

Taktplanlegging og -gjennomføring ved Moholt 50|50

Case-studie

Mats Erik Vatne

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: juni 2016

Hovedveileder: Frode Olav Drevland, BAT

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



Oppgavens tittel: Taktplanlegging og -gjennomføring ved Moholt 50 50: Case-studie	Dato: 16.06.15		
	Antall sider (inkl. bilag): 85		
	Masteroppgave	x	Prosjektoppgave
Navn: Mats Erik Vatne			
Faglærer/veileder: Frode Drevland			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/veiledere: Ole Morten Skaret			

Ekstrakt:

Det har de siste årene blitt diskutert den negative utviklingen av produktivitet i byggebransjen. Et verktøy som har blitt tatt i bruk for å endre dette er taktplanlegging. Dette er et verktøy for produksjonsplanlegging som har blitt vist å redusere gjennomføringstid og -kostnader ved å optimalisere arbeidspakker og produksjonsrate. Veidekke Entreprenør i Trondheim har tidligere gjennomført to prosjekter med denne planleggingsmetoden. Disse har blitt evaluert og erfaringer har blitt dokumentert. De er nå i gang med sitt tredje prosjekt som benytter metoden; Moholt 50|50.

Tidligere studier av taktplanlegging har indikert at det både fordeler og ulemper med å benytte taktplanlegging, og det positive bidraget man har forventet av metoden har hatt en begrenset effekt. Formålet med denne oppgaven er å undersøke om erfaringer fra tidligere prosjekt har bidratt til å forbedre anvendelsen de nå benytter ved Moholt 50|50. Problemstillingen for oppgaven er: «Er taktplanleggingen ved Moholt 50|50 gjennomført i tråd med etablert teori og har den noen likheter med gjennomføringen av andre prosjekter? Har bruken av taktplanlegging bidratt positivt eller negativt til gjennomføringen av prosjektet?»

Prosjektet og taktplanen blir evaluert ved å undersøke aktuell teori, metoder og casestudier og sammenligne det mot informasjon om Moholt 50|50 hentet gjennom kvalitative metoder og en gjennomgang av prosjektdata gjort tilgjengelig gjennom samarbeidet med bedriften. Deler av teorigrunnlaget ble lagt gjennom prosjektoppgaven, og denne oppgaven bygger videre på det som der ble vurdert som state-of-the-art.

Opgaven konkluderer med at erfaringene fra tidligere prosjekter har blitt tatt til god nytte og taktplanen ved Moholt 50|50 har bidratt positivt til prosjektet. Det er likevel ikke oppnådd den fulle effekten man forventer ved å benytte taktplanlegging, men det har blitt identifisert årsaker til hvorfor dette er tilfellet. Det legges frem en rekke forslag til forbedringer for fremtidig bruk, samtidig som det foreslås hvordan man kan jobbe videre med vurderinger av taktplanlegging.

Stikkord:

1. Taktplanlegging
2. Produksjonsplanlegging
3. Case-studie
4. Lean Construction

Mats Erik Vatne

(sign.)

Forord

Denne masteroppgaven ble skrevet våren 2016 ved Institutt for bygg, anlegg og transport (BAT) under Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi (IVT) ved NTNU. Oppgaven tilsvarer 30 studiepoeng og er avsluttende oppgave for studiet Bygg- og miljøteknikk med hovedprofil innen prosjektledelse i bygg og anlegg.

Oppgaven er skrevet i samarbeid med Veidekke Entreprenør og er en casestudie av et av deres prosjekt. Veileder ved instituttet har vært Frode Drevland og ekstern veileder fra Veidekke har vært Ole Morten Skaret. Den består av denne oppgaven i tillegg til en artikkel skrevet i forbindelse med årets IGLC-konferanse.

Problemstillingen ble foreslått av veileder ved Veidekke og utarbeidet i samarbeid med veileder fra instituttet. Temaet er taktplanlegging av byggeprosjekter som er en metode for produksjonsplanlegging. Oppgaven ser på hvordan det har blitt gjennomført ved caseprosjektet i forhold til teori og andre casestudier.

Bakgrunnen for oppgaven er et ønske om å forbedre metoden man benytter for taktplanlegging. Denne metoden for produksjonsplanlegging har liten utbredelse, men med potensiale for økt produktivitet og redusert gjennomføringstid og -kostnad er det flere insentiver for å benytte seg av den. Veidekke er nå på sitt tredje prosjekt med taktplanlegging, Moholt 50/50. Tidligere anvendelser har blitt studert i forbindelse med masteroppgaver og erfaringer herfra har blitt tatt i bruk. Det er derfor av interesse å undersøke om de nå har forbedret seg på de punktene de tidligere hadde problemer med.

Jeg ønsker å takke veileder fra instituttet, Frode Drevland, for veiledning underveis både i forbindelse med artikkelen og masteroppgaven. Det rettes en takk til veileder hos Veidekke også, Ole Morten Skaret, for bidrag med erfaringer og opplysninger om caseprosjektet. En takk går også til øvrige jeg har intervjuet som har velvillig tatt seg tid i en hektisk arbeidsdag for å bidra med sine erfaringer og meninger.

Trondheim, 16.06.15



Mats Erik Vatne

Sammendrag

Bakgrunn: Taktplanlegging er en metode for produksjonsplanlegging som har potensiale til å forbedre produktivitet over de tradisjonelle metodene man benytter. Det er begrenset med dokumenterte erfaringer av anvendelse av metoden, og de erfaringer som er gjort indikerer at selv om det er et stort potensiale har man ennå ikke klart å oppnå den fulle effekten.

Problemstilling: Formålet med denne oppgaven er å identifisere de ulike fordelene og ulempene man støter på ved praktisk anvendelse av taktplanlegging. Ved å undersøke prosjekter som benytter seg av metoden kan man oppnå et sammenligningsgrunnlag som fremtidige anvendelser kan nytte godt av. Oppgaven ønsker å svare på følgende problemstilling:

«Er taktplanleggingen ved Moholt 50|50 gjennomført i tråd med etablert teori og har den noen likheter med gjennomføringen av andre prosjekter? Har bruken av taktplanlegging bidratt positivt eller negativt til gjennomføringen av prosjektet?»

Omfang: Denne oppgaven er utført i løpet av ett semester og tilsvarer 30 studiepoeng. Med mål om å skrive en artikkel til årets IGLC-konferanse satte dette visse begrensninger på hvordan semesteret kunne disponeres da deadline på artikkelen var tidlig i semesteret. Det ble derfor valgt å skrive artikkelen først for så å skrive en utfyllende masteroppgave i etterkant.

Metode: Det har blitt gjennomført en rekke intervjuer av de som har vært involvert i prosjektet og den tilhørende taktplanen. Sammen med de har prosjektdata blitt kommentert og vurdert. Denne informasjonen har blitt sammenlignet mot relevant teori for å evaluere metoden benyttet ved case-prosjektet.

Teori: Deler av teorigrunnlaget for vurderingen er basert på prosjektoppgaven skrevet høsten 2015 med formål om å oppnå innsikt i temaet og hva som er state-of-the-art innenfor taktplanlegging. Denne teorien supplementers med teori og metoder som har vist seg å være gode sammenligningsgrunnlag for case-prosjektet.

Resultater: Gjennom intervjuene og gjennomgangen av prosjektdata ble det identifisert en rekke faktorer som har bidratt positivt og negativt til prosjektet. Det har blitt rapportert om mange positive bidrag relatert til taktplanen, blant annet har fagarbeidere vært svært fornøyd med forutsigbare arbeidsdager og gode lønninger. Det har likevel ikke bidratt til å redusere prosjektkostnadene nevneverdig, selv om gjennomføringstiden var avhengig av taktplanlegging for å rekke tidsfristen satt.

Konklusjon og anbefalinger: Det viser seg at erfaringer fra tidligere prosjekter har blitt tatt til god nytte. Metoden for utarbeiding av taktplanen har mange likheter med metoder som i teorigrunnlaget har vist gode resultater. Prosjektet oppfyller mange kriterier som har blitt satt for at taktplanlegging skal være velegnet. Det har dermed vært et prosjekt som har hatt forutsigelser for å oppnå god effekt. På

grunn av en effekt som oppstår i kombinasjon med akkordlønn er ikke det fulle potensialet til taktplanlegging oppnådd.

Det anbefales å gjøre forsøk med andre lønssystemer for å se om det kan bidra til lavere prosjektkostnader samtidig som man tilbakefører de gode lønningene til normale nivåer. Det er også anbefalt å benytte VICO Controll for å generere og visualisere taktplanen fremfor Microsoft Excel som nå benyttes. Dette er et verktøy spesielt utviklet med taktplanlegging som formål og vil kunne bidra positivt både i utarbeidingen av planen og oppfølging underveis i prosjektet.

Videre arbeid: Det anbefales å fortsette med studier av taktplanlegging og erfaringer med det for å kunne gi et bedre sammenligningsgrunnlag. Det er fremdeles ikke grunnlag nok til å estimere innsparinger og fordeler i forkant av prosjekter. Om det opprettes indikatorer som påvirker taktplanlegging av prosjekter kan dette bidra til å forbedre fremtidig anvendelse.

Abstract

Background: Takt time planning is a method for production planning with a potential to improve productivity over what traditional methods offer. Limited documentation of experiences and applications exist, and previous studies has indicated that all the promised benefits are yet to be seen.

Research topic: The purpose of this research is to identify the different benefits and disadvantages experienced when applying takt time planning. By studying projects that utilizes this production planning method it will create a foundation of experiences for which future applications can benefit from. The research aims to answer the following questions:

«Is the takt time planning at Moholt 50|50 applied in line with established theory and does it have any similarities with other projects? Has the application of a takt time plan contributed positively or negatively to the project? »

Scope: This Master's thesis is the result of one semesters work and equals to 30 Norwegian credits. With a goal of authoring an article for this year's IGLC conference there has been some limitations on the disposition of the semester. Due to early deadlines for submissions to the conference it was chosen to complete the article first before writing this thesis.

Method of research: A series of interviews of those involved in the project and its takt plan has been conducted. Project data was reviewed in collaboration with the interviewees and their comments were documented. This information has been compared to established theory and the method used for creating a takt plan for the case project has been evaluated.

Theoretical framework: Parts of the theoretical framework was established through a project thesis performed during the autumn semester of 2015. The purpose of the thesis was to get an overview of takt time planning and establish what is considered state-of-the-art within the topic. This framework has been expanded in this master thesis and relevant theory and methods necessary for the case study has been added.

Results: Through the interviews and the review of project data there has been identified a number of factors that contributed positively and negatively to the project. Some of the positive contributions originated from craftsmen which reported about predictable work days with good salaries. Takt time planning has yet to deliver all the potential benefits it promises such as project completion cost, even though it was decisive for the project completion time.

Conclusion and recommendations: It has been shown that experiences from previous projects has been put to good use. The method for generating a takt time plan has shown many similarities to proven methods identified as part of the theoretical framework. The project fulfills many of the proposed criteria for takt suitability and has had the preconditions for success were good. Due to an effect that arises from

the combination of takt time planning and the Norwegian piece pay system the full benefit of takt time planning is yet to be seen.

It is recommended to perform trials with other salary systems to see if it can contribute to reduce project completion costs and returning inflated salaries to more normal values. Another recommendation is to make use of VICO Control when generating and visualizing the takt plan. Microsoft Excel was used for this, and it required a lot of manual labor. VICO Control is designed with takt time planning in mind and is well suited for it.

Further research: It is recommended to perform more studies of takt time planning and the experiences gained from using it. This will improve the foundations for future comparisons. There is still a lack of data to estimate savings and benefits in project early phase. If a set of indicators for how takt time planning contributes is established this will help improve future applications of it.

Innhold

EKSTRAKT	III
FORORD.....	V
SAMMENDRAG	VII
ABSTRACT	IX
1 INTRODUKSJON	1
1.1 BAKGRUNN	1
1.2 PROBLEMSTILLING.....	2
1.3 OMFANG OG BEGRENSNINGER	3
1.4 RAPPORTENS OPPBYGGING	3
2 METODE.....	5
2.1 INTERVJUER.....	5
2.2 SAMMENLIGNING MOT TEORI.....	6
2.3 VALIDITET OG RELIABILITET	6
2.4 REFLEKSJON RUNDT ARBEIDET MED ARTIKKELEN	7
3 TEORI.....	11
3.1 PRODUKSJONSSYSTEMER	11
3.1.1 <i>TFV-modellen</i>	11
3.1.2 <i>Variabilitet</i>	12
3.1.3 <i>Buffere</i>	13
3.1.4 <i>Sløsing</i>	13
3.1.5 <i>Push og pull</i>	14
3.2 AKTIVITETSBASERT PLANLEGGING	15
3.2.1 <i>Critical Path Method</i>	15
3.2.2 <i>Program Evaluation and Review Technique</i>	16
3.2.3 <i>Flyt</i>	17
3.2.4 <i>Gantt-skjema</i>	18
3.2.5 <i>Problemer med tradisjonell aktivitetsbasert planlegging</i>	19
3.3 STEDSBASERT PLANLEGGING	19
3.3.1 <i>Enhetsproduksjon</i>	20
3.3.2 <i>Stedsproduksjon</i>	21
3.4 PROSJEKTSTYRING	22
3.4.1 <i>Lean Project Delivery System</i>	22
3.4.2 <i>Last Planner™-systemet</i>	23
3.5 TAKTPLANLEGGING.....	25

3.5.1	<i>Behandling av buffere</i>	27
3.5.2	<i>Kontroll av fremdrift</i>	27
3.5.3	<i>Tildeling av ressurser</i>	27
3.5.4	<i>Kriterier for taktplanlegging</i>	28
3.6	ERFARINGER MED TAKTPLANLEGGING	28
3.6.1	<i>Kunnskapssenteret ved St. Olavs Hospital</i>	29
3.6.2	<i>Horneberg</i>	29
3.6.3	<i>Erfaringer internasjonalt: optimalisering for kontinuerlig flyt</i>	30
3.6.4	<i>Erfaringer internasjonalt: taktplanlegging med lite repeterende arbeid</i>	32
3.6.5	<i>State-of-the-art: VICO Control</i>	33
4	RESULTATER	35
4.1	MOHOLT 50 50	35
4.2	UTARBEIDING AV TAKTPLANEN	36
4.3	TAKTPLANEN I BRUK.....	38
4.3.1	<i>Tidligere erfaringer</i>	38
4.3.2	<i>Å jobbe med taktplanen ved Moholt 50 50</i>	39
4.3.3	<i>Fremtidig bruk av taktplanlegging</i>	40
5	DISKUSJON	43
6	KONKLUSJON OG ANBEFALINGER	45
7	VIDERE ARBEID	47
8	KILDER	49
9	VEDLEGG	- 1 -
9.1	VEDLEGG 1: OPPGAVETEKST	- 1 -
9.2	VEDLEGG 2: INTERVJUGUIDE ØVRIGE MOHOLT 50 50.....	- 5 -
9.3	VEDLEGG 3: INTERVJUGUIDE ANLEGGSEDER MOHOLT 50 50.....	- 7 -
9.4	VEDLEGG 4: ARTIKKEL.....	- 9 -
10	OVERSIKT OVER UTRYKTE VEDLEGG	- 20 -

Figurliste

Figur 1: TFV-modellen, etter Østby-Deglum et al. (2013)	11
Figur 2: Typisk fordeling av arbeidstid (Alfredo et al., 1995)	14
Figur 3: Presedensnettverk (Kelley og Walker, 1959).....	16
Figur 4: Trepunktsestimat for aktiviteters varighet	17
Figur 5: Gantt-skjema (Fig. 2, Wilson, 2003, side 4)	18
Figur 6: Overgang fra Gantt-fremstilling til PERT-presedensnettverk (Kerzner, 2013)	18
Figur 7: Skillet mellom aktivitetsbasert og stedsbasert planlegging (Kenley og Seppänen, 2009)	19
Figur 8: Illustrasjon av tids/leveranse-kurven i Line of Balance	20
Figur 9: Line of Balance med separat start- og sluttlinje	21
Figur 10: Flere etterfølgende aktiviteter fremstilt med Line of balance	21
Figur 11: Prosjektfaser etter Last Planner™-systemet (Ballard og Howell, 2003)	23
Figur 12: Tabell for hindringsanalyse	24
Figur 13: Oversikt over PPC pr. uke over 20 uker	24
Figur 14: Flytdiagram av LPS (Ballard, 2000).....	25
Figur 15: Ulike fags produktivetskapasitet (Yassine et al., 2014).....	31
Figur 16: Flytlinjefremstilling av dårlig optimalisert prosjekt (Yassine et al., 2014).....	31
Figur 17: Prosjektet fremstilt etter optimalisering for kontinuerlig flyt (Yassine et al., 2014)	32
Figur 18: Prosjektet er optimalisert for kontinuerlig flyt og lik produktivetskapasitet (Yassine et al., 2014)	32
Figur 19: En etasje med hybler ved Moholt 50 50.....	35
Figur 20: Post-it-vegg ved taktmøte nr. 2	37
Figur 21: Utdrag fra taktplanen til Moholt 50 50.....	38

1 Introduksjon

Taktplanlegging er en metode for produksjonsplanlegging som fokuserer på å øke produktivitet i prosjektbaserte produksjonssystemer ved å redusere sløsing (Frandsen et al., 2014). Ved å optimalisere innholdet i arbeidspakkene og størrelsen på arbeidslagene ønsker man å oppnå en jevn produksjonsrate med kontinuerlig flyt på tvers av fagene involvert i det aktuelle prosjektet. Taktplanlegging henter inspirasjon fra bilbransjen der produksjonen foregår på samlebånd som beveger seg gjennom produksjonslokalet (Porsche Consulting, 2011). I byggebransjen er det produksjonsenheten som beveger seg gjennom det som produseres, og for at dette skal fungere kreves det god planlegging og oppfølging. Tidligere forsøk med taktplanlegging viser til gode resultater med redusert tid brukt på ikke-verdiskapende aktivitet (Mordal, 2014). Arbeiderne bruker en større andel av arbeidsdagen til direkte verdiskapende oppgaver, noe som medfører raskere gjennomføring og reduserte kostnader. Men selv om taktplanlegging medbringer mange gode egenskaper har det også noen ulemper (Smiseth, 2013). Spesielt går det med mye tid til å planlegge og følge opp arbeidet gjennom hele prosjektet.

