aktiviteter til ulike tidspunkt. Lappene som benyttes i Backplanner i S-LOG kan vise hvor mange arbeidere som er satt på de ulike aktivitetene. Hvis det eksempelvis er 10 snekkere tilgjengelig og 8 av disse allerede er satt på andre aktiviteter, har planleggeren kun mulighet til å benytte 2 snekkere. Det vil komme opp en automatisk beskjed hvis administrator plasserer flere arbeidere på en aktivitet enn det som er tilgjengelig. Fordelen med dette er at planleggeren/administrator på et tidlig tidspunkt ser om det finnes nok tilgjengelig

arbeidskraft på byggeplassen, og kan iverksette tiltak hvis det må tilføres mer arbeidskraft enn det som opprinnelig ble bestemt.

5.6 Tekniske tegninger

Tegninger fra arkitekt, planleggere og prosjekteringsgruppen er svært sjeldent ferdigstilt ved prosjektstart. Dette gjør at endringer foretas også etter at prosjektet er igangsatt. I dag sendes det nye tegninger via ProjectPlace⁴, som er en felles plattform for de ulike deltakerne i prosjektet. Prosjektgruppen på byggeplass har selv ansvaret for alltid å være oppdatert på nye endringer som foretas, slik at arbeid ikke utføres unødvendig. Det skal være mulig å legge inn de tekniske tegningene i S-LOG. Tegninger fra BIM eller ProjectPlace™ lagres i S-LOG når endringer er foretatt. En melding vil automatisk komme opp i verktøyet, der det gis beskjed om at endringer er foretatt. De nye tegningene kan undersøkes. Ved å få opp tegningene på SMARTBoardet, kan endringene diskuteres i plenum. Selve operasjonen med oppdaterte tegninger benytter Skanska seg allerede av, i form av eksisterende portal, men S-LOG gjør det mulig å samle all data og informasjon i samme system. Dette gjør at koblinger og beregninger samt planlegging blir mer nøyaktig og skaper høyere sikkerhet til gjennomføring av prosjektet.

5.7 Materialmottak, lager på byggeplass og materialkontroll

Bestillinger forgår i dag på byggeplassen, og baserer seg på tekniske tegninger levert til et prosjekt. Det er et gjentakende problem at tegninger endres eller ikke er ferdigstilt til avtalt tid. Dette fører til mye hastebestillinger og stemmer overens med studier utført på området.

Det skal være mulig å legge inn en funksjon som forteller hvor lang leveringstid det er for ulike bestillinger. Se at en aktivitet kobles opp mot materialbehov. Plasseres aktiviteten i Backplanner vil systemet kunne gi beskjed om nødvendig bestillingstidspunkt, for å unngå fremtidig hastebestilling.

I dag ankommer leveransene byggeplassen direkte og blir tatt imot av en arbeider som signerer for at leveransen er ankommet. På større prosjekter benyttes en bakkemann, som har ansvaret for varemottak, håndtering av paller og fører av truck. Han skal vite når leveransene skal ankomme byggeplassen, men det oppstår ofte avvik mellom avtalt og virkelig leveringstidspunkt. Forsinkelser vil kunne oppstå, hvis materialene skulle vært

⁴ Skanska bruker ProjectPlace som en felles elektronisk plattform for informasjon- og dokumentdeling.

benyttet umiddelbart. I tillegg fører dette til at bakkemannen må bruke tid på å vente fremfor å utføre andre aktiviteter. Når leveransen ankommer, signeres en pakkseddel. Pakksedlene samles, for så å sammenligne disse med bestillingen gjort tidligere. Eventuelle avvik må rapporteres.

Det er ikke mye rom for lager på byggeplassen, noe som kan føre til tap av materiell og utstyr i form av skader eller mangel på lagersystem. Når materiell eller enheter ankommer byggeplassen blir det tatt imot og registrert, men det er ikke alltid plass til å lagre leveransen. Det er tilfeller der deler av leveransen ikke skal benyttes før måneder inn i fremtiden, og det er helt unødvendig å lagre dette der produksjonen foregår. Logistikkavdelingen i Skanska ser hvor mye det er å hente på å ta i bruk mellomlagring, der det kun leveres materiell eller enheter for en kort produksjonsperiode. Mellomlagring i form av terminaler er benyttet i pilotprosjekter, og resultatene er gode. Flere terminaler er under oppføring og reduserer tap av materiell på byggeplass, gir bedre styring av materialflyt til byggeplass og gir bedre leveringspålitelighet som igjen reduserer forsinkelse i produksjon.

5.8 RFID som del av produksjonen på byggeplass

RFID som teknologi har funnet veien inn i mange produksjonskjeder og logistikksystemer. Overgangen til automatisert produksjon og håndtering har ført til utvikling av effektive rutiner. Ved å analysere og forstå praksisen rundt automatiseringen i andre bransjer kan det utføres en detaljert vurdering av automatisert teknologi i byggebransjen (ERABuild, 2006). Tabellen nedenfor viser en oversikt over forventede fordeler. Disse fordelene er hentet fra ulike bransjer, og en analyse eller vurdering må foretas for byggebransjen.

Tabell 3: Forventet fordeler ved RFID (ERABuild, 2006)

<ul style="list-style-type: none"> ▪ Labour efficiency/savings ▪ Out-Of-Stock Management ▪ Inventory Management ▪ Receiving shipping accuracy ▪ Reduced claims ▪ Reduced not saleable items ▪ Reduced diversion ▪ Product recall management ▪ Better visibility ▪ Better fulfilments ▪ Product integrity ▪ Increasing capacity utilization and yield ▪ Reducing cycle time ▪ Increasing labour productivity ▪ Improving product quality 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ensuring timely preventative maintenance ▪ Reducing product obsolescence costs ▪ Tracking and managing spare parts inventory ▪ Facilitating statistical process control ▪ Enabling lot/batch track and trace ▪ Ensuring worker safety ▪ Reducing returns and warranty claims ▪ Reducing scrap, waste and obsolescence ▪ Better planning and forecasting ▪ Better processes in VMI systems related to reordering ▪ Traceability and safety of products for counterfeiting and maintaining copyrights ▪ Better asset management and handling of returnable assets
--	--

Source: A.T. Kearney (2004) & Chappell and Ginsburg et al (2003) & DTI, RFID Centre (2005)

Det ble allerede i 1995 vist til fordeler ved å ta i bruk RFID teknologi innenfor konstruksjon (ERABuild, 2006):

«RFID technology is a promising technology for the construction industry that can track materials, identify vehicles, and assist with cost controls.⁵»

På tross av påstanden, som ble lagt frem på en konferanse om temaet, og den ekspanderende bruken i andre bransjer, er det fortsatt ikke oppstått en liknende utvikling innenfor byggebransjen. Det er siden 1995 gjort flere studier på tema, som alle har påpekt at potensiale til RFID-teknologi innenfor byggindustrien er stort. Det blir i studiene også påpekt at negative tolkninger av teknologien må endres. Utfordringene er mange og forskning og innovasjon er høyst nødvendig for å redusere dette i fremtiden (ERABuild, 2006).

⁵ Radio-Frequency Identification Applications in Construction Industry' - Edward J. Jaselskis et al. - Journal of Construction Engineering and Management, June 1995

Ifølge ERAbuilds rapport er de følgende faktorene ledende i å påvirke en implementering av RFID innenfor konstruksjon (ERABuild, 2006):

- Industrifragmentering
- Langsom teknologidistribusjon
- Komplekse verdikjeder
- Høye kostnader for den enkeltes forskning og utvikling
- Kostnaden ved de samlede RFID-systemene

Hittil er det vist svært liten forskningsinteresse for hvilken innflytelse RFID kan ha på prosessene innenfor Lean. Det er imidlertid ingen tvil om at RFID kan benyttes som verktøy for å oppnå en Lean-tilpasning.

Skanskas implementering av strekkoder og RFID er ønskelig for å oppnå best uttelling for S-LOG, og for å oppnå total oversikt over informasjonsflyten på deres byggeplasser. Det benyttes allerede strekkoder i de leverandørstyrte lagrene, og slik de benyttes i dag er det ingen grunn til å gå over til RFID. Det bør vurderes hvis leverandørene ønsker å benyttes seg av RFID. I første omgang vil en implementering av et RFID-system omhandle lagerkontroll, styring og oversikt over materialhåndtering, innlogging av arbeidssoner som vil kunne gi en god fremdriftsstyring, i tillegg til at systemet gir Skanska god datainnsamling for et godt rapporteringsgrunnlag. Ved fremdriftskontroll vil bruk av RFID kunne øke påliteligheten til innrapportering og gi korrekt sanntidsinformasjon.

5.8.1 RFID i terminal

I terminal vil et RFID-system ta over for manuelt varemottak, gi rask informasjon om hva som befinner seg på lager og hvor det er plassert, i tillegg til at skader på materiell lett kan innrapporteres. Det er tenkt å benyttes seg av både RFID-brikker og strekkoder. Om det skal benyttes strekkoder eller RFID-brikke på paller og enheter skal tilpasses de ulike produktene. RFID-brikken vil alltid kunne gi mer informasjon om sin lokasjon, og om den ene enheten, men denne informasjonen er ikke alltid nødvendig. Si at det ankommer en pall med gips. Den er i en gitt størrelse, og skal inn i en bestemt lokasjon. Det er ingenting som skiller de ulike gipsplatene fra hverandre, altså er de helt like. Strekkoden på pallen vil gi informasjon om varetype, og kan ikke fortelle noe om hver enkelt gipsplate. Men se at det ankommer en pall med spesialbestilte stålprofiler til en sone. Fordi alle profilene er ulike vil det være

gunstig å skille hver enkelt profil fra hverandre ved håndtering. Skulle det eksempelvis oppstå en skade på en av stålprofilene, vil det være vanskelig å vite akkurat hvilken profil dette er. Ved å skanne RFID-brikken vil informasjonen komme opp, og en ny bestilling kan sendes direkte til aktuell leverandør. Med hjelp av ERP-systemer kan denne informasjonen deles enkelt mellom ulike aktører.