Det eksisterer lite dokumentasjon av fordeler og ulemper man oppnår ved praktisk anvendelse av taktplanlegging. Tidligere studier av taktplanlegging viser til et behov for videre studier blant annet for å gi et større grunnlag for sammenligning av prosjekter. Dette er nødvendig for å kunne perfeksjonere anvendelsen av taktplanlegging og for da å kunne utnytte dets fulle potensiale.

1.1 Bakgrunn

I de siste årene har Veidekke Entreprenør i Trondheim gjennomført et par prosjekter som har benyttet seg av taktplanlegging. Taktplanleggingen ved disse prosjektene, Kunnskapssenteret ved St. Olavs Hospital og deler av boligprosjektet Horneberg B3, har begge blitt gjennomgått og evaluert i forbindelse med masteroppgaver (Smiseth (2013) og Mordal (2014)). Formålet har vært å dokumentere gjennomføringen for å kunne benytte seg av erfaringene og anbefalingene ved senere prosjekter. Erfaringene derfra viser til blandede resultater og anbefaler videre studier av prosjekter som benytter taktplanlegging.

Veidekke er nå i gang med sitt tredje prosjekt med taktplanlegging i Trondheim. Prosjektet heter Moholt 50|50 og bygges for Studentsamskipnaden i Trondheim (SiT). Det består av 5 høyblokker, en barnehage, parkeringskjeller og næringsbygg. Prosjektet utføres hovedsakelig i massivtre og er Europas største massivtreprosjekt. Høyblokkene på 9 etasjer er hovedsakelig studentboliger, fra og med andre etasje og opp. Første etasje har forskjellig innhold fra blokk til blokk, med blant annet treningsstudio og legekantor. Taktplanlegging benyttes på innvendige arbeider i høyblokkene, og på grunn av svært høy grad av repetisjon har prosjektet et godt grunnlag for å benytte taktplanlegging.

I forbindelse med sommerjobb ved prosjektet sommeren 2015 ble det foreslått å benytte prosjektet for videre undersøkelse av taktplanlegging. Høsten 2015 ble det dermed skrevet prosjektoppgave om

taktplanlegging der formålet var å undersøke hva som er state-of-the-art angående taktplanlegging og hvilke resultater som er oppnådd ved å benytte det. Gjennom prosjektoppgaven ble det identifisert teori, metoder og resultater som det ved videre arbeid ville bli naturlig å vurdere Moholt 50|50 mot. Blant annet har nytten av taktplanlegging ofte blitt illustrert ved å ta for seg caseprosjekter som har kommet skeivt ut i forhold til fremdriftsplanen sin (Yassine et al., 2014). Ved å lage en ny produksjonsplan etter metoder for taktplanlegging har de klart å forbedre produktiviteten i prosjektene til å igjen kunne nå sin opprinnelige tidsfrist. Dette er en interessant bruk av taktplanlegging og gir direkte anvendbare resultater. Prosjektoppgaven konkluderer med at taktplanlegging gir gode resultater ved nøye gjennomtenkte anvendelser. Likevel vil det være nødvendig å dokumentere flere anvendelser av taktplanlegging for å danne et større sammenligningsgrunnlag.

1.2 Problemstilling

Siden massivtre er et forholdsvis nytt og lite brukt byggemateriale, spesielt i høyhus, har Veidekke Trondheim hentet inn kompetanse fra avdeling Follo/Østfold. Denne avdelingen har nylig bygget et annet, svært likt prosjekt kalt Pentagon for Studentsamskipnaden på Ås (SiÅs). Her bygde de blant annet massivtrehøyblokker på 8 etasjer, og opparbeidet seg verdifull massivtrekompetanse. Dette prosjektet benyttet seg ikke av taktplanlegging, og siden det byggeteknisk er stor likhet mellom Moholt 50|50 og Pentagon ble det vurdert å sammenligne produktiviteten i prosjektene. Det ville vært spesielt interessant å sammenligne en tilfeldig etasje ved begge prosjekter. De har tilnærmet likt areal, antall boenheter og like mengder teknisk utstyr. En eventuell sammenligning av tid brukt av de ulike fagene pr. etasje ville da kunne i stor grad se bort ifra byggeteknikken og produserte mengder. Dette vil da kunne identifisere hvor mye tid som har gått med til logistikk, venting, omarbeid og andre tidssluk som ikke regnes som direkte produksjon. Dette ble den opprinnelige idéen for videre arbeid, men underveis viste det seg å være umulig å gjennomføre. På grunn av en rekke konkurser hos underentreprenører og manglende tilgang på prosjektdata fra Pentagon ble det umulig å skaffe den nødvendige informasjonen for å kunne utføre sammenligningen.

En gjengående konklusjon i casestudier av taktplanlegging er at det er for lite data til å sammenligne prosjekter som benytter taktplanlegging. For å avdekke fordeler og ulemper man oppnår ved å benytte det er det behov for å dokumentere hva som blir gjort og hvorfor, samt evaluere hva det har medført prosjektet.

Problemstillingen for denne oppgaven blir da:

«Er taktplanleggingen ved Moholt 50|50 gjennomført i tråd med etablert teori og har den noen likheter med gjennomføringen av andre prosjekter? Har bruken av taktplanlegging bidratt positivt eller negativt til gjennomføringen av prosjektet?»

Ved å undersøke denne problemstillingen vil det hjelpe fremtidige anvendelser av taktplanlegging med å lykkes. Dette vil kunne avdekkes ved å sammenligne gjennomføringen av taktplanleggingen ved prosjektet opp mot teori og casestudier av andre prosjekter, samt intervjuer de som har vært involvert i både utarbeiding av og produksjon under taktplanen.

1.3 Omfang og begrensninger

I forbindelse med masterarbeidet ble det skrevet en vitenskapelig artikkel til årets International Group for Lean Construction (IGLC)-konferanse. Denne masteroppgaven er basert på arbeidet gjort i forbindelse med artikkelen og gjengir innholdet i den. Da artikkelen er begrenset til 10 sider er teoridelen kortfattet og tar for seg den teorien som er viktigst for å evaluere og reflektere over resultatene fra undersøkelsene. I denne oppgaven er teorien noe mer utdypende enn i artikkelen. Selv om artikkelen har begrenset beskrivelse av teori i forhold til denne oppgaven så er artikkelen myntet på en leser med spesiell interesse for taktplanlegging og Lean Construction. Dette innebærer at mye av teorien som er forklart i denne oppgaven allerede er kjent stoff for en eventuell leser av artikkelen.

Da denne masteroppgaven er basert på artikkelen har den noe redusert omfang i forhold til hva en tradisjonell masteroppgave om emnet ville vært. Det er derfor valgt å beskrive den grunnleggende teorien om taktplanlegging som mangler i artikkelen på en kortfattet måte.

I prosjektoppgaven ble det gjennomført et litteraturstudium med formål å identifisere state-of-the-art innen taktplanlegging. Teorien og noen av funnene er gjengitt her da de er gode illustrasjoner på hvordan den etablerte teorien om taktplanlegging fungerer i praksis. Selv om resultatene fra undersøkelsene utført i forbindelse med masteroppgaven ikke nødvendigvis knytter dette stoffet inn direkte er det likevel nyttig kunnskap å ha i bakhodet.

1.4 Rapportens oppbygging

1. Innledning

Beskrivelse av bakgrunn for oppgaven, hvordan problemstillingen ble utledet og omfang og begrensninger for oppgaven.

2. Metode

Gjennomgang av forskningsmetoden benyttet i forbindelse med utarbeiding av artikkelen, samt hvordan teori har blitt evaluert for å vurdere relevans for den aktuelle oppgaven. Det reflekteres også over arbeidet som har blitt utført i prosessen med å skrive artikkelen og styrker og svakheter rundt metoden blir diskutert.

3. Teori

Det presenteres grunnleggende produksjonsteori for å kunne illustrere hvordan taktplanlegging skiller seg fra tradisjonelle metoder. Det er lagt vekt på å presentere teori om hvordan taktplanlegging utføres og begreper som er essensielle for

taktplanlegging. Det vil også presenteres resultater og erfaringer gjort i casestudier av andre prosjekter for å vise til hvordan taktplanlegging fungerer i praksis.

4. Resultater

Dette kapitlet består av tre hoveddeler. Den første delen er en gjennomgang av caseprosjektet Moholt 50|50. Det presenteres detaljer som er nødvendig for å kunne sammenligne det mot etablert teori. Den andre delen tar for seg hvordan taktplanen har blitt generert. Tredje del ser på hvordan det har vært å jobbe med en taktplan på prosjektet

5. Diskusjon

Resultatene fra kapittel 4 diskuteres. Caseprosjektet blir vurdert opp mot teori presentert i kapittel 3. Informasjon fra intervjuene blir diskutert med formål om å avdekke faktorer som hjelper med å løse problemstillingen.

6. Konklusjon

En konklusjon presenteres som besvarer problemstillingen og anbefalinger for hvordan man kan forbedre bruken av taktplanlegging

7. Videre arbeid

Det legges frem noen anbefalinger for videre arbeid og fremtidige studier av taktplanlegging.

2 Metode

For å finne et svar til problemstillingen har følgende metode blitt brukt. Metoden fokuserer på å avdekke:

- Hvordan taktplanen ble generert
- Om og hvordan det påvirket prosjektet i forhold til gjennomføringstid og -kostnad
- Om og hvorfor fagarbeidere og prosjektadministrasjonen foretrakk taktplanen

Kapittelet beskriver prosessen som ble brukt for å innhente informasjon. Det forklares hvordan informasjonen ble benyttet for å vurdere prosjektet mot aktuell teori. Kapittelet inneholder også en refleksjon over hvordan arbeidet med artikkelen har påvirket arbeidet med masteroppgaven.

2.1 Intervjuer

Informasjonen benyttet i denne rapporten har hovedsakelig blitt innhentet ved å gjennomføre intervjuer med åpen struktur. Totalt ble det gjennomført 8 intervjuer der nøkkelpersonell fra både totalentreprenør og underentreprenører deltok. Av disse var det både håndverkere, arbeidsledere/formenn og prosjektledere. Anleggslederen for høyblokkene var den ansvarlige for utarbeiding og oppfølging av taktplanen. Derfor er mye av informasjonen rundt dette basert på hans erfaringer. Øvrige ble intervjuet med fokus på å avdekke hvordan taktplanen hadde vært å jobbe med, og om de opplevde noen fordeler eller ulemper med denne måten produksjonsplanlegging enn tidligere erfaringer.

Før intervjuene tok sted ble det utarbeidet en intervjuguide (se vedlegg 2 og 3). Denne inneholder tema som var ønskelig å spørre intervjuobjektene om. Det var ønskelig med en åpen struktur for at intervjuobjektene skulle få anledning til å meddele det de hadde å tilføye. Siden anleggslederen var en naturlig kilde til mange detaljer rundt selve prosessen med å utforme taktplanen ble det laget en egen og mer omfattende intervjuguide som ble benyttet i hans intervju.

Selve intervjuene ble gjennomført i to deler. Første del tok for seg bakgrunnen til intervjuobjektene. Det var ønskelig å få en innsikt i hvor lenge de har jobbet i bransjen og hvilke roller de har hatt i tidligere prosjekter. Spesielt var det ønskelig å vite om de var med på de to tidligere prosjektene Veidekke har benyttet taktplanlegging på, eventuelt andre prosjekter ikke i regi av Veidekke. Andre del fokuserte på Moholt 50|50 og hvordan deres erfaring med taktplanlegging derfra var. Her ble selve taktplanen lagt frem og gått gjennom sammen med intervjuobjektene. Det ble spurt om og hvordan de hadde deltatt i utarbeiding av taktplanen og hvordan den i etterkant hadde vært å med. Spesielt ble det spurt etter negative eller positive punkter de ville trekke frem, da det ville kunne avdekke problemområder. Til slutt ble de spurt om de var positiv til å benytte taktplanlegging i fremtiden.

2.2 Sammenligning mot teori

Det eksisterer allerede en rekke utprøvde metoder for gjennomføring av taktplanlegging. For å evaluere gjennomføringen ved Moholt 50|50 er dette gode utgangspunkt. Gjennom IGLC og deres konferanser har det blitt publisert både casestudier og konseptuelle artikler som tar for seg taktplanlegging. Dette er den ledende institusjonen for Lean Construction og taktplanlegging, og dette har vært en naturlig kilde til relevant teori. Fokuset har vært på to punkter ved prosjektet som var ønskelig å vurdere opp mot denne teorien:

- Metoden for utarbeiding av taktplanen
- Resultater som har blitt oppnådd ved å benytte det i andre prosjekter

Gjennomføringen denne evalueringen har benyttet informasjon fra intervjuene. Ellers har det meste av prosjektdata stått til disposisjon ved behov gjennom samarbeid med Veidekke.

2.3 Validitet og reliabilitet

For å avgjøre hvor vidt den innhentede informasjonen er pålitelig er det avgjørende å vurdere informasjonens validitet og reliabilitet.

Validitet: SNL definerer validitet som den graden man ut fra resultatene av et forsøk eller en studie kan trekke gyldige slutninger om det man har satt seg som formål å undersøke (Dahlum, 2015). Man skiller mellom ytre og indre validitet. Ytre validitet betegner undersøkelsens resultater som generaliserbare og kan gjelde for et større utvalg data enn det som har blitt undersøkt. Eksempelvis er undersøkelser av en begrenset folkmengde. Er resultatene gjeldende for et større utvalg enn de som har blitt undersøkt har forsøket god ytre validitet. Indre validitet betegner resultatenes mulighet til å forklares med hypotesen. Et eksempel her er om man oppnår et resultat som ikke kan ha noen annen årsak enn den man ønsker å undersøke. Da har forsøket høy indre validitet.

For å sikre validitet i casestudiet vil det være nødvendig å skaffe tilstrekkelig data. Ved å foreta mange intervjuer med varierte intervjuobjekter vil det være mulig å trekke ut fellesnevnerne i resultatene som da kan antas er generaliserbare. Det vil også være nødvendig å gjøre vurderinger av hvilke faktorer som kan skyldes taktplanlegging og hva som kan ha andre årsaker.

Reliabilitet: SNL definerer reliabilitet som konsistens eller stabilitet i målinger (Tønnesen, 2015). Det betyr at om man gjentar et forsøk flere ganger så får man likt resultat hver gang. Om resultatene har stort avvik har forsøket lite reliabilitet. Avvikene fra gjennomsnittet benevnes som tilfeldig eller systematisk. Har avvikene like stor spredning på hver side av gjennomsnittet er det tilfeldig avvik. Er de fleste avvikene i samme retning bort fra gjennomsnittet er det systematiske avvik.

For å sikre reliabilitet i casestudiet vil det være nødvendig å vurdere resultatene mot flere av andres resultater. Opplevs de samme effektene ved denne casestudien som i andre casestudier vil det kunne indikere reliabilitet, og det kan avgjøres om eventuelle avvik er systematiske eller tilfeldige.

2.4 Refleksjon rundt arbeidet med artikkelen

Prosess:

Etter oppfordring fra veileder ble det valgt å skrive en artikkel til årets IGLC-konferanse som et ledd av masteroppgaven. Dette er en konferanse som arrangeres for å promotere Lean Construction og effektivisering av byggebransjen (IGLC, n.d.), og taktplanlegging er et av interesseområdene. For å få publisert en artikkel i forbindelse med konferansen er det en prosess man må følge:

- Call for abstract: 12. februar
Et sammendrag av hva man har skrevet eller har tenkt å skrive om sendes inn til IGLC. Med en begrensning på 300 ord ønsker de en kort forklaring på dette så de kan vurdere om dette er noe de potensielt har interesse for.
- Full paper submission: 22. april
Hvis sammendraget godkjennes får man en ny frist, senest 22. april, til å ferdigstille et førsteutkast til ferdig artikkel. Den sendes så ut til en gjennomgang (review) av andre artikkelforfattere ved konferansen som har kompetanse innenfor temaet. De gir artikkelen en karakter ut i fra forskjellige kriterier og råd til hvordan artikkelen kan forbedres. Det skal også skrives en A3-plakat som er en kort oppsummering av artikkelen. Denne skal raskt kunne gi en potensiell leser innblikk i innholdet og avgjøre om den er av interesse eller ikke.
- Camera-ready submission: 10. juni
Avhengig av hvilke tilbakemeldinger man får er det behov for forbedringer. Man gjør så de endringer man ønsker, og skriver en kort endringslogg som forklarer hvordan man har tatt til seg forslagene i review-prosessen. Dette er endelig dato for innsendelse og det er denne artikkelen som publiseres.

På grunn av den tidlige tidsfristen for review-prosessen var det nødvendig å sette i gang med artikkelen snarest mulig. Det ble derfor valgt å jobbe direkte med artikkelen først for så å skrive denne masteroppgaven i etterkant. Alternativt kunne en masteroppgave skrives for så å kondensere ut en artikkel, men det ble anslått at tiden ikke ville strekke til. Artikkelen ble skrevet i samarbeid med veileder som medforfatter. Han bidro hovedsakelig med veiledning av selve prosessen, språklige anbefalinger og anbefaling av aktuell litteratur.

I løpet av arbeidet med artikkelen, fra opprinnelig idé til endelig resultat, har det oppstått en rekke problemer som har påvirket både oppgaven og fremgangsmåten. Indre og ytre faktorer har gjort det

nødvendig med endringer som har tatt fokuset bort fra den opprinnelige idéen. Likevel er det en interessant idé, og om de nødvendige dataene viser seg å bli tilgjengelig i fremtiden er dette noe som kan vurderes å undersøke. Følgende er derfor en gjennomgang av opprinnelig idé, hvorfor den ikke var mulig å gjennomføre og hva som skal til for å endre på dette. Det nevnes noen konsepter og teorier innen produksjonsplanlegging. En nærmere gjennomgang av dette kommer i kapittel 3 – Teori.

Opprinnelig idé:

Når arbeidet med masteren startet var planen å sammenligne to prosjekter gjennomført av Veidekke; Pentagon på Ås og Moholt 50|50 i Trondheim. Dette var to prosjekter med såpass mye til felles at de benyttet opparbeidet kompetanse fra Pentagon for å effektivisere Moholt 50|50. Dette var en interessant mulighet til å sammenligne planleggingsmetodikken da dette var en av de store forskjellene mellom prosjektene. Formålet var å undersøke om det var mulig å identifisere en reduksjon i sløsing når det benyttes taktplanlegging. Sløsing kan deles inn i to kategorier; nødvendig (contributory) og unødvendig (non contributory) sløsing (Alfredo et al., 1995).

Dette var forhåpentligvis mulig å avdekke ved å undersøke fremdriftsplaner, timelister og å gjennomføre intervjuer med de som jobbet på prosjektene. Dette viste seg likevel å bli vanskelig pga. to faktorer:

- Konkurser hos underentreprenørene som var med på Pentagon
- Begrenset tilgang på prosjektdata fra Pentagon pga. IT-problemer

Mye arbeid ble lagt ned i perioden før påske for å sikre så mye data som mulig, men det viste seg å ikke være tilstrekkelig. Om de nødvendige dataene var tilgjengelig tidligere i prosessen er uvisst, så det er vanskelig å si om det hadde vært gjennomførbart om prosessen startet opp tidligere. Om dataene i etterkant blir tilgjengelig er dette noe som kan undersøkes.

Endelig idé:

Når opprinnelig idé ikke lengre var gjennomførbar var det nødvendig å endre på oppgaven. Den nye oppgaven gikk bort fra å sammenligne de to nevnte prosjektene for heller å sammenligne Moholt 50|50 mot teori om taktplanlegging og andre publiserte casestudier av prosjekter det benyttes på. I forkant av oppgaveendringen var det allerede gjennomført intervjuer ved prosjektet samt gjennomgått prosessen med utarbeiding av taktplanen. Det ble så gjennomført flere intervjuer for å hente inn flere erfaringer til den nye oppgaven.

På grunn av begrenset tid fra oppgaven ble endret til artikkel skulle inn til review ble det nødvendig å redusere omfanget av analysen. Det er tilgjengelig mye informasjon om prosjektet som kunne blitt betraktet, men av hensyn til tid ble dette ikke gjennomført. I tillegg var prosjektet pågående når artikkelen ble skrevet. Det er dermed mulig at en fremtidig gjennomgang av prosjektet kan vise til andre og mer omfattende analyser og resultater. Likevel er innholdet i artikkelen relevant da utarbeidingen av

taktplanen var gjennomført. Det er denne prosessen som ble fokuset i artikkelen, og selv om omfanget ble noe begrenset har arbeidet med den har vært lærerikt.

3 Teori

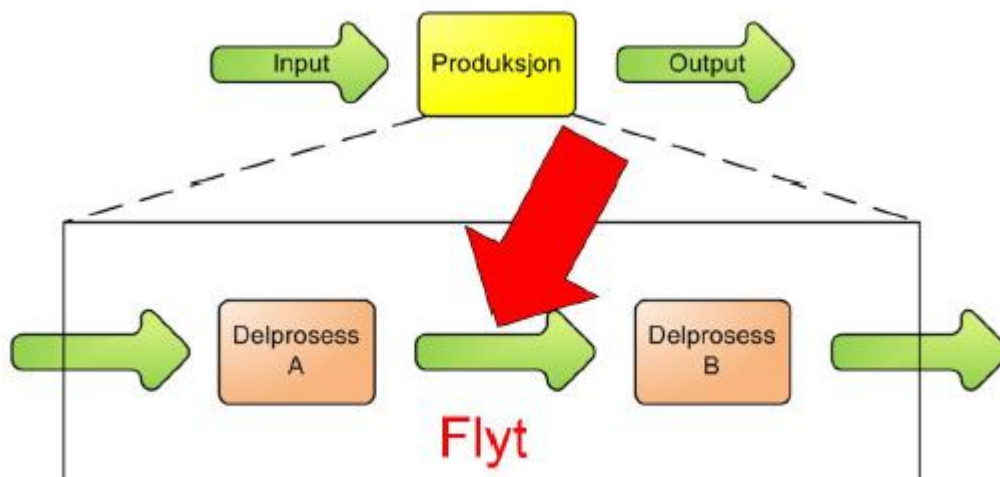
Produksjonsplanlegging og -oppfølging er en stor og viktig del av en entreprenørs oppgave ved gjennomføring av byggeprosjekter. Omfanget av arbeidet varierer fra prosjekt til prosjekt, avhengig av prosjektets størrelse og kompleksitet. For å få en oversikt over hvordan taktplanlegging skiller seg fra tradisjonelle metoder vil det her presenteres noen konsepter innenfor produksjonssystemer og -planlegging. Deretter kommer en gjennomgang av konsepter innenfor taktplanlegging og hvordan dette skiller seg fra tradisjonelle metoder. Til slutt vises det til resultater som har blitt oppnådd ved å benytte taktplanlegging i praksis og hva som kan regnes som state-of-the-art.

3.1 Produksjonssystemer

Et produksjonssystem er et system som forbruker ressurser for å levere varer eller tjenester (Østby-Deglum et al., 2013). Dette kan være en fabrikk, et konsulentfirma eller en entreprenørbedrift. Alle har ulike måter å produsere på, og hva de produserer er svært forskjellig. Men likevel har de til felles at de forbruker ressurser for å levere et produkt; en bil, en tegning eller et bygg.

3.1.1 TFV-modellen

Et produksjonssystem kan betraktes gjennom TFV-modellen til Lauri Koskela (Koskela, 2000). TFV står for Transformasjon, Flyt og Verdi. Dette er tre essensielle aspekter av det som utgjør produksjonssystemet i byggeprosjekter.



Figur 1: TFV-modellen, etter Østby-Deglum et al. (2013)

Transformasjonsprosessen beskrives som prosessen som bruker ressurser for å skape et produkt. Denne prosessen deles gjerne opp i flere delprosesser. Ved å optimalisere hver enkelt delprosess vil man kunne effektivisere transformasjonsprosessen.

Der transformasjon tar for seg selve prosessen som fører til et ferdig produkt tar *flyt* for seg aktiviteter som foregår mellom delprosessene i transformasjonen. Dette kan være logistikk, venting eller andre aktiviteter som ikke direkte fører til verdiskapende aktivitet. Sløsing inngår i flytaktiviteter, og man skiller gjerne mellom nødvendig og ikke-nødvendig sløsing (Alfredo et al., 1995). For å effektivisere et byggeprosjekt er det ønskelig å redusere mengden og størrelsen på flytprosessene.

Formålet med et byggeprosjekt er å skape *verdi*. Dette oppnår man ved å gjennomføre transformasjonsprosess med tilhørende flytaktiviteter som bidrar til et produkt med en definert verdi. Hvordan verdi defineres varierer fra prosjekt til prosjekt og er ikke nødvendigvis bare økonomiske verdier. Disse overordnede verdiene ved prosjektet defineres ofte av byggherre som har bestilt bygget.

3.1.2 Variabilitet

I løpet av et byggeprosjekt vil det oppleves at aktivitetene som gjennomføres i produksjonssystemet har varierende gjennomføringstid (Østby-Deglum et al., 2013). Når man skal estimere varigheten til en aktivitet i et byggeprosjekt blir dette basert på erfaringstall. Dette vil ikke nødvendigvis stemme med den faktiske varigheten, selv forholdsvis like arbeidsoppgaver kan variere stort i gjennomføringstid. Dette kan være fordi det må hentes materialer den ene gangen men ikke den andre, det kan oppstå feil og arbeidet må gjøres om eller andre hendelser man ikke har kontroll eller oversikt over. Denne variasjonen i varighet kalles *variabilitet*. Det er hovedsakelig to typer variabilitet; prosess og flyt.

Prosessvariabilitet er variasjonen i varigheten av selve aktiviteten. Selv om to aktiviteter er mer eller mindre identisk med tanke på arbeidsmengde kan likevel varigheten variere. Det er mange potensielle årsaker til prosessvariabilitet, fra dopauser til sykdom og hver enkelt arbeiders ulike arbeidshastighet. De ulike årsakene har man mer eller mindre kontroll over.

Flytvariabilitet er variasjonen i varigheten av de aktivitetene som finner sted mellom de ulike postene i produksjonssystemet. I en fabrikk kan dette være tiden samlebandet bruker fra en post til en annen. I et byggeprosjekt kan det være logistikk mellom et arbeid til et annet. Man er ofte avhengig av at fagene gjennomfører arbeidet sitt i en logisk rekkefølge, og er ikke forgående fag ferdig med sine oppgaver oppstår det gjerne flytvariabilitet. Dette påvirker når en arbeidsoppgave har mulighet til å starte opp eller avsluttes.

Effekten av variabilitet oppsummeres i variabilitetsloven: «Økning av variabiliteten i et produksjonssystem degraderer alltid ytelsen til systemet» (Hopp og Spearman, 2001). Dette medfører et behov for å kontrollere den variabiliteten som kan kontrolleres, og å ha kjennskap til den variabiliteten man ikke kan kontrollere.

3.1.3 Buffere

Store Norske Leksikon har følgende definisjon på buffer: «Buffer, støtpute, i overført betydning noe som demper en brå virkning.» (Holøs, 2015) I et produksjonssystem benyttes en buffer for å håndtere ulike typer variabilitet som oppstår.

Bufferloven lyder: «Variabiliteten i et produksjonssystem vil alltid være bufret av en eller annen kombinasjon av kapasitet, inventar, tid og finansielle reserver (for prosjektbaserte produksjonssystemer)» (Hopp og Spearman, 2001).

Kapasitetbuffer oppnås ved å planlegge lavere produksjon enn hva produksjonsenheten har mulighet til å produsere. Dette skaper lavere belastning, samtidig som man har mulighet til å produsere mer over korte perioder om nødvendig, uten å gå på bekostning av kvalitet. Fra køteori har man at hvis det planlegges å utnytte 100% av kapasiteten til en ressurs vil det oppstå en uendelig kø (Levinson, 2007).

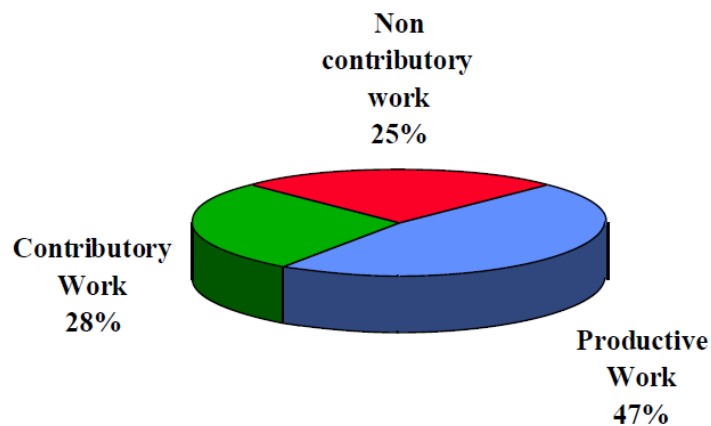
Inventarbuffer oppnås ved å ha et overskudd av fysiske materialer eller informasjon som er nødvendig for å gjennomføre arbeidet. Ved å ha et overskudd av ressurser som skal benyttes i tiden fremover vil ikke en forsinkelse i leveranser forhindre produksjonen.

Tidsbuffer oppnås ved å legge inn ekstra tid mellom slutten av en aktivitet og starten på neste.

Finansielle reserver opptrer som en buffer ved at man ved behov har økonomisk mulighet til å kjøpe eller leie inn ekstra ressurser. Dette kan være ekstra bemanning eller utstyr som gjør det mulig å utføre arbeidet raskere.

3.1.4 Sløsing

I løpet av arbeidsdagen er det flere oppgaver og utfordringer som skal løses. Mange faktorer avgjør hvor stor andel av arbeidsdagen går med til å utføre direkte verdiskapende aktiviteter. Hvordan tidsforbruket fordeler seg ut over aktivitetene kan kategoriseres ut i fra hvilken grad de bidrar til verdiskaping i prosjektet. Noen aktiviteter er direkte verdiskapende, andre bidrar til at verdiskapende aktiviteter kan finne sted mens andre har intet bidrag eller kan i verste tilfelle bidra negativt. Alfredo et al. (1995) presenterer et system for klassifisering av tidsfordelingen, illustrert i Figur 2.



Figur 2: Typisk fordeling av arbeidstid (Alfredo et al., 1995)

Produktivt arbeid inngår i «productive work» og er den delen som bidrar til direkte verdiskapning. I et byggeprosjekt kan dette gjerne være å sette inn vinduer i bygget eller å støpe et betongdekke. Dette gjør at prosjektet beveger seg mot målet som kunden har satt som krav.

Nødvendig sløsing inngår i «contributory work» og er de oppgavene som er nødvendig å gjennomføre for å kunne utføre produktivt arbeid, men som i seg selv ikke direkte bidrar til at prosjektet beveger seg mot målet til kunden. Dette kan være logistikk, oppmåling eller andre nødvendige aktiviteter.

Unødvendig sløsing inngår i «non contributory work» og, i motsetning til hva navnet antyder, kan være oppgaver som er nødvendig å utføre. Røykepauser, venting og lignende aktiviteter er unødvendig sløsing, men omarbeid inngår også i kategorien. De førstnevnte bidrar ikke til å oppnå målet til kunden, men har noe blitt utført feil så er det nødvendig å gjøre det om for å få korrekt utførelse. Da var egentlig det opprinnelige arbeidet ikke bidragsytende, men man regner som regel omarbeidet for det sløste arbeidet da det i utgangspunktet ikke skulle være nødvendig.

3.1.5 Push og pull

Tradisjonelt har materialer og informasjon i en produksjonsprosess blitt innhentet ved hjelp av et push-system (Ballard, 2000). Dette innebærer at leveransene foregår så snart de er klare, selv om det for øyeblikket er behov for dem ennå. Dette kan skape problemer, spesielt ved tidlig leveranse materialer som har behov for å lagres på byggeplassen.

Et alternativ til push er pull. Dette innebærer at man henter inn materialer og informasjon oppstrøms, altså fra leverandør, når det er behov for dem. Det illustreres godt med betong, da betong må regnes som ferskvare fra leverandøren. Man bestiller betongen til et visst tidspunkt, og man bestiller bare så mye man har behov for. Ser man på andre byggematerialer som trelast eller plate- og rullprodukter kan dette leveres i store kvanta, mye større enn hva man har behov for i umiddelbar fremtid. Dette krever da at man lagrer materialene på byggeplassen. Ved å benytte seg av et pull-system er det nødvendig å forsikre seg om at leverandør har mulighet til å levere de mengdene man har behov for til korrekt tidspunkt.

3.2 Aktivitetsbasert planlegging

Det som vanligvis kalles «tradisjonell prosjektstyring» er et styringssystem som har fokus på kontroll av tid og ressurser (Ballard, 2000). Ved å ha en oversikt over hvilke aktiviteter som skal gjennomføres og hvor mye tid og ressurser som skal til før de er gjennomført vil en kunne sette opp en prosjektplan. For ressursbehovet settes opp et budsjett for hver aktivitet, og gjennom forløpstiden overvåkes forbruket og vurderes mot budsjettet. Det kan så utarbeides en prognose for fremtidig ressursforbruk.

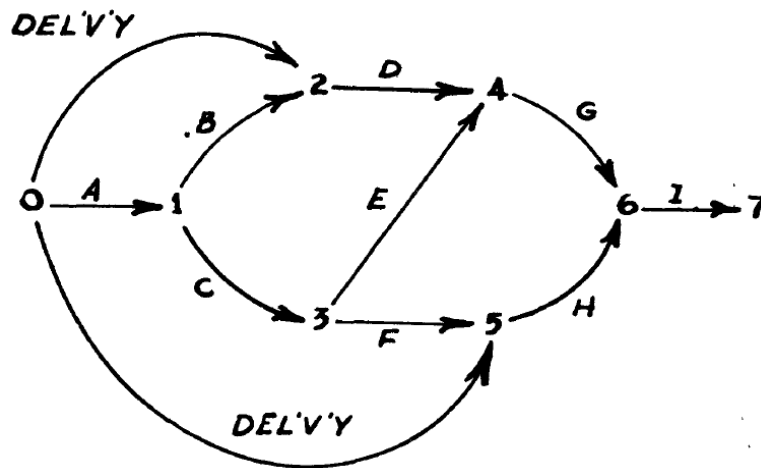
For å ha kontroll over tidsforbruket er det nødvendig med tidsplanlegging og –overvåking. Her er det rekkefølgen på arbeider og arbeidstimene de tar å gjennomføre som vurderes. Tidsplanleggingen baseres på hvor lang gjennomføringstid de ulike aktivitetene vil ta, basert på erfaring, og overvåkingen følger opp det faktiske forbruket.

For alle aktiviteter som skal gjennomføres er det dermed en følgende kostnad på både ressurser og tid. Det kreves materialer og mannskap med kvalifikasjoner til å gjennomføre oppgaven. For å holde orden på hvilke aktiviteter som inngår i et prosjekt og i hvilken rekkefølge de skal gjennomføres vil tre vanlige verktøy presenteres; Critical Path Method (CPM), Program Evaluation and Review Technique (PERT), flyt og Gantt-skjema.

3.2.1 Critical Path Method

I Kenley og Seppänen (2010) kommer det frem at CPM var ett av de første store gjennombruddene for moderne prosjektstyring. CPM er en metode som for å organisere diverse aktiviteter som jobber mot et felles mål. Man identifiserer den kritiske stien gjennom et prosjekt. Dette er den sekvensen av aktiviteter som ved en endring i gjennomføringstid i en enkelt aktivitet vil medføre endring i prosjektets totale gjennomføringstid (Kelley og Walker, 1959). Andre aktiviteter i prosjektet vil ha en viss evne til å kunne utsettes eller forlenges uten at den totale gjennomføringstiden påvirkes. Dette er et godt verktøy når man prøver å optimalisere varigheten til et prosjekt, da for å få kortest muligst gjennomføringstid.