Teknologien vil gi mulighet for svært god styring og kontroll på lageret, i forhold til plassering av kolli og mottatte leveranser. Kodene skannes ved mottak, og igjen ved videre levering til byggeplass. I dag styres Skanskas terminal manuelt (Winterstad, 30.05.2011). Dette gjelder bestillingslister, levering- og mottakslister, og den daglige styringen av lageret. Utrykket “flere kokker, mere søl” er en passende beskrivelse av problemet som fort oppstår med dagens situasjon. De manuelle listene håndteres av flere personer, og endringer utføres uten at alle brukerne er informert. Listene består av store mengder data som gjør at en endring er svært vanskelig å oppdage. Ved endringer i mengdebestillinger, datoer eller ved feilleveringer blir en slik manuell liste fort uoversiktlig og effektiviteten rundt terminalstyringen reduseres. En automatikk, slik RFID-teknologien gir mulighet for, fjerner den manuelle dataregistreringen. En oppfølging vil fremdeles være nødvendig, men den manuelle registreringen kan avgrenses til enkelte oppgaver. Dette gir samtidig en reduksjon i misforståelser og feilregistrering hos brukerne.

I tillegg til korrekt registrering, vil det være enklere å vite korrekt liggetid på de ulike kolliene. Inn- og ut-dato er registrert, og beregningene utfra dette kan utføres. Er det ønskelig å vite lagerverdien underveis i produksjonen eller hvis det letes etter en bestemt leveranse, vil et enkelt søk av varekode kunne gi svar på verdi eller finne søkt leveranse.

Det må vurderes hvilken type leser det er aktuelt å investere i, men i første omgang vil en håndholdt leser fungere godt. Dette fordi den egner seg både til vanlige strekkoder og RFID-brikker. Den håndholdte leseren er også fleksibel i forhold til avlesningssted.

5.8.2 Mottak ved hjelp av RFID på byggeplass

Når en leveranse ankommer byggeplass skal en representant fra Skanska være klar for registrering av mottak. Det vil gagne flyten på byggeplass hvis én person får ansvaret for mottak av leveranser. Dette reduserer risikoen for misforståelser og manglende mottakspersonell på losseplass. Utnevnt bakkemann blir utstyrt med en RFID-leser. På

losseplass skannes paller og enheter, og blir med dette registrert som mottatt i S-LOG. En melding sendes til serveren om at varene er ankommet, som igjen sender beskjeden videre til aktuelle deltagere i produksjon.

Et mål innenfor Lean er at materialene kun skal forflyttes én gang fra de ankommer byggeplassen til de skal benyttes i korrekt lokasjon (Winterstad, 30.05.2011). Målet er å redusere tiden arbeidere benytter til å forflytte materialer og enheter fra lagerplass til lokasjon, og tiden som benyttes til å lete etter riktige materialer. En løsning vil være et kommunikasjonssystem, basert på RFID, mellom losseplass og kran på byggeplass. Kranen blir utstyr med en skjerm, der beskjeder kan gis til kranfører. Når leveransen ankommer losseplass, blir de skannet av bakkemannen, og en elektronisk beskjed sendes opp til kranføreren. Denne beskjeden forteller til hvilke lokasjoner leveransen skal flyttes. Kranføreren kvitterer på skjermen når meldingen er mottatt, og signerer også når aktiviteten er gjennomført. Prosjektlederen vet med dette at materialene er på plass i riktig sone, og én av forutsetningene for aktivitetsgjennomføring er på plass.

Hvis en leverandør mangler nødvendig teknologi for å kunne bli en del av Skanskas valgte RFID-system, kan pallene merkes ved hjelp av en etikettmaskin som skriver ut nye sporingslapper med RFID. Dette er nødvendig slik at alle enheter og paller blir korrekt merket. En slik skriver kan plasseres i terminal og på byggeplass. Selv om terminal benyttes som lagerplass, vil fortsatt noen av leveransene ankomme byggeplassen direkte. Dette gjelder materiell som lagres hos leverandører nære byggeplass, hasteleveringer eller hvis det er oppstått store forsinkelser ved en leveranse. Etikettmaskinen er koblet opp mot S-LOG slik at de nye RFID-brikkene baserer seg på en ønsket kode og enheter gjenkjennes i systemet ved senere skanning i prosjektet.

5.8.3 Innlogging av arbeidssoner ved hjelp av RFID

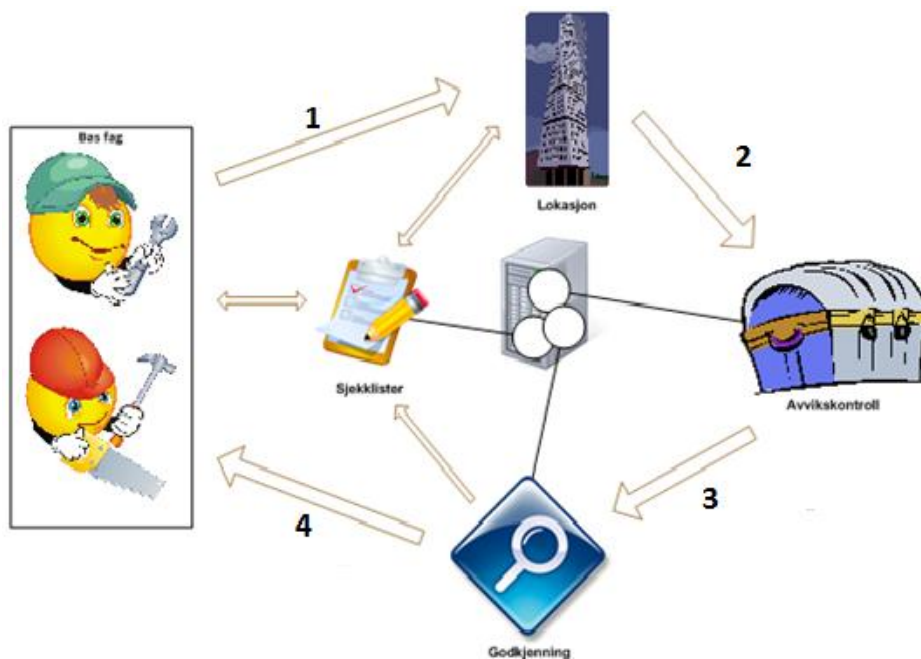
RFID skal benyttes i form av inn- og utlogging av soner. Håndholdte lesere, for eksempel PDA, blir delt ut til ulike baser⁶ av ulike arbeidslag. Leseren er registrert opp mot roller i S-LOG slik at systemet kjenner igjen hvilket arbeidslag som utfører de ulike registreringene.

RFID implementeres i bygget under oppreising, og hver sone merkes med en brikke. Brikkene som benyttes til sonemerking må inneholde mer enn kun en ID tag, altså mer

⁶ Bas: en person som fungerer som leder av et utstasjonert arbeidslag. Er utpekt som leder på aktuelt oppdrag.

avansert teknologi enn passive brikker. Det må være mulig for brukerne å kommunisere med brikken, både for arbeideren som skanner brikken i lokasjon, og for administrator av informasjon lagret på server. Det er derfor nødvendig for Skanska å benytte seg av aktive brikker. De aktive brikkene er betydelig dyrere enn de passive, men for at systemet skal fungere må investeringen gjøres. Brikkene skal imidlertid alltid sitte i bygget, og kan benyttes som referanse gjennom hele produksjonen, også når bygget er ferdigstilt.

Når et arbeidslag ankommer lokasjon skannes RFID-brikken i sonen. Dette gjør at systemet registrerer at arbeiderne er på plass, og byggeleder vil kunne se om arbeidslaget er på korrekt lokasjon til rett tid i henhold til plan. Figur 31 viser koblingen mellom inn- og utlogging av soner og informasjonssamling til S-LOG. Ved skanning av RFID-brikken får arbeidslaget tilgang til sjekklisten på sin PDA. Dette gir arbeidslaget informasjon om delaktiviteter, materialbruk og avsatt tid i foreliggende lokasjon (1). Det er mulig for basen å registrere hvor mange arbeiderer som har ankommet lokasjon og hvis det er avvik i materialankomsten (2). Aktivitetene gjennomføres som angitt i sjekklisten, og må kontrolleres av basen før de kan rapporteres som ferdigstilte (3). Først når oppdraget er utført og godkjent, er sjekklisten ferdig og kan signeres av arbeideren. Den neste sjekklisten for lokasjonen er nå tilgjengelig, og neste arbeidslag får tak i informasjonen når de skanner RFID-brikken i lokasjon (4).



Figur 31: Inn- og utlogging av soner (SKANSKA/ACT).

Inn- og utlogging av soner vil gi prosjektlederen oversikt over fremdriften i alle lokasjoner. Et bygg består av mange ulike soner/lokasjoner, og det er nesten umulig å oppnå en totaloversikt over fremdrift. S-LOG har oversikt over alle starttider gjennom Backplanner. Gjennom systemet vil en automatisk “pop-up”-beskjed dukke opp hvis en aktivitet i en sone ikke er registrert påbegynt i henhold til fremdriftsplan. Byggelederen vil kunne gå til korrekt sone, og finne ut hvorfor arbeidet ikke er påbegynt. Det samme vil skje hvis sonen ikke er registrert avsluttet etter planlagt avsatt varighet. En forsinkelse vil føre til forsinkelser i alle påfølgende aktiviteter, og det er derfor svært gunstig å oppdage avviket fra plan med én gang det oppstår.

RFID-brikkene som plasseres ut i sonene kan også benyttes ved kvalitetskontroll av bygg og hvis skader oppdages underveis i produksjon. Kvalitetskontrollen utføres av Skanska sammen med kunde. Kontrolløren blir utstyrt med en PDA, som gir tilgang til de ulike sjekklisterne. Godkjenning kan utføres enkelt, og eventuelle kommentarer kan legges inn.

Hvis en arbeider oppdager en skade under produksjon, slik som et hull i en gipsvegg, må papirer på dette fylles ut. Dette videresendes til ansvarlig på byggeplassen. Tanken er at det i fremtiden skal være mulig å ta et bilde av bildet med leseren, for så å skanne RFID-brikken der skaden befinner seg. En melding vil bli gitt til den ansvarlige, som vil vite i hvilken lokasjon skaden befinner seg og ser samtidig omfanget av skaden.

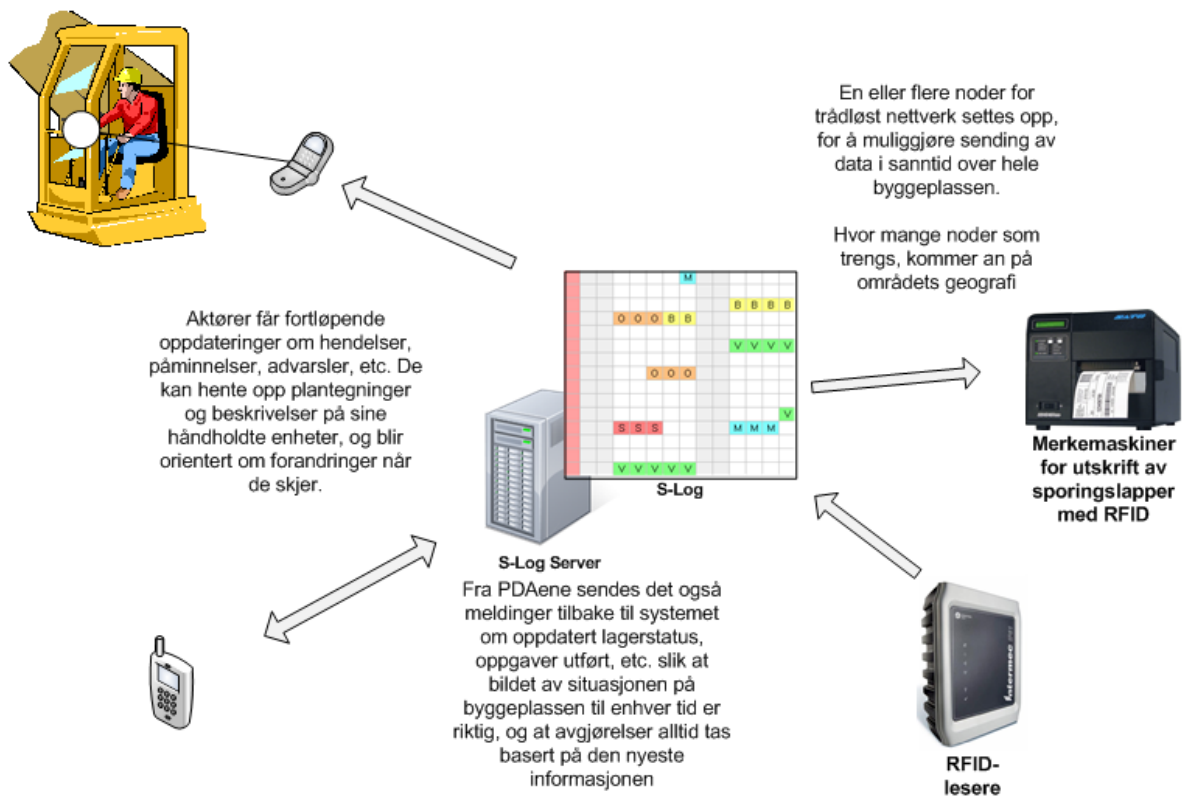
5.8.4 Plassbegrensninger på byggeplass

Geografisk plassering av et prosjekt er helt avgjørende for logistikkplanleggingen av prosjektet. Om prosjektet er på bygd eller i by vil sette begrensninger på ulike måter. Det må tas hensyn til trafikkmønster, naboer og lokalmiljø. Det tildeles ofte liten plass til lager, og det er ikke mulig å velge hvor kranen skal plasseres. Ved liten plass benyttes mobile kraner fremfor faste. Kranen kan løfte like tung vekt som en fast kran, men kan ikke bære vektene med like lang arm, og har et bruksområde på mindre omkrets. Det vil være tilfeller der kranen ikke kan plassere enheter på planlagt plassering, og at spontane løsninger må utarbeides i forhold til opprinnelig logistikkplanlegging.

Bestilling og planlegging av krantid vil kunne utføres i S-LOG. På større byggeplasser der flere kraner benyttes, merkes radiusen til de ulike kranene opp i riggplan, som også kan hentes opp og vises visuelt på SMARTboard™. Det befinner seg losseplass flere steder på

byggeplassen. Valg av losseplass avhenger av hvilken lokasjon materialene skal benyttes. Dette leses også av RFID-brikkene. Blir brikkene lest av i terminal kan materialene på leveransen tilpasses slik at alt kan losses av på samme sted. Dette kan ikke kontrolleres på samme måte ved direkte levering. Ved slike leveranser er kommunikasjon mellom leverandør og prosjekt viktig for å unngå at materialene havner på feil sted.

S-LOG gjør det mulig å planlegge hvilke oppgaver kranen skal utføre til hvilke tidspunkt. Det bestilles krantid til planlagte leveranser i forhold til fremdriftsplan, men kommunikasjonen gjennom RFID er allikevel svært gunstig. Nyten kommer best frem hvis det oppstår forsinkelser i de planlagte aktiviteter til kranen. Når en leveranse skannes på losseplass, havner den på en liste på kranførerens skjerm. Blir det et ledig tidspunkt kan denne aktiviteten utføres som en slags bufferaktivitet, slik at kranen alltid er i bruk.



Figur 32: Bruk av RFID som kommunikasjonsverktøy ved leveranse på byggeplass (ACT/Skanska, 2011).

5.8.5 Forbedret utleiekontroll og sporing ved hjelp av RFID

Det er i dag en utfordring for Skanska å ha full oversikt over hvor alt innleid utstyr befinner seg på byggeplassen. Dette fører ofte til at verktøy og utstyr blir værende lenger på byggeplassen enn nødvendig. Ofte blir utstyret forlagt eller rett og slett glemt bort, og

dukker ført opp ved opprydning på plassen. Det er tenkt å benyttes seg av Real Time Location System (RTLS) i S-LOG, slik at en RFID-leser vil kunne spore opp brikker på utstyr som er forlagt. Leiekontraktene på utstyr og verktøy hentes inn i S-LOG. I forhold til planleggingen av prosjektprosessen vet Skanska når ulikt verktøy skal benyttes, og det vil være mulig å legge inn automatiske varsler for når det er planlagt levert tilbake til for eksempel UCO.

Mesteparten av maskiner og utstyr som benyttes på byggeplassen leies inn for en bestemt periode. UCO, Utleiekompaniet AS, eies av Skanska AS og er derfor foretrukket som utstysleverandør ved utleie. Tilbakemelding fra byggeleder hos Skanska er at alt for mye utstyr leies lenger enn nødvendig, og fører til unødvendige kostnader for prosjektet. Leie av stillas egner seg som et godt eksempel for utleie. Stillas ender ofte med å koste Skanska mye penger, fordi det ikke blir levert inn så raskt som mulig. Monteringen skjer tidlig i starten av et prosjekt, og tas ofte ikke ned før prosjektet avsluttes. Det står ofte mye ubrukt i løpet av prosjektet, og det bør planlegges mer bruk underveis, slik at leietiden kan kortes ned.

Hvis innleid utstyr skannes inn som registrert når det ankommer byggeplassen, og ut igjen når det sendes tilbake til UCO, vil Skanska få en elektronisk oversikt i S-LOG over hvilket utstyr som ikke er tilbakelevert til utleier. Det savnede utstyret kan spores opp og Skanska kan kartlegge om utstyret fortsatt er i bruk.

Det er mulig å plassere RFID-brikker på verktøy Skanska leier ut til egne fagarbeidere og underentreprenører (UE). Utstyret for utleie plasseres i en container. Denne containeren er utstyrt med en RFID-leser som registrerer alt det merkede utstyret, både når det tas ut og inn igjen i containeren. Leietiden UE-ene blir fakturert med, vil basere seg på tidspunktene for inn- og utlogging av utstyret. Alle arbeiderne får ikke tilgang til verktøyet. Hvis basen utstyres med et ID-kort eller annen form for gjenkjenning, kan dette benyttes ved innlogging i containeren. Innloggingen vil fungere som et «låse-system» til containeren, og gir god oversikt over hvilket fag som leier hva. Systemet vil kunne føre til at arbeiderne er mer motivert til å rydde opp ordentlig etter seg, i tillegg til at stjeling av verktøy blir mindre attraktivt.

RTLS kan benyttes på enheter og materiell oppbevart på byggeplass. Skanska ønsker ikke å lagre materiell på byggeplass, og det er et mål at alle leveranser plasseres i korrekt lokasjon

rett etter lossing. Oppstår det avvik fra retningslinjene kan RTLS benyttes for å spore opp forlagte ressurser. Det er ønskelig at minst mulig blir oppbevart på byggeplass, men en leveranse fra terminal inneholder materiell for én ukes produksjon. På den tiden kan ting forlegges, eller bli dekket av for eksempel snø hvis det oppbevares uskjermet for vær og vind.