CPM er et mye brukt verktøy i byggebransjen, siden dette er en bransje der det er mange fag som skal utføre forskjellige jobber som til slutt resulterer i et ferdig bygg. Figur 3 viser typisk oppbygging av et presedensnettverk for et prosjekt som har blitt analysert med CPM.



Figur 3: Presedensnettverk (Kelley og Walker, 1959)

Dette er et presedensnettverk, altså et nettverk som illustrerer hvilke aktiviteter som er avhengige av hverandre og i hvilken rekkefølge de må gjennomføres. Den kritiske stien her er A, C, F, H, I og vil være ferdig etter 7 tidsenheter. Figuren viser også tidsforløpet mellom hver enkelt aktivitet, som er beskrevet med en deterministisk verdi. Selv om dette har gitt gode resultater (Pocock, 1962) er det likevel enkelte områder CPM ikke strekker like godt til.

3.2.2 Program Evaluation and Review Technique

I et prosjekt er det ofte variasjon i en aktivitets gjennomføringstid, spesielt i byggebransjen, blir en deterministisk varighet ofte unøyaktig. Det kan både gå raskere og saktere enn den verdien benyttet i CPM. Et alternativ er da å bruke PERT. Mange av konseptene er lik for begge metoder og de oppstod begge på 50-tallet. Det som skiller PERT hovedsakelig fra CPM er at det her benyttes ikke-deterministiske varigheter, eller sannsynlighetsfordelte varigheter. For hver aktivitet defineres tre varigheter: optimistisk, normal og pessimistisk (Kerzner, 2013). Dette benyttes for å estimere total forventet gjennomføringstid, så der CPM er egnet for å optimalisere varigheten til prosjektet er PERT god på å estimere sannsynlig tidspunkt prosjektet er ferdig.

Aktivitet	Forløpende aktivitet	Tidsestimater			Forventet gjennomføringstid (o+4m+p)/6
		Optimistisk (o)	Normal (m)	Pessimistisk (p)	
A	-	3	5	7	5,00
B	A	2	3	4	3,00
C	A,B	2	4	5	3,83
D	C	1	2	5	2,33

Figur 4: Trepunktestimat for aktiviteters varighet

I Figur 4 er det brukt et trepunktestimat for å finne forventet gjennomføringstid, men det er flere metoder som gir bedre resultat (Premachandra, 1999). Dette er mye brukt i forsknings- og utviklingsprosjekter, men er ikke like aktuelt i byggebransjen der man ofte kan ha gode tall på gjennomføringstid og at det er mulig å vise til hvor mye arbeid som er gjort og hvor mye som gjenstår. Siden PERT tar noe lengre tid enn CPM vil det da være liten gevinst ved å bruke PERT.

3.2.3 Flyt

For å identifisere hvilke aktiviteter som ligger på den kritiske stien kan man vurdere aktivitetens *flyt*. Dette må ikke forveksles med flyt fra Koskelas TFV-modell der flyt er prosessen mellom transformasjonsprosessene i produksjonen. Her viser flyt til aktivitetens mulighet til å være fleksibel. Hvis aktivitetens maksimale tilgjengelige tid er lik dens gjennomføringstid er aktiviteten kritisk. Når man skal vurdere flyt må en først definere en rekke verdier for hver enkelt aktivitet:

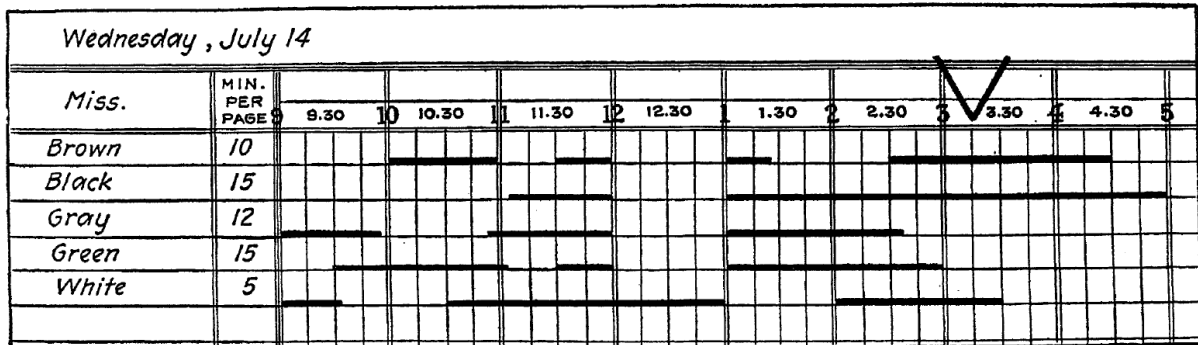
- Tidligste starttidspunkt
- Tiddligste ferdigtidspunkt
- Seneste starttidspunkt
- Seneste ferdigtidspunkt
- Maksimal tilgjengelig tid

Hvis aktivitetens maksimale tilgjengelige tid derimot er større enn varigheten er den ikke-kritisk. Dette medfører at aktiviteten kan enten utsettes til et visst tidspunkt, eller så kan man utvide varigheten med en viss lengde, uten at den påvirker prosjektets varighet eller andre aktiviteter.

For å få en total oversikt over hva som er den kritiske stien, hvordan rekkefølgen på aktiviteter er og hvor stor flyt ikke-kritiske aktiviteter har er det nødvendig med en grafisk fremstilling. En av de mest vanlige fremstillingene er Gantt-skjema.

3.2.4 Gantt-skjema

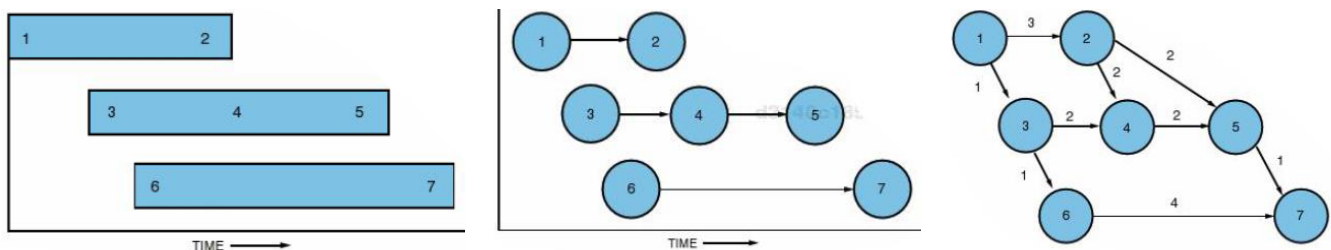
Når aktiviteter som skal gjennomføres er identifiserte vil det være nødvendig å fremstille de på en oversiktlig måte. Her er et Gantt-skjema hendig (Wilson, 2003). Dette er en skjematype som har eksistert i godt over et århundre og har stadig utviklet seg. Figur 5 viser et Gantt-skjema for en enkelt avdeling.



Figur 5: Gantt-skjema (Fig. 2, Wilson, 2003, side 4)

Skjemaet viser hvilke aktiviteter som skal gjennomføres (1. kolonne), hvor lang tid det tar å produsere en enhet (2. kolonne) før det så viser fordelingen av aktiviteter over en kalender. Med denne fremstillingen er det mulig å illustrere hvilke aktiviteter som har/bør ha skjedd, hvilke som skal foregå for øyeblikket og når fremtidige aktiviteter skal starte. Her kan kritisk sti markeres for å utheve hvilke aktiviteter som ikke bør flyttes på. Etter hvert som datamaskiner ble vanlig kunne dette gjøres elektronisk fremfor å måtte gjøre det manuelt på papir. I dag har vi for eksempel OmniPlan eller Microsoft Project (MSP) som er en svært utbredt programvare for prosjektstyring. Ved bruk av slik programvare er det svært enkelt å gjøre endringer på aktiviteterets varighet og når de skal starte.

Gantt-skjema og presedensnettverk er to grafiske måter å fremstille aktiviteterets rekkefølger og varigheter. Det er også mulig å fremstille prosjektet som et presedensnettverk i MSP.



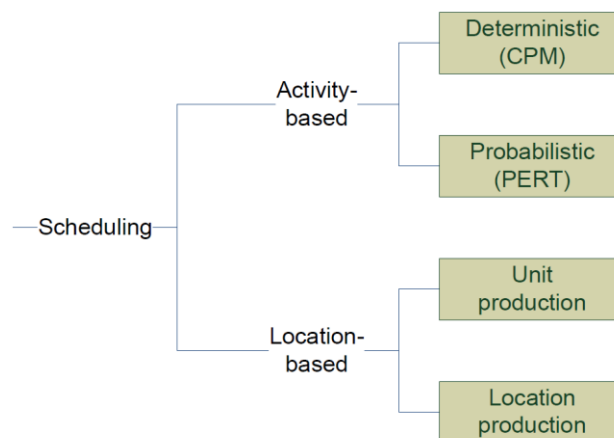
Figur 6: Overgang fra Gantt-fremstilling til PERT-presedensnettverk (Kerzner, 2013)

3.2.5 Problemer med tradisjonell aktivitetsbasert planlegging

Selv om innføringen av aktivitetsbasert planlegging med CPM og Gantt-skjema førte til store besparelser i forhold til manuelle metoder er det likevel problemer med aktivitetsbasert planlegging (Pocock, 1962). Selv etter 50 år med CPM er det fremdeles vanskelig å forutsi med stor nøyaktighet gjennomføringstiden til en aktivitet (Kenley og Seppänen, 2010). En grunn til dette er at CPM ser på hver enkelt aktivitet som en separat hendelse. CPM var opprinnelig utviklet som et verktøy for prosjektoptimalisering (Koskela et al., 2014). Ved å vurdere aktiviteters tids- og ressursforbruk på en kvantitativ måte er det mulig å optimalisere den totale gjennomføringstiden. Men over tid ble CPM benyttet som et verktøy for prosjektstyring og aktivitetsoppfølging, noe det ikke er egnet til. Kenley og Seppänen (2010) foreslår derfor at en annen tilnærming er nødvendig; stedsbasert planlegging.

3.3 Stedsbasert planlegging

I motsetning til den aktivitetsbaserte planleggingen, med fokus på aktivitetenes varighet og ressursforbruk man tradisjonelt har benyttet, har stedsbasert planlegging et fokus på produksjon (Kenley og Seppänen, 2009). Selv om stedsbasert planlegging nok har eksistert like lenge som aktivitetsbasert og begge er like krevende å gjennomføre manuelt er det sistnevnte som er mest utbredt. Dette har mye med å gjøre at kommersielle metoder for å gjennomføre CPM dukket opp, og med datamaskinens ankomst ble dette det mest utbredte prosjektplanleggingsverktøyet (Kenley og Seppänen, 2010).



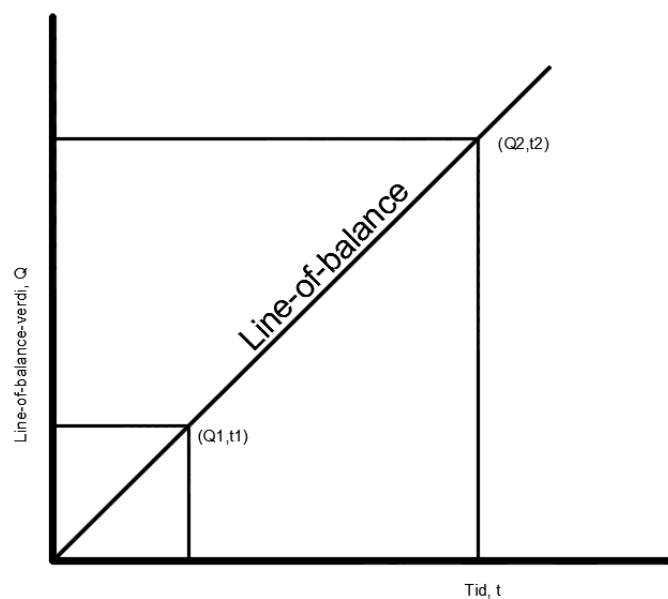
Figur 7: Skillet mellom aktivitetsbasert og stedsbasert planlegging (Kenley og Seppänen, 2009)

Selv om Figur 7 viser til at CPM og PERT tilhører aktivitetsbasert planlegging er det likevel fullt mulig å benytte seg av begge verktøy når man jobber med stedsbasert. Når man planlegger stedsbasert deler man prosjektet opp i soner, som i seg selv inneholder aktiviteter som skal gjennomføres. Disse sonene inneholder gjerne de samme aktivitetene, så om man definerer rekkefølgen i ett område har man ofte samme rekkefølge i de andre sonene. Man kan dermed benytte CPM/PERT for å vise nettverket mellom soner og deres aktiviteter. Det vil gi oversiktlige nettverk innad i hver sone.

I stedsbasert planlegging er det vanlig å skille mellom enhetsproduksjon og stedsproduksjon (Kenley og Seppänen, 2009). Den store forskjellen mellom de er at ved enhetsproduksjon vil det som produseres bevege seg gjennom ulike produksjonssoner, men i stedsproduksjon er det de produserende som beveger seg gjennom soner.

3.3.1 Enhetsproduksjon

Når man snakker om enhetsproduksjon innenfor stedsbasert planlegging er fokuset på kontinuerlig produksjon av like enheter (Kenley og Seppänen, 2009). Dette er gjerne benyttet i fabrikker, blant benytter bilprodusenter seg mye av denne metodikken, der produksjon foregår på samlebånd. Dette passer også for byggeprosjekter med høy grad repetitive områder. En vanlig analyse ved denne typen produksjon er *line-of-balance* (LoB).

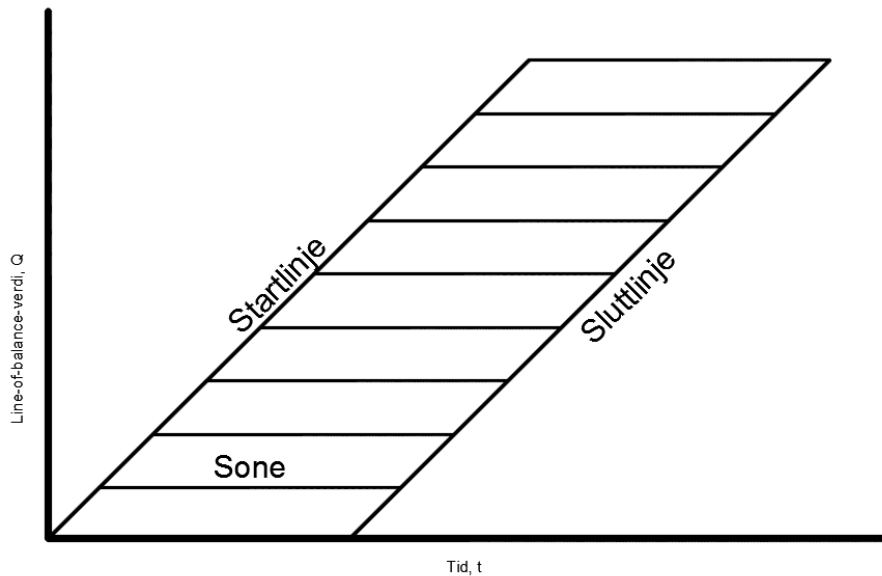


Figur 8: Illustrasjon av tids/leveranse-kurven i Line of Balance

LoB ble opprinnelig designet for å kunne representere områder med høy repetisjon der områdene selv ble beskrevet via CPM. Dette gjorde at en kunne redusere et byggeprosjekt som i CPM alene ville blitt beskrevet med 6.000 til 12.000 aktiviteter nå kunne beskrives med 30 til 60. Dette ble oppnådd ved å modellere ett hus i CPM, for så å repetere det for hvert hus.

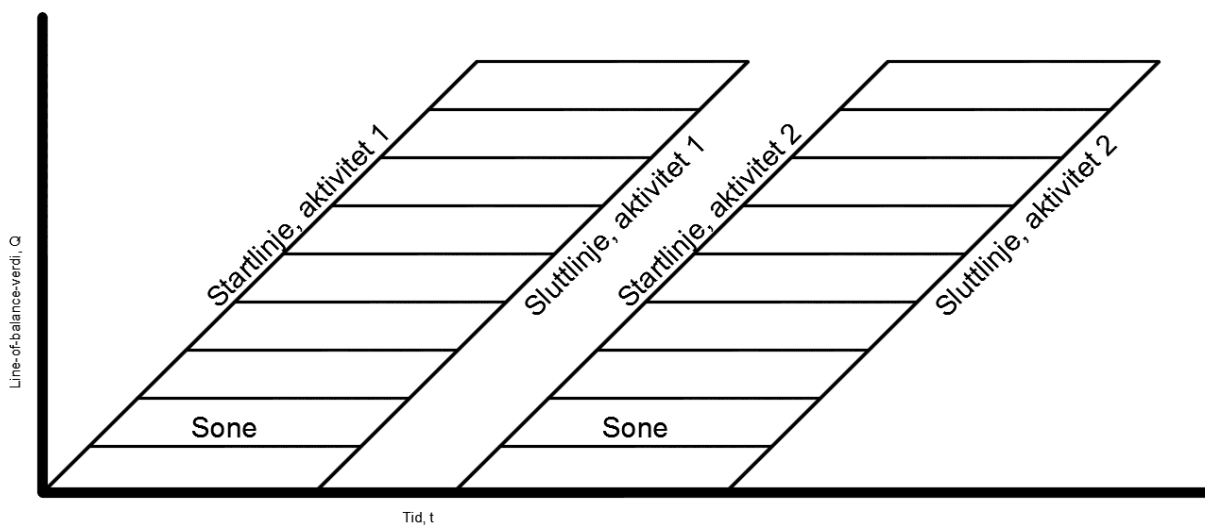
Illustrert i Figur 8 er sammenhengen mellom levert mengde og tid. Den leverte mengden Q er en benevning på hvor mye som er ferdig produsert, og man prøver å tilpasse produksjonen så det er minst mulig avvik fra balanselinjen.

Ved å utvide balanselinjen til en start og en slutt for hver kan en se forløpet (se Figur 9). Etter hvert som første sone ferdigstilles setter man i gang på neste sone. Stigningen på kurven avgjør i hvor stor grad en sone er ferdig før neste igangsettes.