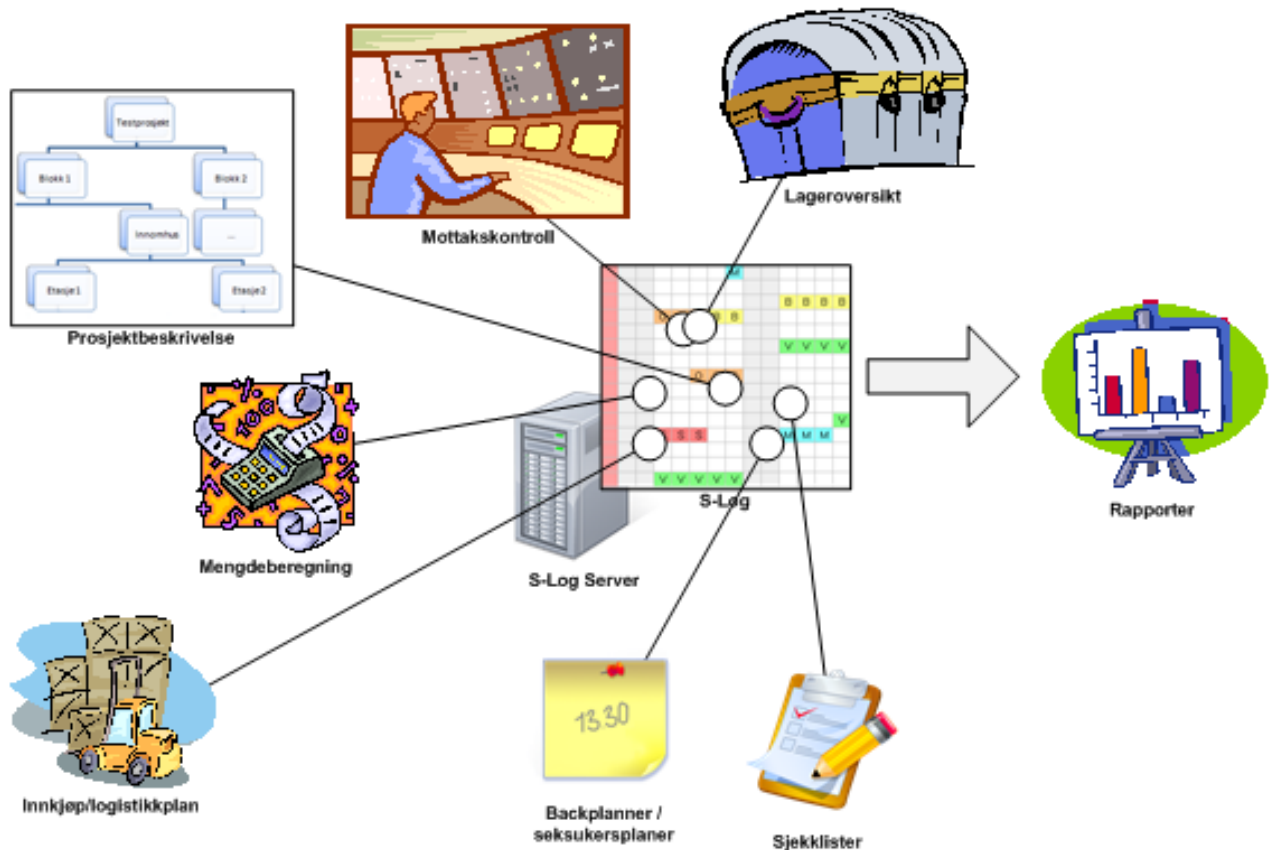
5.8.6 Forbedret innrapportering av informasjon

En av grunnene til den lave innovasjonsevnen i byggebransjen, kan være bransjens fokus på erfaring, gamle tradisjoner og kunnskap. Innenfor konsernet stilles det store krav til den enkeltes praktiske forståelse av hvordan en byggeplass fungerer. Kunnskapen er nyttig, men meningene er ulike og bidrar til at ulike mennesker velger å fokusere på ulike ting. I en situasjon der flere deltar, kan resultatet vurderes helt ulikt og være preget av subjektiv tolkning. Denne «menneskelige svikten» påvirker informasjon og hendelsesforløp i et prosjekt, og i etterkant stemmer ikke nødvendigvis registrert data med den virkelige. I dag benyttes byggemøter for å dele informasjon om fremdrift, kostnader og produksjon. Referatene fra byggemøtene gir et signal om prosjektets tilstand, og hvilke mål som skal nås til neste møte. Referatet sendes til Skanska, byggherre og andre aktører som blir påvirket av prosjektet. Hvert referat inneholder faste hovedpunkter, men dette kan variere fra ulike prosjekter. Referatene samles, og benyttes som data ved måneds-, års- og sluttrapport fra prosjektet. Det er imidlertid slik at referenten i møtene har større makt i forhold til datasamlingen enn det man kanskje er klar over. Det som blir referert er det som huskes best, og referenten har derfor stor påvirkningskraft i forhold til hvilken data senere rapporter bygger på.

I tillegg til på byggemøter tas mange beslutninger i prosjektet muntlig, i form av telefonsamtaler eller direkte kontakt på byggeplass. Denne kommunikasjonen blir ikke dokumentert og informasjonen fra samtalen blir av den grunn svært subjektiv. Det er i tillegg vanskelig å huske over lengere tid, alle detaljer som ikke er skrevet ned.

Data som samles i S-LOG i løpet av et prosjekt gir grunnlag for gode rapporter, som kun baserer seg på korrekt informasjon, altså ingen subjektiv tolkning. Benyttes RFID teknologien som kommunikasjonsmiddel, slik som for eksempel inn- og utlogging av soner, vil systemet i etterkant inneholde data om oppgavestart i forhold til plan, hvor og når eventuelle

forsinkelser fant sted. Dette gir grunnlag for mer korrekte analyser. Når analysene kan si noe om hva som faktisk *har* skjedd, og ikke hva man *tror* har skjedd, vil fremtidige kalkyler kunne bygge mer på analysene enn de gjør i dag. Kalkyler basert på virkelig data, og mindre antakelser, gir større sannsynlighet for at beregninger og planlegging i fremtiden blir mer sikker og med færre avvik.



Figur 33: Oppbygning av S-LOG (ACT/Skanska, 2011).

5.9 Analyse av fremtidige logistikk løsninger

S-LOG er et «samlende» system med informasjon, styring og innsamling av data som dets viktigste formål. En slik funksjon, med et implementert RFID-system, er manglende i byggebransjen, og vil kunne bidra til sikrere planer med færre avvik, mindre uforutsette hendelser, involverende ansatte og en god material- og lagerstyring. Fordelene systemet gir må vurderes opp mot tid benyttet på opplæring, endring av eksisterende planleggingsverktøy og tiden det tar å endre motforestillinger internt i konsernet. Et slikt verktøy trenger motiverte brukere som ser nytten av ny teknologi.

RFID benyttes i andre næringen, men kunnskap og teknologi er ennå ikke utviklet for byggebransjen. For Skanska vil ikke gevinsten være optimal før S-LOG er testet, og eliminert for barnesykdommer. Dette kan ta tid, fordi alle byggeprosjekter er unike, og ulike prosjekter vil ha ulike utfordringer med verktøyet. Skanska må lage ulike «hva hvis»-senarioer. Dette for best å være forberedt på hendelser som vil kunne forsinke eller redusere fordelen S-LOG gir prosjektet.

Eksempler på «hva hvis»-senarioer kan være

- *Hva hvis* en arbeider glemmer å skanne seg inn i en sone?
- *Hva hvis* det ikke føres elektronisk varemottak?
- *Hva hvis* en RFID-brikke mangler?
- *Hva hvis* en leser slutter å fungere når det er som mest hektisk på byggeplassen?
- *Hva hvis* data slettes?

Det finnes en balanse mellom å være totalt avhengig av S-LOG, og å stole på systemet. Hvis det finnes tvil om verktøyet gir feil data, vil det aldri fungere optimalt. Samtidig må byggeplassen kunne drives etter planer, uten store forsinkelser, hvis en feil skulle oppstå i S-LOG. I en overgangsfase bør Skanska benytte både nye og gamle verktøy og metoder. Dette kan bety mye ekstra arbeid i planleggingsfasen, men er helt avgjørende for å oppnå sikkerhet i planene på byggeplass.

En plan skal være et korrekt bilde av hvordan Skanska mener at virkelig fremdrift vil se ut i et prosjekt. Det har vært en trend der fremdriftsplan gir prosjektet mer avsatt tid enn virkelig nødvendig, og har gjort at Skanska leverer prosjektet tidligere enn forventet. Dette har gitt bonus eller andre gevinster for prosjektet. Dette er en usunn trend og er ødeleggende for målet om realistiske planer. I stedet for å belønne prosjekter for tidlig ferdigstilling, bør belønning oppnås ved lav avviksprosent i forhold til plan. Det vil bli mer attraktivt med realistiske planer og etterspørselen etter kalkyler som baserer seg på at virkeligheten vil bli etterspurt i de ulike prosjektene.

6.0 Diskusjon av problemstilling og forskningsmessige spørsmål

De forskningsmessige spørsmålene for oppgaven har vært

- *Hvordan bidrar involverende planlegging til innovasjon og forbedret produktivitet på Skanskas byggeplasser? (FS1)*
- *Hvordan kan RFID redusere flaskehalsen på Skanskas byggeplasser? (FS2)*
- *Vil soneplanlegging og Line-of-Balance gir en mer forutsigbar fremdrift på Skanskas byggeplasser? (FS3)*
- *Vil S-LOG kunne overføres til andre deler av bygg- og anleggsnæringen? (FS4)*

6.1 Innovasjon og forbedret produktivitet ved hjelp av involverende planlegging (FS1)

Byggebransjen har fått mye kritikk for å ha lav produktivitet, kvalitet og produktfunksjonalitet i forhold til andre bransjer, og det er den lave graden av innovasjon som er blitt antydnet som den viktigste årsaken til denne situasjonen (url34). Mye av grunnen til at innovasjonen i næringen er såpass lav, er måten bransjen er organisert. Bransjen er preget av høy konkurranse i forhold til å vinne anbud, og samarbeidspartnerne for hvert prosjekt varierer mye. Dette fører til et «løst» system, og koblingene mellom deltakerne er svært usikre. Dette hindrer nye ideer og løsninger som oppstår på byggeplassen, i å spre seg videre til andre (url34). Løsninger som er innovative og som har fungert godt på en byggeplass, kan fort bli glemt til en senere anledning Dette fordi prosjektgruppen varierer for hvert prosjekt, og samarbeidspartnere variere fra et prosjekt til et annet.

Det er imidlertid flere eksisterende trekk i byggebransjen som kan fremme innovasjon. Byggeplassen må til daglig løse hindringer som oppstår, som kan variere fra gang til gang, og fremmer mangfold og innovasjon (url34).

Ordet innovasjon kan tolkes på ulike måter, noe som er tilfellet hvis man beveger seg fra en bransje til en annen. Følgende definisjon er bred, så Skanska bør på et senere tidspunkt vurdere en definisjon som er spissere og mer konkret for sin bransje

«En innovasjon er en betydelig fornyelse av teknologi eller forretningsprosesser for å tjene mer penger.» (url32)

Men hva er egentlig innovasjon? Hver enkelt bedrift har individuelle styrker og svakheter, og det er viktig at bedriften forholder seg til innovasjon tilpasset sin egen hverdag (url32). Det er viktig å jobbe med innovasjonsmål som alle i organisasjonen kjenner seg igjen i. Det finnes mye kompetanse internt i organisasjonen, og kan bidra konstruktivt til utviklingen av organisasjonens innovasjonsmål.