Figur 9: Line of Balance med separat start- og sluttlinje

Essensen med enhetsproduksjon er at man benytter LoB til å tilpasse produksjonen. Skal det gjennomføres flere aktiviteter etter hverandre, som nødvendigvis ikke har lik arbeidsmengde, vil det være nødvendig å tilpasse produksjonen fra aktivitet til aktivitet.



Figur 10: Flere etterfølgende aktiviteter fremstilt med Line of balance

Et eksempel på dette kan være en bilfabrikk som produserer på et samlebånd. For at samlebåndet skal gå jevnt må kapasiteten på hver post tilpasses sånn at samlebåndet blir klart til å rullere samtidig på alle poster. Dette kan planlegges ved å bruke enhetsbasert planlegging.

3.3.2 Stedsproduksjon

Når man planlegger stedsproduksjon er fokuset på å planlegge aktiviteter som foregår på fysiske steder. Tanken er at når man planlegger så må man ta hensyn til når man er ferdig i sonen. Det er ikke vits å bli

ferdig tidligere i første sone om man ikke har mulighet til å bevege seg til andre sone. Den store forskjellen fra enhetsbasert planlegging er at man gjerne har svært komplekse inndelinger. Dette kan relateres til byggeprosjekter, der man nødvendigvis ikke har like stor grad av repetisjon av aktiviteter som man har ved samlebåndsproduksjon. Det kan være den samme aktiviteten som skal utføres, men omfanget av aktiviteten kan være endret. Man kan dermed fortsatt benytte seg av LoB, men det bør også lages et hierarki for inndeling av soner.

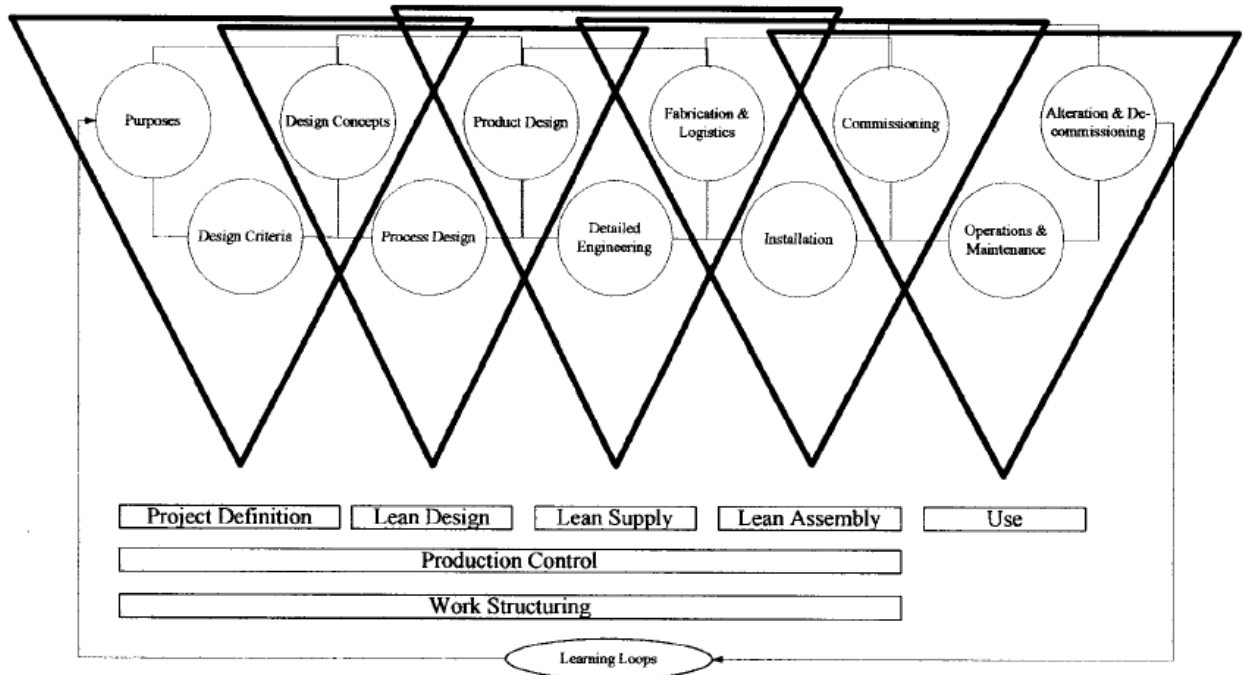
Kenley og Seppänen (2009) anbefaler å bruke *location breakdown structure* (LBS) når man jobber med stedsbasert planlegging. Til forskjell fra den mer kjente *work breakdown structure* (WBS) der man deler opp aktiviteter i mindre og mindre oppgaver deler man ved LBS opp arbeidsområdet. Antall nivåer er avhengig av kompleksiteten til prosjektet, men laveste nivå er gjerne, i et byggeprosjekt, et rom eller en leilighet.

3.4 Prosjektstyring

Selv om både enhetsbasert- og stedsbasert planlegging fungerer ved planlegging av byggeprosjekter mangler det likevel mulighet for styring underveis i prosjektet. Planen kan være god på papiret, men om det oppstår forsinkelser underveis vil det påvirke enten tids- eller bemanningsbehovet på prosjektet. Et system som mange entreprenører benytter seg av er *Last Planner*TM-systemet, som er en del av *Lean Construction*-prinsippet.

3.4.1 Lean Project Delivery System

Byggeprosjekter er preget av at de er unike, midlertidige produksjonssystemer (Ballard og Howell, 2003). Fra prosjekt til prosjekt vil det være store variasjoner, både i hva som skal produseres og sammensetningen av de som skal produsere det. Lean Construction er et prinsipp som oppstod på starten av 90-tallet. Formålet med prinsippet er å gjøre vurderinger og tiltak innenfor hvordan man organiserer byggeprosjekter for å minimere sløsing og maksimere verdi. For å jobbe mot dette har de formalisert metodikken *Lean Project Delivery System* (LPDS). Denne leveransmodellen sammenstiller fasene i et prosjekt slik at prinsipper fra systemdesign for produksjon kan forbedre hele prosjektets leveranse (Østby-Deglum et al., 2013). Med fremstillingen som i Figur 11 er et prosjekt delt opp i fire faser som hver er illustrert med overlappende trekantede. Dette viser at noen av aktivitetene skjer i overgangen mellom faser. I følge Ballard og Howell (2003) er *Last Planner*TM et viktig verktøy for å gjennomføre LPDS.



Figur 11: Prosjektfaser etter Last Planner™-systemet (Ballard og Howell, 2003)

3.4.2 Last Planner™-systemet

Dette systemet er designet med formål om sikre at det er kun aktiviteter som er klare til å starte som faktisk startes (Ballard, 2000). Som tidligere nevnt vil man i stedsbasert planlegging oppnå et avvik fra balanselinjen når det oppstår en forsinkelse i en aktivitet. For å oppnå samtidig ferdigstilling og unngå opphoping av arbeid er det viktig å oppdage problemer før de oppstår. Last Planner™-systemet (LPS) benytter seg av og systematiserer en kombinasjon av to verktøy; en *lookahead*-plan og en *hindringsanalyse*.

Et vanlig verktøy å benytte er en *lookahead*-plan. Generelt er dette en oversikt over hvilke aktiviteter som er planlagt utført i nær fremtid. Har man oversikt over nær fremtid vil det kunne avgjøres hvilke aktiviteter som er klar til å gjennomføres, eller enda viktigere; hvilke som IKKE er klar til å gjennomføres. Ved å systematisere genereringen og bruken av en sann plan vil det hjelpe utførende med å holde seg til den opprinnelige planen for prosjektet.

For å sikre at en kommende aktivitet er mulig å gjennomføre blir det utarbeidet en hindringsanalyse for hver av dem. For at aktiviteten skal kunne gjennomføres som planlagt er den ofte avhengig av at andre aktiviteter har blitt gjennomført. Dette kan være anskaffelse av materialer, innhenting av informasjon, ferdigstilling av foregående aktiviteter eller tilgjengelige ressurser som tid, plass, bemanning eller utstyr.

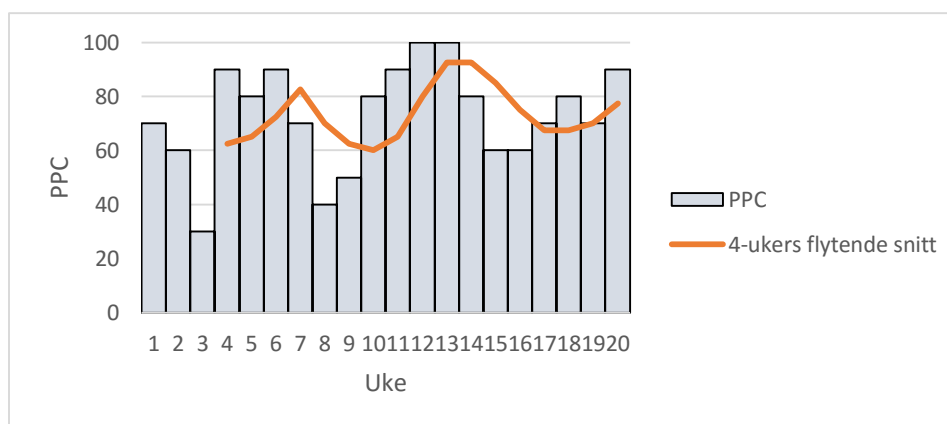
I Figur 12 vises et eksempel på en tabell for hindringsanalyse, etter oppsettet til Ballard og Howell (2003).

Aktivitet	Hindringer						
	Ansvarlig part	Planlagt varighet	Forskrifter	Forutsetninger	Ressurser	Kommentar	Klar?
Design av plate	Bygningsingeniør	15.-27. november	Code 98 Finish? Planhet?	Grunnforhold	10 time arbeid, 1 time stikker		Nei
Skaffe informasjon fra klient om gulvtype og nivå	Løpegutt hos RIB	3.-9. november	OK	OK	OK		Ja
Skaffe informasjon om grunnforhold fra geotekniker	Bygningsingeniør	Innen 9. november	OK	OK	OK		Ja
Layout for verktøystallasjon	Mekanisk ingeniør	15.-27. november	OK	Verktøykonfigurasjon fra produsent	OK	Mulig koordineres med HVAC	Nei

Figur 12: Tabell for hindringsanalyse

I dette tilfellet er design av plate forhindret av at grunnforhold ikke er hentet fra geotekniker. Det vil da være liten vits å sette i gang med designet, siden det kan vise seg at grunnforholdet endrer forutsetningene man antok når man startet.

Når man benytter en lookahead-plan og hindringsanalyse i forbindelse med LPS er fokus på at det skal opparbeides en reserve med gjennomførbart arbeid. Dette kalles gjerne «sunne aktiviteter» (Østby-Deglum et al., 2013). Etter hvert som arbeid planlegges og utføres blir det så registrert hvor stor andel av det som er utført. *Per cent Plan Complete* (PPC) vurderer en tidsperiode, gjerne en uke, hvor mye av det planlagte arbeidet som er faktisk gjennomført (Ballard og Howell, 2003). Ved å analysere dette kan en identifisere hvilke typer arbeider som ikke blir gjennomført etter planen, og dermed innføre tiltak for å rette det opp.

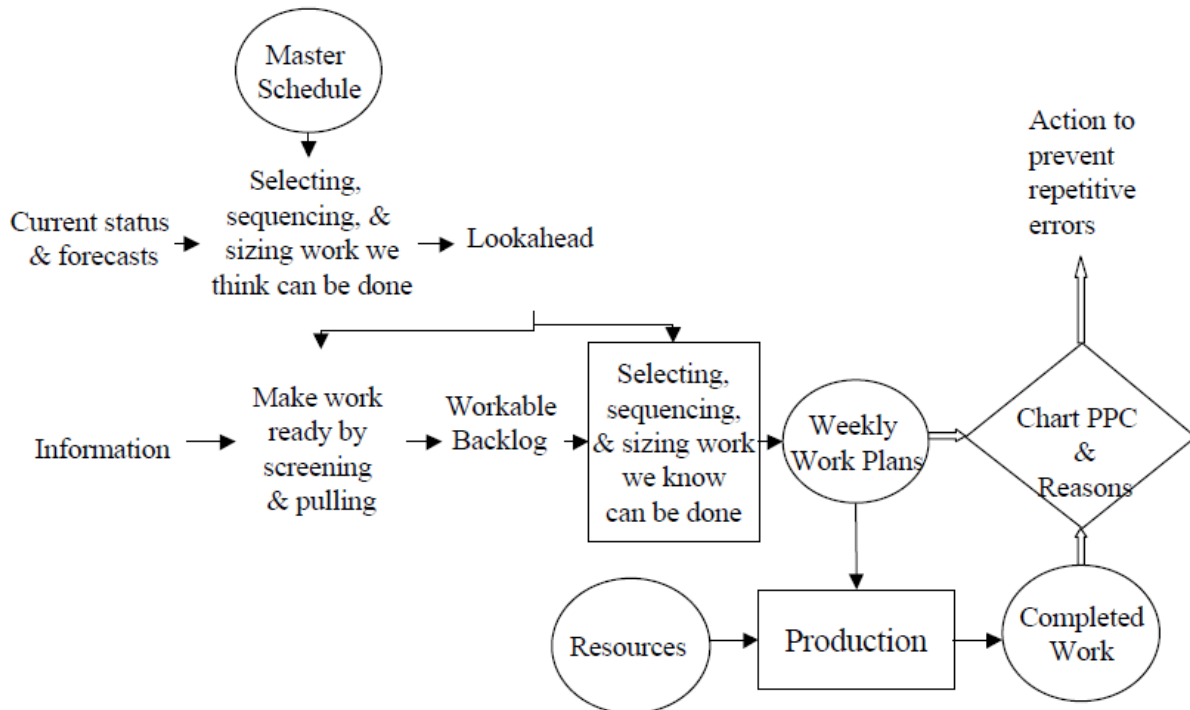


Figur 13: Oversikt over PPC pr. uke over 20 uker

Figur 13 illustrerer forløpet av PPC over 20 uker, samt et flytende snitt av de siste 4 uker. Dette gir en grafisk fremstilling av hvordan lookahead-planen med (u)sunne aktiviteter har fungert. Når man i uke 1

ser at man ikke når 100% PPC kan man gjøre tiltak for å hente seg inn igjen til senere. Om tiltakene ikke fungerer prøver man andre.

Gjennomføringen av LPS er beskrevet av Ballard (2000) og illustreres godt med denne figuren:



Figur 14: Flyttdiagram av LPS (Ballard, 2000)

Man jobber altså med hovedplanen som utgangspunkt. Det velges så ut arbeider som potensielt kan bli utført med basis i nåværende status. Det genereres en lookahead-plan som går videre til vurdering av hindringer. Arbeider som kan gjennomføres, altså der alle tidligere identifiserte hindringer er løst, går så videre til en arbeidsplan som går ut til de utførende. Har man mer arbeid som er klart for gjennomføring enn det som er mulig tidsmessig danner man seg en reserve. Arbeidet som er med videre er da arbeidet som PPC baserer seg på. Om ikke alt arbeidet man tidligere trodde kunne utføres blir gjennomført vil dette identifiseres, før man til slutt prøver tiltak for å endre situasjonen.

3.5 Taktplanlegging

Når man snakker om «lean construction» snakker man ofte om metoder som fokuserer på å oppnå økt verdi og redusert sløsing. Innenfor stedsbasert planlegging kan en takt-tid identifiseres. Dette er den tiden der produksjonsraten av en enhet matcher leveransraten som kunden forventer (Yassine et al., 2014). En metode for hvordan man kan benytte seg av dette er *taktplanlegging*.

Frandsen et al. (2014) definerer taktplanlegging som en metode for arbeidsstrukturering. Arbeidsstrukturering er en del av produksjonssystemet som svarer på følgende spørsmål (Tsao et al., 2000):

1. Hva er størrelsen på arbeidspakkene som blir delegert til utførende spesialister?
2. I hvilken rekkefølge kommer arbeidspakkene?
3. Hvordan blir arbeid sluppet fra en produserende enhet til neste?
4. Vil etterfølgende produksjonsenheter utføre arbeid i en kontinuerlig flyt-prosess eller vil arbeidet være frikoblet?
5. Hvor vil avkoblende buffere være nødvendig og hvor stor bør de være?
6. Når skal forskjellige arbeidspakker gjennomføres?

I følge Frandson et al. (2013), med kommentarer fra Yassine et al. (2014), utvikler taktplanlegging dette gjennom en prosess med seks steg. Rekkefølgen som anbefales vil variere noe, avhengig av anvendelse, men innholdet er som regel det samme:

1. Datainnhenting
 - Vanligvis utført via Last Planner for å identifisere hvordan, av hvem og i hvilken rekkefølge arbeid skal utføres.
2. Sonedefinering
 - Hver sone inkluderer alle steder som har samme produksjonsrate for bestemte oppgaver.
3. Fagrekkefølge
 - Planlegges i fellesskap der alle som har ansvar for at arbeidet utføres deltar
4. Varighet på hvert fags arbeid
 - Prøvegjennomføringer kan være nødvendig for å identifisere faktisk gjennomføringstid, spesielt hvis det er arbeidsoppgaver som ikke er typiske med gode erfaringstall.
5. Balansering av arbeidsflyt
 - Identifiser flaskehalsar og forbedring av produksjonsraten, også for arbeider som går for fort.
6. Ferdigstilling av produksjonsplan etter takttid
 - Hold øye med produksjonen etter at den settes i gang, i tilfelle endringer er nødvendig.

Denne prosessen begynner med en grov definisjon av prosjektet. For hvert steg kommer flere og flere nyanser frem, og til slutt sitter man igjen med en produksjonsplan som jobber for å oppnå kontinuerlig flyt i prosjektet. Arbeidsstruktureringen bør gjerne starte så tidlig som mulig, for å oppnå et best mulig resultat.