Prosjektene i Skanska som har tatt i bruk Last Planner System™ (LPS) på sine prosjekt har forstått hvor viktig åpent samarbeid er for å oppnå økt produktivitet. De erkjenner hvor mye erfaring og kompetanse som eksisterer blant sine samarbeidspartnere. LPS bygger blant annet på at de ulike fag skal få delta i planleggingsprosessen, at arbeiderne skal føle at de blir hørt, samtidig som de skal forstå hvor viktig én aktivitet er for å oppnå god gjennomføring av den neste. Den fysiske plasseringen av lapper i ved bakoverplanlegging fører til eierskap til aktivitet som vil ha en motiverende effekt. En god innovasjonsledelse er nødvendig for å kunne styre involveringen av de ulike partene i produksjonen. Målet er å kunne (url32):

- Fange opp gode ideer
- Velge de riktige ideene/prosjektene
- Gjennomføre prosjektene effektivt
- Sikre langsiktig lønnsomhet

Den involverende planleggingen tar altså vare på kompetansen som finnes i prosjektet, og bør videre utvikle de gode ideene som skulle oppstå, til faste prosesser slik at alle i Skanska kan dra nytte av det.

Gjennom tidligere pilotprosjekter har Skanska sett at den involverende planleggingen bygger gode team i tillegg til at tilliten mellom deltakerne øker. Tiltak som gir selvstendige og motiverte arbeidere er gunstig for samarbeidet mellom organisasjon og arbeidere, og reduserer faren for opportunistisk adferd (Skaar et al., 2010). LPS blir benyttet i Skanska for å redusere sløsing og forbedre produktiviteten i sine prosjekter. Det er viktig å poengtere at planleggingsmetodikken kun er et system, og at brukerne bak også må være motivert for endring og effektivisering. Skanska har erfart gjennom sine pilotprosjekter at ledelsen tror at LPS er nesten lik den planleggingsmetoden som allerede benyttes (Skaar et al., 2010). Det

viser seg imidlertid at overgangen til LPS er større enn ventet, for det kreves en enorm systematikk og åpenhet mellom partene som er involvert.

Den involverende planleggingen er en dyrere arbeidsform for underentreprenørene (UE). De ulike aktørene ønsker å tjene mest mulig på et prosjekt, og ved bruk av LPS vil det gi en gevinst for det totale prosjektet, men ikke nødvendigvis for den enkelte. Skanska må gjennom trofaste samarbeidspartnere teste ut systemet, for videre fremme den sosiale gevinsten på byggeplassen, slik som bedre planlagt arbeidsdag for arbeiderne, trivsel og eierskap til prosjekt. Dette er en følge av den involverende planleggingen. Involverende planlegging krever imidlertid en høyere deltakelse fra UE-er og Skanska må vurdere samarbeidspartnerens kompetanse innen Lean, eventuelt deres interesse i å jobbe etter Lean-prinsipper. Bruk av LPS bør defineres når kontrakter inngås mellom partene i et prosjekt, og Skanska er helt avhengig av at alle aktørene i prosjektet har et ønske om å forbedre eksisterende rutiner. Er innsatsen lav i et av leddene i produksjonskjeden, vil ikke optimal effekt oppnås.

6.2 Reduksjon av flaskehals ved hjelp av RFID (FS2)

Det er blitt vurdert en implementering av RFID ved materialmottak, terminal- og leverandørstyrt lager, merking av utstyr, inn- og utlogging av soner for fremdriftskontroll og som kommunikasjonsverktøy i kranen på byggeplass. En flaskehals ble tidligere i studiet definert som et punkt eller prosess i produksjonen som har mindre eller lik kapasitet som den etterspørselen som finnes i markedet (Veiseth et al., 2004). Av de overnevnte områdene der en implementering av RFID er aktuell, er det flere punkter som betegnes som flaskehals i en byggeproduksjon.

Tabell 4: RFID og flaskehals

<i>Implementering av RFID</i>	<i>Flaskehals</i>
Materialmottak på byggeplass	Inn- og utkjøring til byggeplass Varelevering Losseplass
Kran	Avlossing biler Flytting av materialer
Lagringsareal	Manglende lagerstyring på byggeplass

Tabellen over indikerer hvilke områder RFID kan være med på å redusere antall flaskehals på byggeplassen. Materialmottaket omhandler all trafikk til byggeplass, varelevering i form av mottaksregistrering og planlegging av losseplass. Det er mulig å unngå flaskehals ved inn- og utkjøring av byggeplass hvis det utføres god planlegging. Ved å ta i bruk terminal reduseres antall lastebilleveringer til byggeplass, i tillegg til at disse leveransene skal ha en leveringspålitelig med +/- 15 minutter. Byggeplassen er dermed klare for mottak, og oppsamling av leveranser ved losseplass unngås. Ved prosjekter uten terminal forekommer det ofte forsinkelser i leveranser. Det gis usikre beskjeder fra leverandør om antatt mottaksdato til byggeplass, gjerne ikke mer detaljert enn hvilken uke varene skal ankomme, og det kan være vanskelig å planlegge når varene skal losses. RFID vil ikke kunne få varene levert mer presist, men ved mottak skannes leveransen og administrator får opp all informasjon, for så å kunne videreføre beskjed til kranføreren når denne leveransen må losses. En leveranse arbeiderne har ventet på må prioriteres fremfor materialer som ikke skal benyttes før om noen dager.

Kranføreren er utstyrt med en skjerm koblet opp mot RFID-systemet, og alle leveranser som mottas og leses av, vil komme opp på kranførerenes skjerm. På større byggeplasser der to eller flere kraner benyttes, vil informasjon om korrekt losseplass kunne legges inn på brikkene, og leses av ved ankomst. På den måten ankommer leveransen på korrekt plass med én gang. Kranen har også mulighet til å flytte på materialer som står på «vent». Hvis kranføreren får et opphold i planlagte aktiviteter kan en bufferaktivitet velges på skjermen, føreren kvitterer for at aktiviteten er satt i gang.

Lagerstyringen blir forbedret ved at RFID brikkene plassert på elementene/materialene kan si noe om når de skal benyttes og i hvilken lokasjon. Velger prosjektet å ta i bruk terminal i tillegg skal materialene som ankommer byggeplassen benyttes i løpet av en uke, slik at lageret holdes på et minimalt nivå.

Skanska må kartlegge alle mulige flaskehalsene på hvert prosjekt. De samme flaskehalsene vil ofte prege ulike byggeprosjekter, men hvilken innvirkning de har vil variere. Det kan være at noen av aktivitetene kan utføres på annen måte, slik at en ikke-flaskehals kan benyttes fremfor flaskehalsen, eller en annen arbeider kan ta på seg aktiviteten. Det er viktig at alt utstyr er til stede før gjennomføring, slik at unødvendig sløsing av tid unngås. Flaskehalsene

må utnyttes så effektivt som overhode mulig, da det er disse aktivitetene som styrer hele kjeden.

6.3 Forutsigbarhet ved hjelp av soneplanlegging og Line-of-Balance (skråstrekkplanlegging) (FS3)

Skanska har ennå ikke utført noen pilotprosjekter der skråstrekkplanlegging har vært aktuell. I Skanska Finland er skråstrekkplanleggingen en del av Last Planner System™ (LPS), men for Skanska Norge er det ennå ikke benyttet ressurser til å implementere skråstrekkplanleggingen. Prosjektgruppen i tidligere piloter har brukt mye tid og arbeid på å implementere LPS og den involverende planleggingen. Skråstrekkplanleggingen krever en mye mer detaljert styring i soner fordi alle aktivitetene skal splittes opp i linjer som skal fordeles over en tidsakse, slik som i gantt, men også en romakse. Romaksen viser hvilke soner aktiviteten skal utføres i. Dette gjør at brukeren enkelt kan lese ut i hvilken sone aktiviteten skal foregå og på hvilket tidspunkt (Skaar et al., 2010).

Fordi skråstrekkplanlegging har en geografisk plassering av aktivitetene kan planen virke noe rotete hvis det er mange aktiviteter som ikke har noen grafisk plassering, altså aktiviteter som skal utføres, men ikke i en bestemt sone. Skal det styres aktiviteter i et geografisk område er en optimal rom- og ressursbruk helt avgjørende. En fremstilling av arbeidsflyt gjennom skråstrekkdiagrammet vil kunne vise hvor det er god tid mellom aktiviteter, og hvor aktiviteter kolliderer. Den vil også kunne vise hvis en arbeidsaktivitet blir oppstykket, eller om Skanska kan forbedre ressursbruken mellom de ulike aktivitetene (Skaar et al., 2010).

Skråstrekkplanlegging vil kunne gi bedre forutsigbarhet i form av en bedre visuell fremstilling som ikke kan oppnås ved hjelp av gantt. Kollisjoner, lav utnyttelse av ressurser eller behov for buffere kan lettere oppdages, og tiltak kan settes inn i en tidligere fase av prosjektet. Fordelene skråstrekkplanleggingen gir må vurderes opp mot ressursene som benyttes ved anvendelse av planleggingsmetoden. Det kan være at annen plassering av ressurser vil kunne gi Skanska tilsvarende informasjon og sikkerhet som skråstrekkplanleggingen gir. Er en annen løsning enklere å tilpasse produksjonen bør dette vurderes.

6.4 S-LOG i andre deler av bygg- og anleggsnæringen (FS4)

På lengere sikt bør det vurderes om en implementering av S-LOG og RFID kan benyttes i andre deler av BA-næringen. Ideen om S-LOG eies fortsatt av Skanska, men hele næringen

beveger seg mot innovative løsninger for å forbedre flyt i produksjonen. Verktøyet er fortsatt under testing, så hvilke deler av verktøyet som vil fungere best er fortsatt vanskelig å uttale seg om.