Gjennomføringen av taktplanlegging illustreres best ved bruk av flytlinjefremstilling. Ved bruk av Gantt-skjema kommer ikke produktiviteten i aktiviteten frem. Gantt-skjema illustrerer når en aktivitet skal starte, når den er ferdig, hva avhengigheter som er knyttet til en aktivitet og om den har mulighet til å flyttes på. Når man ikke får med produktiviteten er det ingen måte å analysere om man oppnår jevn produksjonsrate. Dette er svært godt illustrert gjennom casen i Yassine et al. (2014) der forfatterne tar

for seg et prosjekt som har blitt forsinket. Metodikken med de seks stegene forklart over ble benyttet, og gjennom to faser med optimalisering ble prosjektets varighet redusert med ~50%. Mer om dette i resultater.

Taktplanlegging er på mange måter svært likt stedsbasert planlegging. Begge metoder jobber med å oppnå kontinuerlig flyt i arbeidet gjennom å utarbeide en fast gjennomføringstid for hver fase. Begge metoder har også en egenskap som reduserer kompleksiteten i produksjonsplanen i forhold til en tradisjonelt utarbeidet plan. I en artikkel skrevet av Frandson et al. (2015) prøver forfatterne å komme frem til hva som skiller taktplanlegging fra stedsbasert, men kommer frem til at det krever mer erfaringstall fra taktplanlegging. Mangelen på slike erfaringstall gjør det vanskelig å gjøre faktabaserte sammenligninger, men det er likevel identifisert ulikheter mellom metodene. Ulikhetene kommer best frem når man ser på hvordan metodene behandler buffere, kontrollerer fremdrift og hvordan de tildeler ressurser.

3.5.1 Behandling av buffere

Når man snakker om buffere i stedsbaserte planleggingstyper er det hovedsakelig fire typer man kan benytte seg av (Frandson et al., 2015):

1. Tid
2. Kapasitet
3. Sted/rom
4. Utførbar reserve/inventar

Stedsbasert planlegging benytter 1, 3 og 4. Tid er den foretrukne bufferen, men sted/rom er også benyttet når arbeider er planlagt i områder som er større enn hva arbeidslaget klarer å utføre med god produktivitet. Ser man på taktplanlegging er det her 2, 3 og 4 som blir benyttet. Kapasitet er den foretrukne bufferen, muliggjort gjennom underbelastning av utførende (planlegger med mindre enn 100% produktivitet). Soner som ikke er inkludert i taktfremgangen kan også benyttes.

3.5.2 Kontroll av fremdrift

Ved stedsbasert planlegging skjer fremdriftskontrollen «top down», som regel gjennom at en prosjektingeniør følger opp fremdriften, utarbeider prognoser og identifiserer problemer. Til sammenligning har man ved taktplanlegging allerede en prognose for fremdrift gjennom taktplanen. Skjer det avvik fra planen rapporteres dette oppover i systemet, men så lenge alt går etter planen er ikke dette nødvendig. Dette gir for eksempel underentreprenører større frihet til å utføre sine arbeidsoppgaver, så lenge de blir gjennomført i tide.

3.5.3 Tildeling av ressurser

Når Frandson et al. (2015) snakker om ressursfordeling er dette med fokus på bemanning. I stedsbasert planlegging er fokuset på å holde lik bemanning i hvert arbeidslag gjennom hele prosjektet. Varigheten

på de forskjellige oppgavene og aktivitetene blir da avhengig av hvilken produktivitet man optimalt klarer å oppnå, der optimalt tilsvarer ingen forstyrrelser. Aktivitetene er da bufret med tid for å klare å holde arbeiderne i aktivitet.

Ved taktplanlegging prøver man å holde belastningen på arbeidslagene under maksimal belastning, altså at arbeidslagene har kapasitet til å utføre mer enn det arbeidet som inngår i hver takt-tid. På denne måten kan en sørge for jevn flyt og forutsigbar overlevering av sonen til neste arbeidslag. Det er da forventet at man blir ferdig før tiden og en kan da bruke tiden til å arbeide med oppgaver som er utenfor taktplanen, forberede seg til neste sone eller forsøke å forbedre utførelsen ved å gå gjennom hvordan arbeidet har gått. Hvis det er tydelig at arbeidet blir for fort gjennomført kan en vurdere om man skal redusere bemanningen. Dette kan også oppstå hvis det er kontinuerlig forbedring fra sone til sone og at man da oppnår for rask gjennomføring.

3.5.4 Kriterier for taktplanlegging

Bølviken et al. (2015) foreslår et sett med kriterier et prosjekt kan oppfylle som gjør prosjektet velegnet for å benytte ulike planleggingsmetodikker. De deles inn i fire kategorier; aktivitetene, bruk av tid, bruk av sted og formålets velegnethet. Følgende kriterier er foreslåtte indikatorer for at taktplanlegging vil fungere godt:

- **Aktiviteter:** De bør være så uavhengige av andre aktiviteter som mulig, og alle forhåndsbetingelser for at sunne aktiviteter er identifisert
- **Bruk av tid:** Den korrekte sekvensen av aktiviteter samt logikken mellom de bør være identifisert. Varigheten til aktivitetene bør overholde det etablerte rammeverket
- **Bruk av sted:** Prosjektet bør være enkelt å dele inn i soner, med en egnet retning fagene kan bevege seg gjennom bygget der bare ett fag jobber i hver sone til enhver tid

Selv om de poengter at taktplanlegging fungerer godt når prosjektet kan bli delt inn i tydelige soner med repeterende arbeider så er det likevel ikke avhengig av dette for å fungere. Det har blitt benyttet med suksess av Linnik et al. (2013) på et eksperiment med ikke-repeterende arbeider. En av fordelene med å ha repeterende soner er vist av Kenley og Seppänen (2009). Det gir mulighet for å planlegge én sone, for så å kopiere planen til de resterende sonene uten mye tilleggsarbeid.

3.6 Erfaringer med taktplanlegging

Veidekke Entreprenør i Trondheim har tidligere gjennomført to prosjekter der de har benyttet taktplanlegging; Kunnskapssenteret ved St. Olavs og en av radene med rekkehus ved boligprosjektet Horneberg B3. Begge prosjektene og bruken av taktplanlegging ble vurdert gjennom hver sin masteroppgave. Formålet med vurderingen av å undersøke hvordan taktplanlegging påvirket prosjektene og om det er en god metode for prosjektplanlegging og -gjennomføring. Følgende er en gjennomgang av erfaringene som ble dokumentert i den forbindelse, samt noen erfaringer fra utenlandske casestudier.

3.6.1 Kunnskapssenteret ved St. Olavs Hospital

I «Taktplanlegging: En god metode for å gjennomføre produksjon i byggeprosjekter» (Smiseth, 2013) evalueres taktplanlegging gjennom en analyse av gjennomføringen av Kunnskapssenteret ved St. Olavs Hospital. Totalt sett var dette prosjektet en suksess for Veidekke Entreprenør, men siden det var et svært komplekst prosjekt og det første gjennomført med taktplanlegging opplevde man noen uheldige hendelser. En rekke grunner til hvorfor, og forslag til hvordan det kan løses presenteres og gjengis her:

- Kun 32% av aktivitetene ble startet på planlagt tidspunkt
 - Sannsynlig årsak: kun 35% av aktivitetene ble avsluttet til riktig tid

Som tidligere nevnt er det viktig at man avslutter aktiviteter til korrekt tid når man benytter taktplanlegging. Dette kan man oppnå ved å planlegge med redusert produktivitet, altså ved å implementere en type buffer. Ved Kunnskapssenteret ble det gjennomført intervjuer, og det avdekte at det ikke var god nok kontroll på variabiliteten i aktivitetene. Dette bør være fokus ved senere bruk av taktplanlegging
- Feil leveransetidspunkt av tegninger
 - Sannsynlig årsak: for lite fokus på leveransetidspunkt i prosjekteringen

Dette var et av de svake leddene i den kontinuerlige produksjonen. Gjennom hindringsanalyse i LPS vil «korrekte tegninger» være et hinder for å starte produksjon, spesielt av komplekse bygningsdetaljer. At produksjonen av tegninger gikk sakte var en flaskehals for produksjonen, noe Yassine et al. (2014) har fokus på å eliminere. Det må dermed være fokus på at prosjekteringen er i rute, gjerne gjennom en lookahead-plan.
- Dårlig holdninger og involvering av alle ledd i prosjektorganisasjonen

For å sikre god kommunikasjon mellom involverte parter er det nødvendig med tilstrekkelig opplæring av de som jobber i et taktplanlagt prosjekt. Taktplanlegging er avhengig av at det rapporteres når det er avvik fra planen, og om man ikke har kunnskap til dette vil et viktig ledd i planen falle bort.

Det konkluderes med at det er for lite tilgjengelig data å sammenligne med for å kunne avgjøre om taktplanlegging er en god gjennomføringsmodell. Spesielt fremheves det at det vil være interessant med tall fra mindre komplekse prosjekter med høy grad repetisjon, noe Kunnskapssenteret ikke var.

3.6.2 Horneberg

I masteroppgaven «Nytten av Taktplanlegging – Casestudie av prosjekt Horneberg B3» (Mordal, 2014) ble det gjort en analyse av taktplanleggingen ved ett av rekkehusene ved Horneberg-utbyggingen. Noe som var spesielt for dette prosjektet var at utbyggingen inneholdt flere svært like rekkehus. Det ble valg

å gjennomføre ett av de med taktplanlegging (det siste som ble bygd) for å kunne sammenligne mot de andre som ble gjennomført med tradisjonell planlegging.

Selve rekkehuset hadde lav kompleksitet og høy grad av repeterende soner, noe både Smiseth (2013) og Bølviken et al. (2015) påpekte ville være interessant å benytte taktplanlegging på. Dette gjenspeiler seg i resultatene på gjennomføringstid, og da kostnad, man oppnådde ved prosjektet. Resultatene viste til gode tall, som kan sies er hovederfaringen fra denne evalueringen.

- Utførte timeverk

Analysene av prosjektet viser at man ved bruk av taktplanlegging reduserte antall utførte timeverk for tømmerne med 13% sammenlignet med de tradisjonelt planlagte byggene. Dette er interessant siden det ikke var noen reduksjon i mengden arbeid som skulle utføres, men arbeidet ble heller utført mer effektivt. På grunn av reduksjonen i antall utførte timeverk kunne de vise til direkte lavere kostnader.

- Reduksjon i total byggetid

Forskjellen i total byggetid mellom et tradisjonelt planlagt rekkehus og det taktplanlagte var på nesten 5 dager per leilighet. Dette viser at ikke bare har timeverkene gått ned pga. effektivisering, men man har fått den samme arbeidsmengden inn på kortere tid.

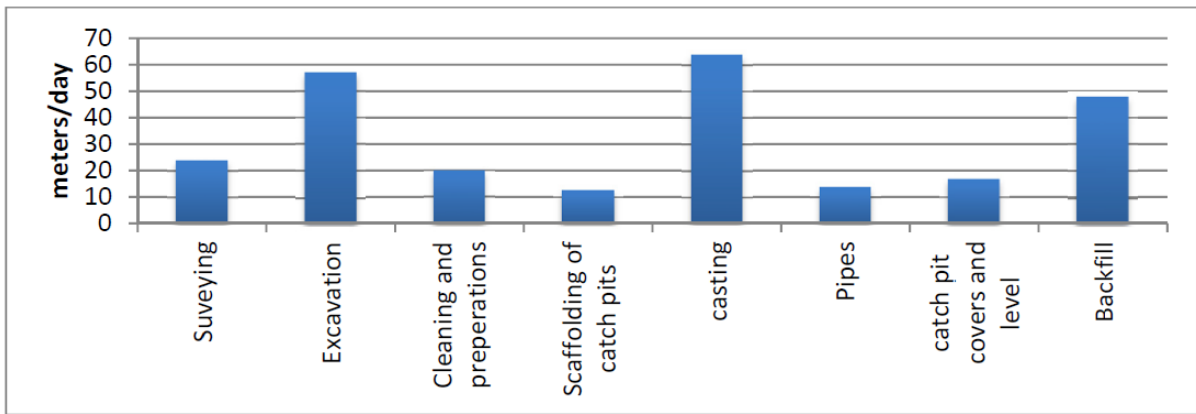
Det vises også til at arbeiderne likte godt å jobbe under taktmodellen. Intervjuer gjennomført viste at et fokus på at fagarbeidernes arbeidsdag skal være godt organisert gav god trivsel.

3.6.3 Erfaringer internasjonalt: optimalisering for kontinuerlig flyt

I artikkelen «Implementing takt-time planning in construction to improve work flow» av Yassine et al. (2014) gjennomføres taktplanlegging på en rekke aktiviteter som henger etter tidsmessig i prosjektet og trenger en oppstramming. Arbeidet som skal utføres er bygging av slamkasser og består av 8 separate oppgaver, utført av forskjellige fag:

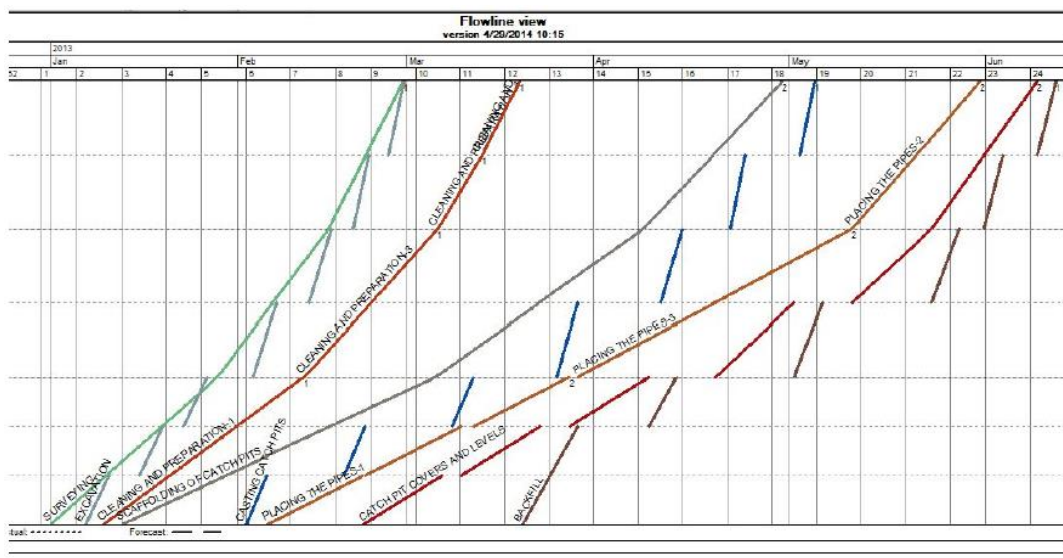
- Stikning
- Graving
- Rens og forberedning
- Stillas/rammeverk
- Støpning
- Rør
- Lukking og avretting
- Tilbakefylling

De analyserer den eksisterende planleggingen og finner ut at det er en rekke flaskehalser og feiltilpasset bemanning i forhold til nødvendig produksjon.



Figur 15: Ulike fags produktivitetsskapitet (Yassine et al., 2014)

Ved å fremstille den eksisterende planen med tradisjonelt Gantt-skjema ser planleggingen grei ut og man skulle tro at dette var gjennomførbart. Tar man å fremstiller det med flytlinje-metoden derimot (Figur 16) ser man at det er stor forskjell mellom produksjonskapasiteten til de ulike fagene. Dette gjør at det er umulig å oppnå kontinuerlig flyt.

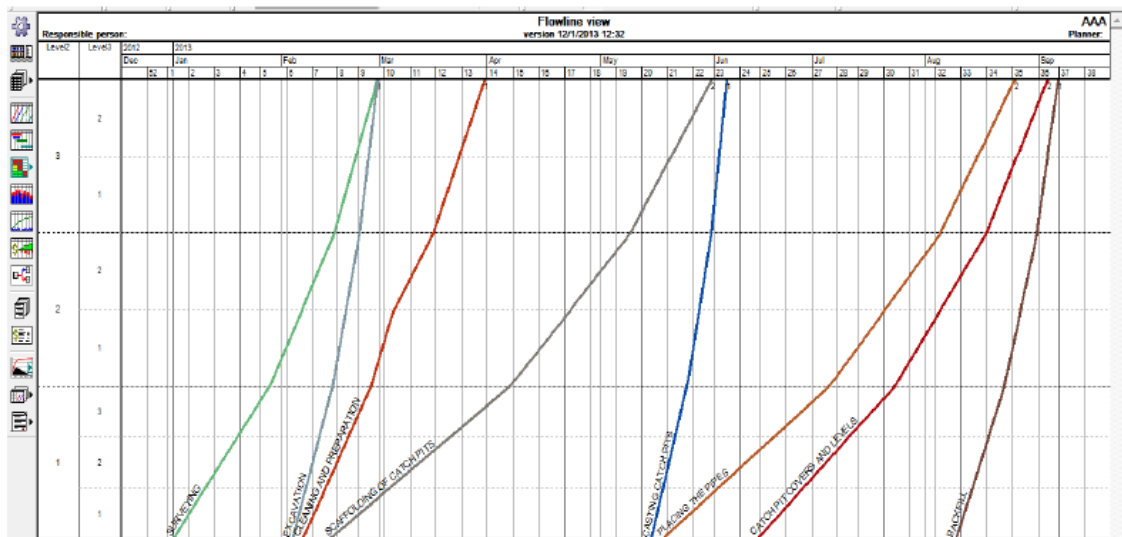


Figur 16: Flytlinjefremstilling av dårlig optimalisert prosjekt (Yassine et al., 2014)

Noen av arbeidslagene jobber så raskt at de tar igjen arbeidslaget foran seg og må ta pauser. Dette foreslår de å gjøre noe med, og de anbefaler en to-steps-prosess:

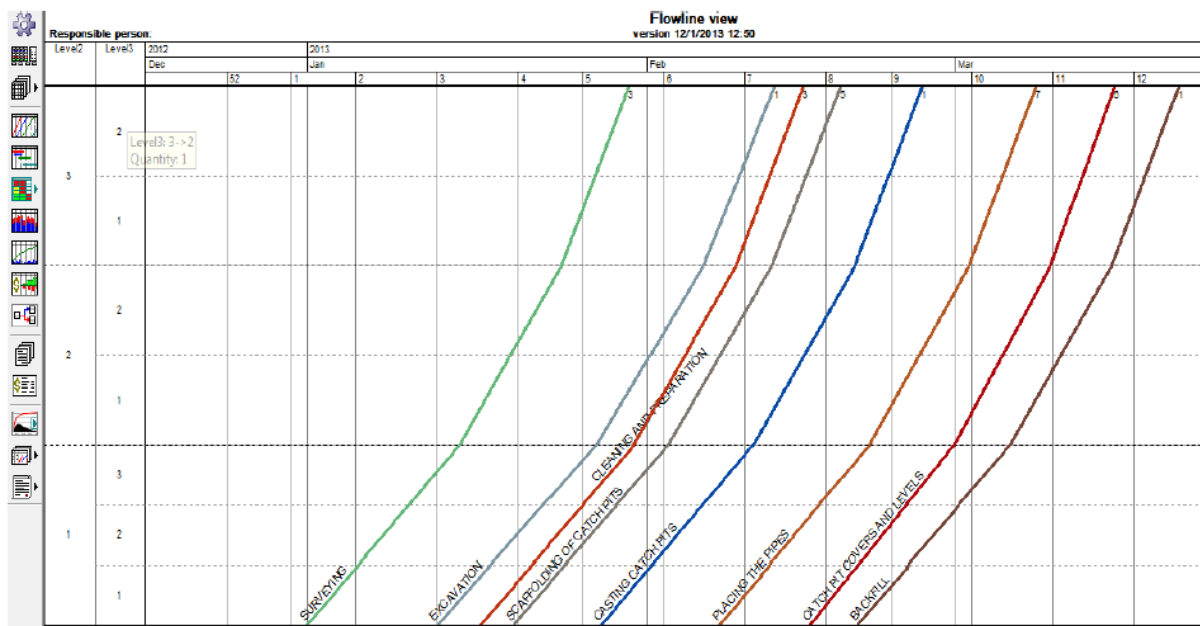
1. Gjøre alle oppgaver kontinuerlige. Dette gjør de ved å utsette startdato til de har mulighet for kontinuerlig flyt i arbeidet sitt.
2. Justere bemanning for å tilpasse behovet for produksjon. Dette gjøres for å unngå sløsing som oppstår mellom å ha en hurtig oppgave etterfulgt av en saktegående en.