Det bør utføres gode pilotprosjekter med detaljerte rapporter slik at en videre implementering kan gjennomføres lettere. Er det startproblemer i et prosjekt skal dette forbedres, og det skal ikke være nødvendig at dette skjer i flere prosjekter. Det å lære av hverandres feil, og det å kunne dele erfaringer på tvers av ulike prosjekt og fag er et av hovedargumentene for innsamling og deling av informasjon. Skepsisen internt vil også kunne håndteres lettere ved å vise til prosjekter der verktøyet har hatt stor suksess.

6.5 Hovedproblemstilling

Vil RFID-teknologi i samsvar med logistikkverktøyet S-LOG forbedre logistikkflyt og produktivitet på byggeplass?

Jeg ønsker først å repetere de syv formene for sløsing som defineres innenfor Lean-teorien:

- *Transport*
- *Lager*
- *Bevegelse*
- *Venting*
- *Over prosessering*
- *Overproduksjon*
- *Defekte varer/omgjøring av aktiviteter*

De fem prinsippene⁷ innenfor Lean Thinking skal fungere som motgift for en reduksjon av innsatsfaktorer i produksjon, som igjen fører til en reduksjon av virksomhetens kostnader. Hvis RFID-teknologien skal gi Skanska noen produksjonsmessige fordeler må teknologien kunne føre til en reduksjon i sløsing av ressurser eller innhenting av informasjon som videre kan forbedre produksjonen.

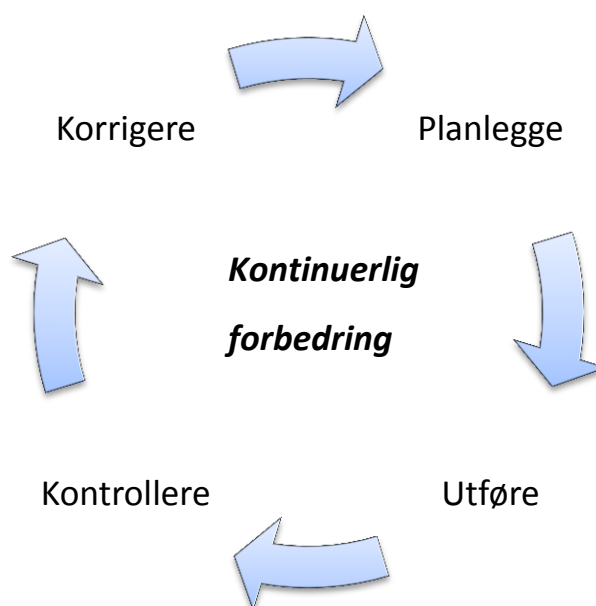
S-LOG har som hovedoppgave å planlegge og styre beslutninger som tas i forhold til logistikk på byggeplass. Verktøyet viser seg også å styrke den involverende planleggingen der

⁷ Spesifisere verdi, identifisere verdistrøm, flyt, pull-produksjon og oppnå perfeksjon.

informasjonen på tvers av fagene kan samles inn, og føre til en kontinuerlig forbedring av de ulike prosessene i byggeproduksjonen.

Byggebransjen ser på sine prosjekter som unike, og sier selv at det er vanskelig å standardisere produksjon som ikke er lik hver gang. Jeg forstår måten å vurdere en byggeproduksjon, men mener selv at det ikke nødvendigvis er riktig å tolke en byggeproduksjon som unik. Selv om bygget har ulik konstruksjon for hvert prosjekt, er aktivitetene som støp av betong, lukking av bygg og mottak av varer den samme hver gang. Det kan være vanskelig å standardisere størrelse, tidsbruk eller kombinasjonen mellom dem, men det er mulig å finne frem til en standardisert metode for varemottak og kommunikasjonen mellom arbeiderer. Det skal være mulig å lage standardiserte rutiner for *gjennomføringen* av aktiviteter slik at det er mulig å tilnærme seg Lean. Med standarder er det lettere å måle avvik, for så videre å kunne finne frem til metoder for å unngå avvikene.

Kontinuerlig forbedring er nøkkelordene innenfor Lean. Slutter en virksomhet å fokusere på fremtidig forbedring, slutter virksomheten samtidig å «tenke» Lean.



Figur 34: Faser for å oppnå kontinuerlig forbedring.

Skanska benytter et planleggingsverktøy for å finne fremdriftsplan, for så å utføre aktivitetene etter oppsatt plan. Etter aktivitetsgjennomføring foretas det en vurdering om aktivitetene ble utført optimalt. 5 x hvorfor (5 Why's) utføres for de aktivitetene som umiddelbart anses som for dårlig gjennomført, slik som store forsinkelser eller andre

tydelige mangler. Det kan imidlertid være vanskelig å oppdage små forsinkelser eller feil som har oppstått når prosjektet er ferdigstilt. Blir det ikke rapportert inn vil det være umulig for den enkelte å huske alle avvik i etterkant. Det er her fordelene av RFID og S-LOG kommer inn.

Det vil være mulig å hente opp informasjon om alle de elektroniske overføringene som har foregått mellom RFID-brikker, lesere og resten av systemet. Det er ønskelig for Skanska (NPU) at informasjonen kobles opp mot fremdriftsplaner, bestillingslister, lagerstyring osv., som finnes i S-LOG. På den måten vil alle rapporter og data som skulle være interessant i fremtiden enkelt kunne kobles opp mot hverandre for korrekt fremstilling av virkeligheten.

Det er viktig å poengtere at en implementering av både RFID og S-LOG krever brukervennlige systemer, men også en motivert ledelse internt i Skanska. Motiverte ansatte som klarer å videreføre fordelene systemet gir den enkelte, er helt avgjørende. Ikke alle innehar evnen til å motivere menneskene rundt seg, men det er mulig å unngå og *demotivere*. Det må vises tillitt mellom den utførende part og ledelsen. Den involverende planleggingen med hjelp i bakoverplanleggingen gir arbeiderne eierskap til sine aktiviteter, men hvis dette skal fungere optimalt er det viktig at Skanska viser tillitt til at arbeiderne kan ta faglige beslutninger i forhold til sitt arbeid. Demotivasjon vil oppstå hvis ledelsen på byggeplassen er belærende eller mer påpasselige enn nødvendig.

For å holde motivasjonen oppe må både S-LOGs SMARTboard™ og RFID-systemet være enkelt og forstå, og må kunne håndteres av alle på byggeplassen. Blir teknologien for avansert vil det gjøre aktivitetene mer kompliserte enn å forenkle prosessen, som er poenget med teknologien i første omgang. Det er viktig å bli kvitt barnesykdommer tidlig, slik at brukerne kan bygge opp tillit til systemet. Konstant testing og forbedring er avgjørende i implementeringsfasen av S-LOG.

Alle avlesninger og informasjonsdelinger må utføres korrekt. Hvis det oppstår feil i prosedyrer eller registreringer vil dette kunne gi «kunstige» avvik i planer eller forsinkelser i påfølgende aktiviteter. Se at en arbeider glemmer å logge seg inn i en sone der aktiviteten skal settes i gang. Dette fører til at den elektroniske planen ikke får beskjed om oppstart av aktivitet, og regner med at en forsinkelse har oppstått. Det settes i gang ressurser for å unngå forsinkelser, en ressursbruk som i virkeligheten ikke er nødvendig siden aktiviteten faktisk er påbegynt. Det er en fare for at brukerne stoler for mye på teknologien, men fordi

teknologi kan svikte må Skanska ivareta den manuelle kontrollen som eksisterte før systemet ble implementert.

Brukervennlighet er et nøkkelord som Skanska må ivareta gjennom hele prosessen. Ny teknologi er irrelevant hvis ingen av deltakerne vet hvordan den skal benyttes. Et byggeprosjekt består av deltakere med ulikt utgangspunkt for forståelse av ny teknologi. Byggebransjen er kjent for å være tradisjonell og skeptisk til vesentlige endringer av rutiner. Brukerne av S-LOG må forstå hvorfor et nytt system implementeres. Det er Skanskas ansvar å formidle hvorfor en systemendring er ønskelig. Kritiske tilbakemeldinger bør vurderes nøye. Brukerne vil kunne oppdage systemfeil eller ugunstige løsninger som kanskje prosjektledelsen ikke legger merke til. Arbeiderne kjenner sitt eget fag bedre enn noen andre og kan ha løsninger på problemer som kan være vanskelig for utviklere å oppdage eller finne svar på.

Det er naturlig å spørre seg om en implementering av RFID-teknologi vil fungere i dag, når utviklingen i byggebransjen går så sent. Mange andre bransjer har tatt i bruk teknologien, og det finnes ingen naturlig årsak til at byggebransjen skal ha lavere innovasjon enn resten av industrien. Pris, intern skepsis, tekniske utfordringer eller en kombinasjon av de nevnte har vært med på å stanse utviklingen og bruken av RFID innenfor byggebransjen. Bransjen er preget av lange tradisjoner, og nevnes som en av hovedgrunnene for motstand i mine samtaler med Skanska. Tradisjoner vil alltid være med å prege vår oppfatning av situasjoner, men det betyr nødvendigvis ikke at det vi kjenner til er den beste løsningen. Det eksisterer en redsel for ikke lenger å være tilstrekkelig i de aktiviteter/situasjoner vi er kjent med og vet hvordan skal løses. Enhver virksomhet er avhengig av kompetansen og kunnskapen internt i bedriften, så ny teknologi skal ikke erstatte denne, men utnytte den på en enda bedre måte.

I Skanska vil den største gevinsten av å ta i bruk RFID være teknologiens evne til å samle inn informasjon. I vareproduksjon er en kostnadsvurdering for en teknologiimplementering relativt enkelt å utføre. Produksjonskostnad trekkes fra salgpris som gir et gitt overskudd. Dette gir en god indikasjon på hvor mye teknologien kan koste per enhet før en produsent velger å avstå fra implementeringen. Gevinsten av forbedret informasjonsstrømmer kan ikke fastsettes like lett i byggeproduksjon, som i tradisjonell produktproduksjon der kostnader og inntekter per enhet er definert. Alle investeringer som gjøres hos en produsent bør gi en

gevinst eller avkastning, eventuelt økt trivsel hos de ansatte eller bedre kundeservice. Investeringer som ikke har noen gevinst for virksomheten totalt sett skal unngås, og byggebransjen har nok tidligere sett på RFID som en slik kostnad. Fokuset på informasjonsflyt på tvers av fag, involverende planlegging og effektivisering av arbeidsprosesser har for mange først kommet i fokus de siste årene. Flere RFID-produkter er nå på markedet, og kostnadene for brikkene har sunket betraktelig de siste årene (url38).