Flytlinje-fremstilling etter steg 1:



Figur 17: Prosjektet fremstilt etter optimalisering for kontinuerlig flyt (Yassine et al., 2014)

Når fase 2 er gjennomført ser den ut som følgende, og en total gjennomføringstid har gått fra 105 dager til bare 54. Dette er en reduksjon på ca. 50%, noe som er svært godt nytt for prosjektet. Se Figur 18.



Figur 18: Prosjektet er optimalisert for kontinuerlig flyt og lik produktivetskapasitet (Yassine et al., 2014)

3.6.4 Erfaringer internasjonalt: taktplanlegging med lite repeterende arbeid

Linnik et al. (2013) gjennomførte et eksperiment ved byggingen av Sutter Health Anderson Lucchetti Women's and Children's Center (WCC), et sykehus i Sacramento, USA. De påpeker at taktplanlegging er best egnet for prosjekter med høy grad av repetisjon, noe dette prosjektet ikke har. Gjennom en location breakdown structure prøver taktplanlegging å gjøre arbeidsflyten kontinuerlig for å redusere total gjennomføringstid. Dette reduserer så kostnader og øker forutsigbarheten i arbeidet. Gjennom eksperimentet ville de finne ut hvordan dette egnet seg på prosjekter med svært lav grad av repetisjon.

Fra eksperimentet fant de at det er svært viktig at arbeidsflyten er jevn for det faget som er flaskehalsen i fremdriften. Fagene som ikke var flaskehals opplevde svært liten forskjell mellom aktivitetsbasert og stedsbasert planlegging. Derimot opplevde flaskehalsene et stort press på å bli ferdig i tide, noe som førte til redusert produktivitet. Likevel opplevde de å komme i mål i løpet av taktsyklusen nesten 100% av tiden. Da undersøkelsen ble gjennomført var ikke prosjektet ferdigstilt, men de lå an til å oppnå en reduksjon på gjennomføringstiden på 17%, til tross for at de støtte på mange hindringer i form av designproblemer.

Erfaringer fra eksperimentet er blant annet:

- Begynn med taktplanlegging helt fra starten av prosjektet. Knytt det gjerne opp mot BIM gjennom å definere soner ved hjelp av take-off-funksjoner. Kan hjelpe til med å lage en god location breakdown structure.
- En taktplanleggingsprosess vil dra stor nytte av å forstå variablene mellom takt-tid og sonestørrelse, identifisering av flaskehals-fag og estimat for deres produksjonskapasitet. Her kan prøvegjennomføringer være et nyttig hjelpemiddel.

3.6.5 State-of-the-art: VICO Control

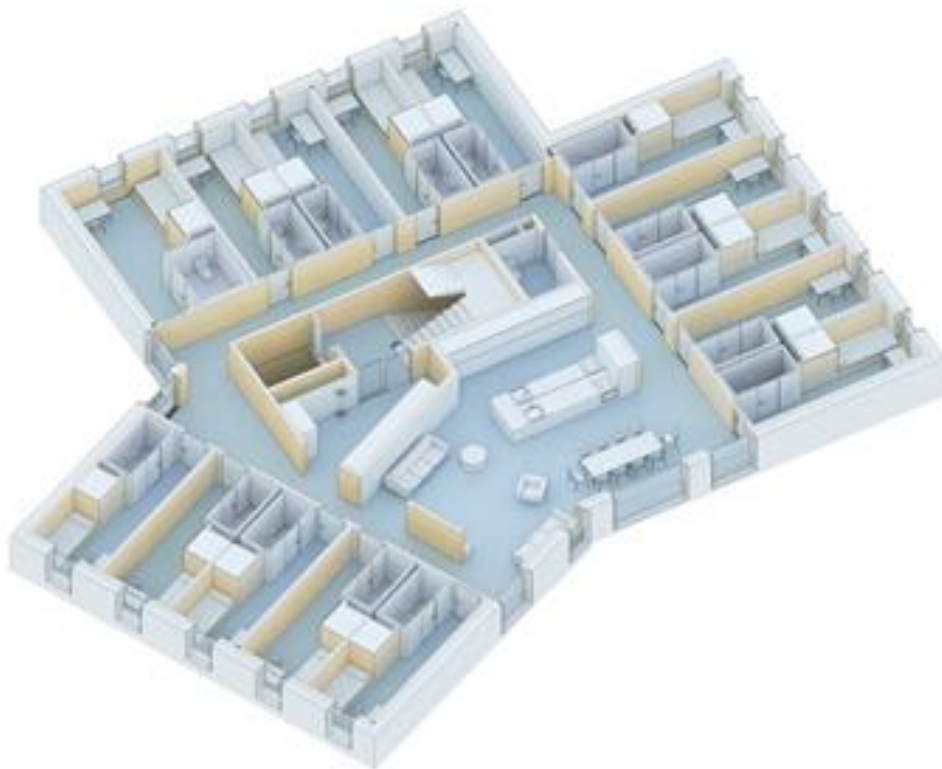
Et av de mest utbredte programvarene for utarbeiding av fremdriftsplaner er Microsoft Project. Når man benytter denne programvaren jobber man som regel med et Gantt-skjema etter CPM/PERT-metoden, noe som er en svært vanlig måte å organisere byggeprosjekter. I Yassine et al. (2014) vises det til at denne fremstillingen ikke tilstrekkelig får frem planlagt produksjonskapasitet til de ulike arbeidslagene. Derfor er flytlinjefremstillingen mye bedre egnet for optimalisering av prosjekter der man sikter seg inn mot kontinuerlig arbeidsflyt, som er vist viktig i stedsbasert planlegging. En programvare som er god på dette er VICO Control. Dette programmet er utviklet av Olli Seppänen, som regnes som en av de største autoritetene innenfor stedsbasert planlegging og taktplanlegging.

4 Resultater

Dette kapitlet inneholder informasjonen som ble avdekket gjennom intervjurunden. Først presenteres caseprosjektet Moholt 50|50. Deretter kommer en gjennomgang av hvordan prosessen med å generere taktplanen gikk for seg og hvordan den fungerte i bruk. Til slutt presenteres intervjuobjektens meninger angående fremtidig bruk av taktplanlegging.

4.1 Moholt 50|50

Dette prosjektet er Veidekkes seneste prosjekt der taktplanlegging benyttes. Prosjektet er Europas største massivtreprosjekt (Egge og Nilsen, 2016). Det består av fem høyblokker og en barnehage i massivtre, samt fellesarealer, uteområder og en parkeringskjeller. Høyblokkene har 9 etasjer hver, der alle bortsett fra første etasje består av hybler. Hver etasje er sitt eget kollektiv der de deler kjøkken og fellesarealer men med separate bad, og totalt inneholder prosjektet hele 632 hybler. Første etasje i hver blokk har ulik bruk, med både legekontor, treningsrom med mer. De bebodde etasjene er mer eller mindre identisk med høy grad av repetisjon, noe som gjør prosjektet godt egnet for taktplanlegging (se Figur 19).



Figur 19: En etasje med hybler ved Moholt 50|50

Prosjektet bygges for Studentsamskipnaden i Trondheim (SiT) med mål om å ferdigstille de tre første høyblokkene og barnehagen til semesterstart høsten 2016. Taktplanlegging ble underveis sett på som avgjørende for å kunne nå denne tidsfristen, og det ble avgjort at det skulle benyttes på innredningen av

høyblokkene. Kombinert med den raske oppføringen av massivtrekonstruksjonen og prefabrikerte badromskabiner har prosjektet hatt rask fremgang.

4.2 Utarbeiding av taktplanen

Prosessen med å generere taktplanen startet tidlig i prosjektet, der anleggsleder for innvendige arbeider i høyblokkene ledet an. Han har opplæring i Porsche Takt, men med sine egne tilpasninger basert på tidligere erfaringer fra de to tidligere nevnte prosjektene til Veidekke der han også var anleggsleder/taktsjef. Han var dermed den mest erfarne med bruk av planleggingsmetodikken og hadde i forkant brukt mye tid på å evaluere erfaringene fra de tidligere prosjektene. Han poengterte at metoden for taktplanlegging som han benytter fokuserer på å identifisere rekkefølgen på fagene med et ønske om at fagene skal færrest mulig ganger innom hver sone. Dette med mål om å redusere ikke-produktiv tid brukt til flyt mellom aktivitetene.

Opprinnelig plan og frist: I følge anleggslederen var det en utfordring å gjennomføre prosjektet i henhold til tidsfristene som ble satt. Opprinnelig var det utarbeidet en produksjonsplan etter tradisjonelle metoder, men det viste seg raskt at det ikke var mulig å nå tidsfristen med denne planen. Det var da utviklet en grov taktplan for å illustrere konseptet. Denne ble vist til prosjektlederen, og det viste seg at dette ville være veien videre. Den tradisjonelle planen ble forkastet og arbeidet med å lage en fullverdig taktplan startet opp.

Siden taktplanen skulle ta for seg innredningen av høyblokkene var det nødvendig å forholde seg til mange av milepælene fra den opprinnelige planen, da massivtreet og utvendige arbeider på høyblokkene forholdt seg til denne. For eksempel var tett bygg nødvendig før mange av arbeidene kunne starte, da de krevde tørre arbeidsforhold. Dette gjorde det da avhengig av utvendige arbeider som takteking og utvendig kledning.

Taktmøter: Når tidsrammen for taktplanen var satt var neste punkt å identifisere arbeidspakkene til de ulike fagene og rekkefølgen de måtte gjennomføres i. Dette ble gjort gjennom å arrangere taktmøter. Totalt ble tre taktmøter gjennomført, og i disse møtene deltok representanter fra de ulike fagene og underentreprenørene. Målet med møtene var blant annet å identifisere:

- De ulike fagenes oppgaver
- Rekkefølgen de gjennomføres i
- Sonestørrelse og størrelse på buffer
- Takttid

I løpet av møtene delte deltakerne seg inn i grupper med representanter fra hvert fag. De gikk gjennom en plantegning i fellesskap og snakket om hva og hvor deres oppgaver var og om de var avhengige av andre fags oppgaver. For eksempel kunne de som jobbet med ventilasjonssystemet utføre mer arbeid hvis elektrikerer hadde allerede utført deler av jobben sin.

Når høyblokkenes utforming ble betraktet var sonene satt til én etasje med taktid på én uke. Det ble diskutert en taktid på to dager, men dette ble gått bort fra etter hvert da det ville medført mindre sonestørrelse. Det ble også foreslått å ha to ukers taktid fordi dette passet bedre for en av underentreprenørene. Dette ville også påvirket sonestørrelsen med behov for to etasjer pr. sone. Dette ble vurdert som lite praktisk siden de da måtte brukt mye tid på å bevege seg frem og tilbake mellom etasjene. Dette ville ført til mye ikke-produktivt tidsforbruk, noe en taktplan har som mål å redusere. Forslaget ble gått bort fra og til slutt var alle med på planen om én etasje pr. uke.

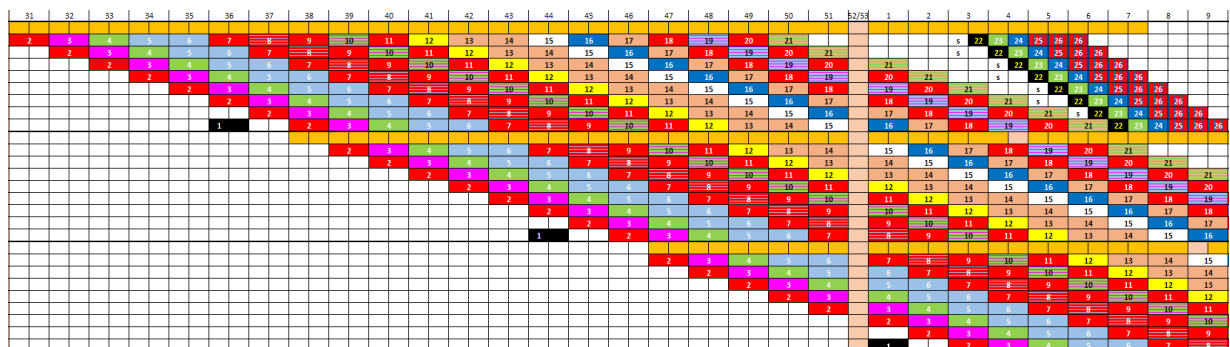
Med denne avgjørelsen gjort var det så tid for å bestemme rekkefølge på fag og arbeidspakker. Metoden her var å betrakte en kalender i fellesskap, der hvert fag fikk utdelt hver sin farge post-it-lapper. På disse lappene skrev de ned sine oppgaver og festet de på kalenderen samtidig som de diskuterte mellom seg hvordan de ulike fagene påvirket hverandres oppgaver. Denne metoden gav de ulike fagene god mulighet til å forstå de andre fagene og deres begrensninger. Det bidro også til å kaste lys over alternativer og potensielle problemer før man låste rekkefølgen på fagene. I Porsche Takt-terminologi benevnes hver post-it-lapp som en «vogn» i «takt-toget» som beveger seg gjennom sonene. Ved å fokusere på å kombinere så mange likefargede post-it-lapper etter hverandre kunne arbeidet slås sammen og man kunne redusere antall ganger hvert enkelt fag besøker hver sone. Man justerte så bemanningen for å kunne gjennomføre alle oppgavene som utgjorde vognen.



Figur 20: Post-it-vegg ved taktmøte nr. 2

Taktplanen: Etter at taktmøtene var gjennomført var det opp til anleggslederen å generere den faktiske taktplanen. Grunnlaget var nå bestemt, med fagrekkefølge, takttid og soneinndeling allerede bestemt fra møtene. Idéen bak taktplanen var å oppnå så jevn som mulig fremgang gjennom størsteparten av prosjektet, men den mindre kompletterings- og ferdigstillingsfase mot overleveringsfristen. Dette gav noe rom for å kompensere for problemer uten at det påvirket ferdigstillingsdatoen nevneverdig, spesielt for fagene som ikke trengte å delta i ferdigstillingen.

Figur 21 viser et utsnitt av den ferdige taktplanen, laget i Microsoft Excel. Y-aksen viser soner og x-aksen viser takttiden der én celle representerer én taktperiode. Utsnittet viser mesteparten av taktplanen for de tre første høyblokkene, A, B og C, med 26 vogner pr. høyblokk.



Figur 21: Utdrag fra taktplanen til Moholt 50/50

Hver vogn har en tilhørende farge som indikerer hvilke fag som utfører arbeid. For eksempel, rødt er tømrer, rosa er rørlegger, grønt er HVAC og blå er elektriker. Noen vogner krevde at to fag samarbeider, og disse er indikert med en kombinasjon av fargene. Dette gjorde taktplanen oversiktlig og lettfattelig. De oransje cellene er første etasje i hver høyblokk. Disse etasjene ble benyttet som buffer og er ikke med i taktplanen på noen annen måte.

4.3 Taktplanen i bruk

Da undersøkelsen ble gjennomført var taktplanen gjennomført på første høyblokk og godt på vei i den andre. Intervjuene med de som var med i produksjonen satte lys på hvordan taktplanen hadde vært å jobbe med så langt. Både representanter fra totalentreprenør og underentreprenørene ble intervjuet, både fagarbeidere og de i prosjektadministrasjonen, og med karrierer på 10 til 30+ år satt de på mye erfaring fra byggebransjen. Siden taktplanlegging ikke er så utbredt i Norge var fokuset på hvordan Moholt 50/50 opplevdes sammenlignet med tidligere erfaringer. De fleste hadde aldri jobbet med en taktplan tidligere, men enkelte hadde vært med på Kunnskapssenteret eller Horneberg B3 på en eller annen måte.