Skanska er avhengig av at alle sine samarbeidspartnere tar del i implementeringen av ny teknologi. Noen av Skanskas leverandører har allerede lagt opp til en systemendring, og venter bare på startsignal fra sine kunder, mens andre mener at implementeringen av et slikt system (RFID, korrekt pakking av leveranser osv.) er for kostbart i forhold til deres gevinst. Leverandører der Skanska er en stor kunde må finne en løsning for at Skanska skal være trofast i fremtiden. Skanska må vurdere om det vil være aktuelt å gi viktige leverandør litt tid til å investere i teknologien. Leverandører som Skanska benytter sjeldnere, og er mindre avhengig av, bør vurderes byttet ut hvis de mangler nødvendig teknologi. I en overgangsfase blir det plassert ut etikettmaskiner i terminal, men i fremtiden skal alle leveranser være merket korrekt med RFID-brikker. Skanska ønsker å samarbeide med sine leverandører for en automatisering av

- Varebestilling
- Ordrebekreftelse
- Leveringsbekreftelse
- Merking av enkeltelementer
- Merking av kasser
- Merking av helpaller
- Merking av samlepaller
- Transportmerking

(Skanska, 2011a)

Det må foretas en analyse av hvilke driftskostnader som oppstår ved å investere i S-LOG og et RFID-system. Det er nødvendig å overvåke systemet, og i en overgangsperiode er det også nødvendig med opplæring rundt de ulike teknikkene, slik som bruken av RFID-leseren og SMARTboardet. Skanska benytter seg av ulike samarbeidspartnere i ulike prosjekt, så det vil



alltid være noen som ikke kjenner til Skanskas rutiner. Benytter Skanska seg av egne arbeidere vil de kjenne til systemet, og opplæring vil ikke være nødvendig.

7.0 Konklusjon

Ved å ta i bruk RFID-teknologi i samsvar med det nyutviklede logistikkverktøyet S-LOG er målet å optimalisere flyt og produktivitet på Skanskas byggeplasser. Dette vurderes gjort gjennom bedre informasjonsdeling, sikrere planlegging, mer effektive logistikkprosesser og implementering i ny teknologi.

Informasjon er en enorm ressurs for produserende virksomheter. For optimal produksjon må virksomheter lære av tidligere erfaringer, som videre må settes inn i nye systemer/prosesser for å oppnå effektivisert produksjon. Byggebransjen mangler innsikt og forståelsen av hvordan produksjonen kan effektiviseres ved hjelp av informasjonsdeling og faste rutiner. Mye av grunnen er manglende forskning, men også at bransjen er preget av tradisjoner bransjen selv mener må ivaretas. Byggebransjen er ikke lenger det den engang var. Konkurransen fra resten av verden, økt fokus på energibesparende løsninger og en økning i norske standarder fører til økte byggekostnader for hvert prosjekt. I et slikt marked vil gevinsten til den enkelte entreprenør reduseres hvis det ikke utføres strategiske endringer. Bransjen må tilpasse seg en ny tid med nye teknologiske og innovative løsninger.

En kost/nytte-analyse er vanskelig å foreta for Skanskas aktiviteter i dag. Mangelen på informasjon og forståelsen for hvordan ulike valg og hendelsesforløp påvirker prosjektets totale prosjektkostnader, gjør det nesten umulig å vurdere kostnader opp mot nytteverdi i produksjon.

- Hva koster egentlig en forsinkelse?
- Hvilken fordeling av ressurser gjør totalkostnaden lavere?
- Hvilket produksjonsmønster er egentlig den mest effektive, ikke kun i forhold til tid, men også kostnader?

Dette er alle spørsmål som ikke kan besvares uten informasjon og data, og det er denne «informasjonsinnhentingen» S-LOG i samsvar med RFID kan gi Skanska. RFID vil gi oversikt over materiell, fremdrift og produksjon. Etter avsluttet prosjekt eksisterer det data på alle leveranser, mottak og i hvilke soner/lokasjoner forsinkelser har oppstått. Dette gir et mye bedre grunnlag for en prosjektrapport som bygger på virkeligheten, fremfor en virkelighet tolket på ulike vis.

Ved å lage en database med virkelige registreringer fra tidligere prosjekter kan fremtidige prosjekt bygge sine prosjektkalkyler på annen informasjon enn antakelser og sannsynlige beregninger. I tillegg vil effektive løsninger som benyttes i ett prosjekt, lett kunne bli overført til et annet, selv om prosjektledelsen består av andre deltakere. Disse teknologiske verktøyene vil kunne ta vare på de «lure» løsningene, og forkaste løsninger som bidro til liten flyt og dårlig produktivitet. Informasjonsdeling på tvers av fag er i dag vanskelig og er kanskje byggebransjens beste mulighet for å oppnå en optimalisering av sine prosesser og løsninger.

Til slutt er det viktig å poengtere at forbedring av produktivitet ikke bare handler om forbedring av arbeidsprosesser, strategisk planlegging, forbedret styringsmodeller eller nye evalueringsmål. Det handler også om kompetanseutvikling, motivasjon og organisasjonsutvikling. Det er menneskene i systemet, altså brukerne, som avgjør hva implementert teknologi kan gjøre for Skanska. Det er viktig å forstå sin egen rolle og hvordan S-LOG kan være til nytte for hver enkelt. Verdens teknologiutvikling går raskere enn noen gang, noe som er til fordel for Skanska. Smarttelefoner fra for eksempel HTC og Iphone, gjør at en normalt teknologiinteressert bruker i dag vil kunne mer om trådløs teknologi enn for bare 5 år siden. Dette kan være med på å redusere skepsisen for nye systemer og frykten for ikke lenger å være nødvendig på byggeplassen.

Skanska må vise deltakerne hvilken rolle de spiller i den store sammenhengen, og hvorfor akkurat deres ytelser vil fremme hele prosjektet. Motivasjonsfaktorene vil variere mellom ulike aktører, men ønske om å utvikle seg som menneske og å se at akkurat ditt eget arbeid betyr noe finnes inni oss alle. Det er lysten om å kunne yte enda bedre Skanska må bringe frem for å kunne oppnå optimal produktivetsforbedring.

8.0 Videre arbeid

Det foreslås å fortsette utviklingen av S-LOG og egnet RFID-system. S-LOG blir for tiden testet ut i pilotprosjekter, og rapporter bør utvikles underveis. Mens dette foregår må innovative løsninger legges frem for resten av konsernet. Arbeidet rundt flyt og produktivitet er viktig for hele Skanska, men det er fortsatt ildsjeler internt som fremmer de innovative løsningene. Som jeg har nevnt tidligere kan Last Planner System™ for mange virke svært lik dagens planleggingsmetoder. En oppfatning som tydelig endres for de prosjektene som tar i bruk metoden. Det er viktig å fremme de fordeler en innovativ byggeproduksjon gir, ikke bare kostnadmessig, men også for den enkelte deltaker.

Det må utføres videre tester på RFID innen byggebransjen. Teknologien har en enorm nytteverdi, men uten forskning og pilotprosjekter er det få som tør å investere i systemene. S-LOG er fremdeles et konfidensielt verktøy, og det er kun Skanska som har informasjon og tilgang til testing. De må vurdere i hvilken grad konkurrenter kan gjøre verktøyet bedre, eller om dette kun vil redusere Skanskas konkurransefortrinn.

Skanska er et stort konsern, noe som gjør at det er ulike meninger om hvilke løsninger det vil være fordelaktig å investere i. Det vil være gunstig å fremme en god analyse internt på nåværende tidspunkt slik at alle sidene ved en implementering er kjent. Dette vil gjøre en implementeringsprosess lettere, fordi eventuell motstand internt og kritikk er håndtert i en tidligere fase.

9.0 Referanseliste

- ACT/SKANSKA 2011. Samlet dokumentasjon og rapporter angående S-LOG. Konfidensielt. Oslo.
- ALBRIKTSEN, R. O. 1989. Produktivitet i byggebransjen: Forskjeller i produktivitet, teori, metode, analyser, forklaringer. Oslo: Norges byggforskningsinstitutt.
- ATKINS, W. S. 1994. Strategies for the European Construction Sector. Brussels: Office for Official Publications of the European Communities.
- BALLARD, G. 1997. *Lookahead Planning: the Missing Link in Production Control*, University of California at Berkeley.
- BALLARD, G. 1999. Can Pull Techniques Be Used In Design Management? Helsinki, Finland.
- BALLARD, H. G. 2000. *The Last Planner System of Production Control*, Birmingham.
- BERTELSEN, S. 2003. *Louise – En beretning om trimmet byggeri*, Aalborg, Holbæk Amts Bogtrykkeri AS.
- EIKELAND, E. 2009. Skråstreksplanlegging vs Gantt-planlegging for koordinering av flyten i byggverdikjeder. Universitetet i Agder.
- EIKELAND, L., EKBERG, B. E. & HANSEN, R. 2010. *Studie av optimal fly mellom ulike fag i byggebransjen*, Grimstad, Unversitetet i Agder.
- ERABUILD 2006. RFID in Construction.
- ESPELIEN, A. & REVE, T. 2007. Hva skal vi leve av i fremtiden? En verdiskapende bygg-, anlegg og eiendomsnæring,. Handelshøyskolen BI.
- FRI 1993. Synergier og barrierer i byggeriet – på sporet af den tabte produktivitet. København: Foreningen af Rådgivende Ingeniører.
- GAO, J. & FISCHER, M. 2008. *Framework & Case Studies Comparing Implementations & Impacts of 3D/4D Modeling Across Prosjects*, CIFE: Center for Intergrated Facility Engineering.
- GROVER, D. 2002. Graphical Project Planning Techniques: An Overview of Gantt, PERT, and CPM Charts.
- HJELSETH, E. 2011. *RE: Personlig meddelelse*.
- JENSEN, S. 29.07.2011. *RE: Personlig meddelelse*.
- KJÆRÅS, O. I. 2008. Forbedret Logistikk Gjennom Utnyttelse av Radiobølger og Brikker. Trondheim: NTNU; Masteroppgave i Organisasjon og Ledelse.
- KOLLTVEIT, B. J., REVE, T. & LEREIM, J. 2009. *Prosjekt: strategi, organisering, ledelse og gjennomføring*, Oslo, Universitetsforlaget.
- KOSKELA, L. 2000. *An exploration towards a production theory and its application to construction*, Technical research centre of Finland.
- MIKALSEN, B.-E. 2007. *Slik motiveres ansatte - uten penger* [Online]. Dagens Næringsliv. Available: <http://www.dn.no/karriere/article1188069.ece> [Accessed 30.07.2011].
- OHNO, T. 1988. *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*, Productivity Press.
- OLF 2010a. Deployment of Radio Frequency Identification (RFID) in the oil and gas industry: Part 1 - General principles for deployment. Sandnes.
- OLF 2010b. Deployment of Radio Frequency Identification (RFID) in the oil and gas industry: Part 3 - RFID Technology. Sandnes.

- PERSSON, G. & SOLBERG, M. 1994. *Tidsbaserte konkurransestrategier som virkemiddel for økt internasjonalisering av norsk bygge- og anleggsnæring*, Oslo, Handelshøyskolen BI.
- SAMSET, K. 2008. *Prosjekt i tidligfasen: Valg av konsept*, Trondheim, Tapir Akademiske forlag.
- SEPPÄNEN, O. 2008. *Location conflicts cause productivity loss*.
- SEPPÄNEN, O. 2009. *Empirical research on the success of production control in building construction projects*, Helsinki, Helsinki University of Technology, TKK Structural Engineering and Building Technology Dissertations.
- SKAAR, J. 11.04.2011. Personlig meddelelse. Kristiansand.
- SKAAR, J., THORSTENSEN, R. T. & KALSAAS, B. T. 2010. Sluttrapport: System og resultater fra utprøving av planleggingsmetoden "Last Planner" (Lean Construction) på Havlimyra oppvekstsenter i Kristiansand kommune. Grimstad: Skanska.
- SKANSKA. Available: <http://skanska.no/no/Om-Skanska/Skanskas-historie/> [Accessed 02.05.2011].
- SKANSKA 2011a. Informasjon til Skanskas leverandører. Oslo.
- SKANSKA 2011b. *Logistikkhåndbok*, Oslo, Skanska, NPU Logistics.
- SLACK, N., CHAMBERS, S. & JOHNSTON, R. 2007. *Operations Management*, London, Pitman Publishing.
- TEKNOLOGIRÅDET 2007. Sikkerhet og personvern - Oversikt over sikkerhetsteknologier. Oslo.
- TRANCHARD, S. 2010. RFID standards; A diversity of applications. *ISO Focus+*, Volume 1.
- TURNER, J. R. 2009. *The Handbook of Project Based Management: leading strategic change in organizations*, McGraw-Hill Professional.
- URL1. *Line-of-Balance* [Online]. CPM tutor. Available: <http://www.cpm-tutor.com/c02/lineofbalance.html> [Accessed 24.05.2011].
- URL4. *SMART Boards* [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Smart_Board [Accessed 29.06.2011].
- URL5. *Logistikk* [Online]. Wikipedia. Available: <http://no.wikipedia.org/wiki/Logistikk> [Accessed 08.07.2011].
- URL6. *Brikke, skriver og PDA* [Online]. Available: <http://www.labelneeds.co.uk/RFID-systems.php> [Accessed 22.07.2011].
- URL7. *PDA* [Online]. Available: <http://no.wikipedia.org/wiki/PDA> [Accessed 22.07.2011].
- URL8. *Strekoder* [Online]. GS1 Norge. Available: <http://www.gs1.no/strekoder/> [Accessed 22.07.2011].
- URL9. *RFID vs Strekkoder* [Online]. Atlas RFID. Available: <http://www.atlasrfid.com/Technology/RFIDvsBarcode.aspx> [Accessed 24.07.2011].
- URL10. *Electronic Data Interchange* [Online]. Wikipedia. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_Data_Interchange [Accessed 24.07.2011].
- URL11. *VMI* [Online]. Wikipedia. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Vendor-managed_inventory [Accessed 25.07.2011].
- URL12. *Planlegging- og riggplan på byggeplass* [Online]. Arbeidstilsynet. Available: <http://www.regelhjelp.no/no/Etatenes-sider/Arbeidstilsynet/Emner/Planlegging-og-riggplan-av-byggeplassen/> [Accessed 25.07.2011].
- URL14. *RFID-brikke* [Online]. Available: <http://www.satoamerica.com/cms/Barcode%2FRFID+Labels+%26+Tags/587.html> [Accessed 31.07.2011].

- URL15. *RFID-system* [Online]. Available: <http://www.polygait.calpoly.edu/tutorial.htm> [Accessed 31.07.2011].
- URL16. *SSCC* [Online]. GS1. Available: <http://www.gs1.no/sscc/> [Accessed 31.07.2011].
- URL18. *superDAGFINN* [Online]. ACT-gruppen. Available: <http://act-gruppen.com/nor/Systemloesninger> [Accessed 04.08.2011].
- URL22. *Building Information Modeling* [Online]. Wikipedia. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Building_Information_Modeling [Accessed 15.08.2011].
- URL23. *Real-time Locating System* [Online]. Wikipedia. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Real-time_locating_system [Accessed 15.08.2011].
- URL24. *Produktivitet og prosjektledelse* [Online]. SINTEF Teknologi og samfunn, Produktivitet og prosjektledelse. Available: <http://www.prestasjonsledelse.net/> [Accessed 31.08.2011].
- URL26. *Begreper* [Online]. Available: <http://informasjonsforvaltning.no/begreper/suboptimalisering/> [Accessed 01.09.2011].
- URL27. *Årsaksanalyse* [Online]. MainTeck. Available: <http://www.maintech.no/maintech/entrypage.aspx?t=%C3%85rsaksanalyse+rca&containerid=10148&parentid=10081&objectid=10175&guid=1&lnodeid=7&pageid=5003> [Accessed 05.09.2011].
- URL28. *5 Why's* [Online]. Karn G. Bulsuk. Available: <http://blog.bulsuk.com/2009/07/5-why-analysis-using-table.html#axzz1X40EU2eb> [Accessed 05.09.2011].
- URL29. 2007. *Statens veivesen holder tilbake viktig AutoPASS-informasjon*. [Online]. Datatilsynet. Available: http://www.datatilsynet.no/templates/article_1728.aspx [Accessed 29.09.2011].
- URL31. *Hvorfor HMS?* [Online]. Hokksund: HMStips.no. Available: <http://www.hmstips.no/emner.asp?id=237> [Accessed 13.10.2011].
- URL32. *Prinsipper for en innovasjonsleder* [Online]. Create Innovation AS. Available: <http://innovasjonsleder.no/prinsipper/> [Accessed 19.10.2011].
- URL34. *Åpent samarbeid gir innovative bedrifter* [Online]. Magma. Available: <http://www.magma.no/aapent-samarbeid-gir-innovative-bedrifter> [Accessed 19.10.2011].
- URL35. *Work Breakdown Structure* [Online]. Wikipedia. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Work_breakdown_structure [Accessed 25.10.2011].
- URL36. *RFID readers* [Online]. Barcoding. Available: <http://blog.barcoding.com/wp-content/uploads/2008/07/intermec-rfid.jpg> [Accessed 26.10.2011].
- URL37. *SmartBoard* [Online]. Available: <http://tayfunyildiz.com/akilli-tahta-smartboard/> [Accessed 26.10.2011].
- URL38. *RFID-brikker faller raskt i pris* [Online]. digi.no - IT-bransjens nettavis. Available: <http://www.digi.no/266115/rfid-brikker-faller-raskt-i-pris> [Accessed 28.10.2011].
- VEISETH, M., RØSTAD, C. C., ANDERSEN, B., TORP, O. & AUSTENG, K. 2004. *Produktivitet og logistikk i bygg- og anleggsbransjen*, Trondheim, SINTEF Teknologiledelse.
- WETHELUND, H. 2011. *Praktisk planlegging av betongproduksjon*. , Ås, Masteroppgave ved Universitetet for miljø- og biovitenskap.
- WINTERSTAD, O. A. 30.05.2011. *RE: Personlig meddelelse*.
- WOMACK, J. P. & JONES, D. T. 2003. *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*, New York, Simon & Schuster UK.



ØRSTAVIK, F., BUGGE, M. & PEDERSEN, T. E. 2003. *Bare plankekjøring? Utvikling av en overordnet innovasjonsstrategi i BAE-næringen* [Online]. Oslo: STEP – Centre for Innovative Research. Available: <http://www.step.no/reports/Y2003/2103.pdf> [Accessed 20.05.2011].

Vedlegg 1

Forkortelser

BAS	Ledere av arbeidslag
EDI	Electronic Data Interchange
ERP	Enterprise Resource Planning
MRP	Material requirements planning
LBS	Location-Based Scheduling
LoB	Line-of-Balance; grafisk planleggingsmetode som viser korrekt tidsbruk og sammenhenger mellom aktiviteter.
LC	Lean Construction; slank produksjon tilpasset byggenæringen
LPS	The Last Planner System er utviklet for å forbedre planene i byggeprosjekter samt gjøre planleggingen mer korrekt og sikker.
LPDS	Lean Project Delivery System er Lean Construction satt i system. Systemet gir struktur til en byggeprosess slik at prosjektet blir levert etter kundens krav.
PDA	Personlig Digital Assistent
PPU	Prosent Planlagt Utført, viser til hvor mange av de planlagte aktivitetene som faktisk ble utført i virkeligheten.
TFV	Koskelas nye teoretiske perspektiv, som ser transformasjonsprosessene i et flyt-perspektiv.
TPS	Toyota Production System: Benyttet i japansk bilindustri for effektiv produksjon.
UE	Underentreprenør
VMI	Vendor-managed Inventor



Definisjoner

Stasjonær industri Produksjon som utføres på en fast lokasjon, slik som i en fabrikk.