4.3.1 Tidligere erfaringer

De som jobbet på Kunnskapssenteret var alle enige i det prosjektet var et vanskelig prosjekt å prøve ut taktplanlegging for første gang på. Dette var et komplekst sykehusprosjekt med liten grad av repetisjon og det stilte høye krav til de tekniske installasjonene og de som monterte de. Dette gjorde det vanskelig

å benytte seg av kun ett enkelt takt-tog, og prosjektet måtte deles opp med mye frem og tilbake mellom sonene. På grunn av mye lavere grad av repetisjon enn ved Moholt 50|50 var det nødvendig med mye større kontroll av variabilitet gjennom å mye oppfølging og ved å ha en fleksibel bemanning. Når det lave antallet arbeidspakker som var ferdig i tide ble betraktet var dette begrunnet som årsaken. De fleste var enige i at en taktplan ved Kunnskapssenteret ville nå vært mulig å gjennomføre mye bedre da de har mer erfaring med metoden. Et positivt utfall var at når noe først gikk galt så ble det oppdaget raskt. Siden en taktplan baserer seg på å ha gjennomført hindringsanalyser er det allerede vurdert hva som må være ferdig før neste oppgave kan starte. Når en oppgave ikke var ferdig i tide ble det dermed raskt mulig å gjennomføre tiltak. Ved en tradisjonell gjennomføring av prosjektet ville dette muligens ikke oppdages før mye senere i prosjektet.

Ved Horneberg B3 fungerte taktplanen mye bedre. Som indikert av Mordal (2014) var det en målbar økning i produktivitet, som forbedret både gjennomføringstid og -kostnader. Dette stemte overens med intervjuene, der det ble poengtert at Horneberg B3 var et mye mindre komplekst prosjekt med større grad av repetisjon. Prosjektet bestod av flere rekkehus der alle bortsett fra den siste rekken ble bygd uten taktplanlegging. Ved å logge timene tømrerne brukte og produktiviteten fra hus til hus var det tydelig at taktplanlegging bidro positivt til prosjektet, både med tanke på kostnad og tid. Anleggslederen poengterte at han hadde brukt mye tid etter Kunnskapssenteret på å evaluere metoden for taktplanlegging. Dette benyttet han seg av på Horneberg B3 med suksess. Selv om prosjektet ikke gikk helt uten problemer var taktplanen robust nok til å takle det.

4.3.2 Å jobbe med taktplanen ved Moholt 50|50

Når intervjuobjektene ble spurt om hvordan det var å jobbe med taktplanen ved Moholt 50|50 var svarene enstemmig positive. Logistikk ble plukket ut som en av nøkkelområdene der taktplanen var vellykket og hadde fungert så langt med bare mindre hindringer. Når den begrensede tilgangen på lagringsplass på området ble betraktet var det forventet større problemer med logistikken. Med en høy andel repeterende arbeider hadde flere arbeidslag opplevd en økning i produktivitet etter hvert som oppgavene ble repetert. Enkelte arbeidslag startet med så mye som fem personer, men underveis var det mulig å redusere til bare to. Dette var noe forventet, og fra tidligere erfaring hadde anleggslederen bedt arbeidslederne starte med høy bemanning for å kunne redusere underveis.

Enkelte poengterte at det hadde vært noen problemer med arbeidspakker som ikke ble ferdig i tide. Dette førte til forsinkelser siden neste fag da måtte vente. Grunnen til dette ble forklart ved at det hadde vært et leveranseproblem fra dørprodusenten. Løsningen ble å montere midlertidige dører og la produsenten bytte de ut selv etter hvert som de klarte å levere. Ellers var arbeidspakkene i rute, og anleggsleder poengterte at det hadde vært svært lite sløsing knyttet til venting i forhold til andre prosjekter. Dette resulterte til at arbeidsdagen ble brukt i stor grad på produktivt arbeid, og på grunn av akkordlønnssystemet medførte dette svært gode lønningen for håndverkerne. Dette systemet baserer seg

på å betale enhetspris etter faktisk produksjon. Altså betales det ut en enhetspris, for eksempel kr/meter vegg produsert. Dette regnes så om til en timelønn, og ved Moholt 50|50 var det opplevd timelønn helt opp i 325 kr/time. I prosjekter som ikke benytter taktplanlegging forventer man å ligge på 270-280 kr/timen, noe som er en økning på ~18% ved dette prosjektet. Resultatet av dette var at taktplanlegging ikke reduserte så mye kostnadene som forventet. Anleggsleder foreslo å gjøre forsøk med andre lønssystemer, for eksempel en fast timeslønn, for å kunne få mest mulig ut av taktplanen. Med tanke på kostnad var det antatt en reduksjon i kostnader knyttet til prosjektadministrasjonen siden det her benyttes fast månedslønn. Ved å korte ned gjennomføringstiden av prosjektet tenkte man at det ville redusere antall måneder prosjektadministrasjonen var nødvendig, men ved undersøkelsens tidspunkt ble ikke dette opplevd. Grunnen til dette var at prosjektet krevde en noe større prosjektadministrasjon enn tidligere prosjekter.

Når det ble spurt om bruken av bufferområder så var den generelle oppfatningen at dette ikke hadde fungert tilstrekkelig i dette prosjektet. Planen var å benytte førsteetasjene i høyblokkene som buffer, noe som i starten ikke fikk mye støtte fra de andre. Siden førsteetasjene krevde en viss fagrekkefølge på lik linje som taktplanen gjorde ble det problemer med tilgjengelig arbeid. Når ett fag hadde tilgjengelig arbeidskraft som kunne jobbet med bufferen var det muligens ikke noe å gjøre der, siden forgående fag ikke hadde hatt mulighet til å gjøre sine oppgaver ennå. Det var foreslått å inkludere førsteetasjene i taktplanen, men siden de ikke var lik de øvrige etasjene ville det kreve større tilpasninger av resten av taktplanen. Anleggsleder mente det da kunne bli nødvendig med todagens takttid, noe som tidligere hadde blitt vurdert som lite praktisk for resten av bygget.

4.3.3 Fremtidig bruk av taktplanlegging

Fra tidligere av hadde de fleste intervjuobjektene lite eller ingen erfaring med taktplanlegging fra før. Når de ble spurt om hvor vidt de kunne tenke seg å benytte det i fremtiden var samtlige positive til dette, og ønsket å bidra til at det fungerer enda bedre. De hadde innsett at for at taktplanlegging skal fungere så er det essensielt at alle er om bord på planen, selv om de hadde en tendens til å bortforklare eventuelle problemer på andre.

En ting som ble poengtert ut som en potensiell forbedring i fremtiden var å starte planleggingsprosessen tidligere, i hvert fall å få involvert fagarbeidere tidligere. Dette var med mål om å få bidra med tilbakemeldinger på arbeidspakkene og oppgavene i dem før de ble låst. Dette ønsket kom av at enkelte arbeidsoppgaver var blitt oversett og ikke inkludert i noen arbeidspakker. Siden taktplanen allerede var optimalisert på tid var det vanskelig å finne tid til de oversette oppgavene. Likevel, når alt fungerte etter planen var det svært komfortabelt å jobbe med en taktplan. Siden arbeidet som skulle utføres til enhver tid var allerede planlagt visste de alltid hva arbeidsdagen kom til å gå ut på, og det var lite nøling angående hva som var neste oppgave.

Det var flere som var skeptisk til bruk av taktplanlegging ved prosjekter som ikke har tilsvarende grad av repetisjon som Moholt 50/50. Selv om taktplanlegging ikke er avhengig av repeterende oppgaver er det likevel en faktor som gjør arbeidet mye enklere. Dette var som regel basert på erfaringer fra Kunnskapsenteret der taktplanleggingen ikke fungerte så godt som forventet. Likevel mente de at de nå har mer erfaring og kunne de gjennomført Kunnskapsenteret på nytt ville det nok gått bedre.

5 Diskusjon

Metoden benyttet for å utarbeide taktplanen ved Moholt 50|50 har klare likheter med prosessen med seks faser identifisert av Frandson et al. (2013). Selv om metoden ikke følger prosessen punkt for punkt har man likevel benyttet seg av essensen av den. Det har vært arrangert taktmøter i samarbeid med representanter fra produksjonsenheten, noe som er i tråd med den iterative prosessen som presenteres i seksfaserprosessen. Å benytte veggen med post-it-lapper til å generere en plan for rekkefølgen på arbeidspakkene virker som en svært effektiv og visuell måte å samarbeide på, og man får unnagjort mye planleggingsarbeid på kort tid. Likevel var det mye manuelt arbeid når selve taktplanen skulle utarbeides. Her ble det benyttet Microsoft Excel for å visualisere planen med balanselinjevisning. Dette kunne nok blitt gjort mer effektivt i programvare som VICO Control med flytlinjevisning. Dette er programvare utviklet med mål om å effektivisere taktplanlegging, og Yassine et al. (2014) har vist at det er store fordeler med å benytte dette programmet og mulighetene det byr på.

Fra intervjuene indikeres det at taktplanen ved Moholt 50|50 har fungert mye bedre enn tidligere forsøk, men det er fremdeles rom for forbedring. Ved kunnskapssenteret opplevde de problemer med å kontrollere variabiliteten i prosjektet. Dette var ikke et problem ved Moholt 50|50, selv om mye av dette kan skyldes på den lave kompleksiteten og høye graden av repetisjon ved dette prosjektet. Ved Horneberg B3 klarte de å redusere både gjennomføringstid og -kostnad, men med tanke på kostnad var det var en begrenset suksess på grunn av at taktplanlegging og akkordlønnssystemet ikke er en gunstig kombinasjon. Dette ble også opplevd ved Moholt 50|50.

Utformingen av Moholt 50|50 gjør at prosjektet har mange gunstige egenskaper som oppfyller kravene Bølviken et al. (2015) satt for at taktplanlegging skal være velegnet. Metoden for å utarbeide taktplanen benyttet seg av disse egenskapene på en gjennomtenkt måte.

Aktiviteter: På grunn av den lave kompleksiteten av prosjektet var det få arbeidspakker som krevde direkte samarbeid mellom fagene. Dette var et av punktene anleggslederen ønsket å holde til et minimum, siden fagene vil kunne jobbe mer effektivt når de får holde på for seg selv. De fikk utført mye arbeid i sonen før de flyttet seg videre. Selv om et bufferområde med separate aktiviteter ikke er foreslått som et kriterium for taktplanlegging ble det likevel benyttet ved dette prosjektet. Bufferområdet fikk noe kritikk i dette prosjektet, men årsaken til dette var ikke på grunn av taktplanens egenskaper men heller at planen for bufferområdet kunne vært planlagt i større grad. Å ha et bufferområde er en god metode for å kunne ha ekstra arbeidskraft lett tilgjengelig i perioder uten å måtte sende de bort fra prosjektet ellers.

Bruk av tid: Mye av arbeidet som ble utført var avhengig av at tidligere arbeider var gjennomført. Derfor var rekkefølgen på arbeidspakkene grei å etablere og logikken mellom de var oversiktlig. Dette

ble etablert i taktmøtene ved å benytte post-it-metoden, noe som var svært effektivt og inkluderende. Totalt sett medførte det svært lite venting i produksjonsfasen i forhold til tidligere erfaringer.

Bruk av sted: Prosjektet var svært godt egnet for inndeling i soner, med mange identiske etasjer med lav kompleksitet. Dette gav mulighet for å generere en god plan for én etasje, for så å kopiere den over på resten av dem. Resultatet ble en taktplan med svært jevn progresjon gjennom prosjektet. Selv om enkelte fag måtte være i samme etasje samtidig var dette ikke et problem da oppgavene de utførte ikke medførte at de måtte jobbe oppå hverandre.

Det er tydelig at taktplanlegging byr på en rekke fordeler fremfor tradisjonelle metoder. Om man betrakter gjennomføringstiden av prosjektet var taktplanlegging avgjørende for at prosjektet skulle være gjennomførbart innenfor tidsrammen som var satt. Ved å ha en kortere gjennomføringstid kan potensielt redusere administrasjonskostnader, men dette bør nok undersøkes mer spesifikt i fremtidige studier for å identifisere nøyaktig hvordan man kan ta praktisk nytte av dette. En potensiell reduksjon i direkte byggekostnader kan forventes å oppstå om man bytter fra akkordlønn til timeslønn. Dette er muligens de mest attraktive fordelene ved å bruke taktplanlegging, og det har blitt foreslått å gjøre forsøk med taktplanlegging i kombinasjon med timeslønn og akkord i parallell for å kunne direkte sammenligne hvordan dette utarter seg. Dette vil forhåpentligvis ikke påvirke i hvor stor grad fagarbeiderne foretrekker taktplanlegging siden de her har opplevd svært gode lønninger. Tiltaket vil da returnere lønningene til et mer normalt nivå. De andre fordelene ved å benytte taktplanlegging, som forutsigbar arbeidsdag og lite sløsing av tid på uproduktivt arbeid vil forhåpentligvis bidra nok i seg selv til at taktplanlegging foretrekkes.

6 Konklusjon og anbefalinger

Problemstillingen for denne oppgaven var:

«Det er begrenset med erfaring på bruk av taktplanlegging. Er taktplanleggingen ved Moholt 50|50 gjennomført i tråd med etablert teori og har den noen likheter med gjennomføringen av andre prosjekter? Har bruken av taktplanlegging bidratt positivt eller negativt til gjennomføringen av prosjektet?»

Taktplanleggingsmetoden ved Moholt 50|50 har blitt gjennomgått og sammenlignet mot teori, tidligere erfaringer og prosjekter. Det har blitt vist at det er en rekke likheter med denne metoden og metoder benyttet i teori og praksis ved andre prosjekter. Når taktplanlegging skal gjennomføres må metoden tilpasses prosjektet avhengig av utforming og kompleksitet, og dette virker det som om Veidekke i Trondheim nå har fått grep om. De har evaluert tidligere erfaringer og identifisert problemområder som det nå har vært et fokus på å ha kontroll over.

Taktplanen ved prosjektet har bidratt positivt til gjennomføringen av prosjektet. Ikke bare var den avgjørende for at prosjektet kunne ferdigstilles til ønsket tidsfrist, men det var også foretrukket av alle intervjuobjektene. Det ble meldt om god trivsel i prosjektet med forutsigbare arbeidsdager der det var lite nøling rundt arbeidsoppgaver og de visste alltid hva som skulle utføres til enhver tid.

Selv om det har vært en positiv utvikling gjennom de tre prosjektene utført av Veidekke i Trondheim er det likevel rom for forbedring. Spesielt med tanke på de fordelene taktplanlegging potensielt kan tilføre prosjektet det benyttes på. Det er en rekke insentiver for å benytte taktplanlegging da det har potensiale til å både redusere byggetid og -kostnad samtidig som det øker trivselen for fagarbeiderne ved prosjektet.

Anbefalinger for videre forbedring av taktplanlegging:

- Det er gjort mange gode tiltak for å forbedre metoden for taktplanlegging hos Veidekke i Trondheim. Likevel er det ved enkelte oppgaver benyttet verktøy og metoder som ikke nødvendigvis er de mest fordelaktige. Blant annet ble det poengtert at arbeidet med å visualisere taktplanen i Microsoft Excel krevde mye manuelt arbeid. For slike oppgaver er det utviklet programvare som forenkler dette i større grad. Det anbefales å prøve ut VICO Control for å visualisere taktplanen. Dette er et verktøy som er utviklet med taktplanlegging som formål, og verktøyet byr på automatisering av det arbeidet som ble gjort manuelt i Excel. Selv om Excel får jobben gjort er det svært mye arbeid å gjøre endringer underveis, spesielt om taktplanen krever endringer underveis. VICO Control gir også mulighet for oppfølging underveis og sporing av utført arbeid.
- Det er tydelig at den kostnadsreduksjonen taktplanlegging har potensiale til blir begrenset på grunn av effekten som oppstår ved kombinasjon med akkordlønn. Dette blåser timeslønnen til fagarbeiderne opp til svært høye nivåer, en tidvis økning på hele 18% over normalen ble opplevd

ved Moholt 50|50. Likevel var det akkurat samme arbeid som ble utført på akkurat samme måte som vanlig, bare på kortere tid. Det anbefales derfor å undersøke om timeslønn med eller uten bonus kan være et alternativ. Dette kan potensielt redusere prosjektets kostnad og en eventuell bonus vil være insentiv for fagarbeiderne til å oppnå gode lønninger, bare ikke fullt så mye som 18% over normalen.

7 Videre arbeid

Selv om denne oppgaven har satt lys på en rekke punkter ved gjennomføringen av taktplanleggingen ved Moholt 50|50 anbefales det videre studier for å avdekke fordeler og ulemper ved taktplanlegging.

Den opprinnelige idéen til oppgaven, en sammenligning av Moholt 50|50 og Pentagon, vil være aktuell å gjennomføre hvis det viser seg at det igjen blir mulig å anskaffe prosjektdataene som er nødvendig. Dette vil gi en svært praktisk sammenligning der det vil være mulig å se på de direkte kvantitative fordelene taktplanlegging medfører.

I likhet med tidligere masteroppgaver innenfor temaet har det vært et begrenset sammenligningsgrunnlag. Dette har gjort undersøkelsene ved Moholt 50|50 kvalitative. For å forbedre undersøkelsene av taktplanlegging i fremtiden anbefales det å etablere indikatorer som bør logges underveis i prosjekter. Dette bør være indikatorer som gjør det mulig å sammenligne prosjekter uavhengig av planleggingsmetode, for så kunne gjøre kvantitative vurderinger av hvor mye taktplanlegging har bidratt til prosjektet.

8 Kilder

ALFREDO, S., ARMANDO, V. & JEANETTE, C. 1995. Characterization of Waste in Building Construction Projects. Unpublished.

BALLARD, G. 2000. *The Last Planner system of production control*. Doctor of philisophy, University of Birmingham, School of Civil Engineering, Faculty of Engineering.

BALLARD, G. & HOWELL, G. 2003. Lean project management. *Building Research & Information*, 31, 119-133.

BØLVIKEN, T., ASLESEN, S. & KOSKELA, L. 2015. What Is a Good Plan? In: SEPPÄNEN, O., GONZÁLEZ, V. A. & ARROYO, P., eds. 23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction., 29-31 Jul 2015 2015. Perth, Australia: In: Seppänen, O., González, V.A. & Arroyo, P. , pp 93-102.

DAHLUM, S. 2015. Definisjon av validitet. *Store norske leksikon*.

EGGE, J. H. & NILSEN, P. M. 2016. *23.000 trær blir til 632 studenthybler* [Online]. www.nrk.no: Norsk rikskringkasting AS. Available: <http://www.nrk.no/trondelag/dette-blir-europas-storste-massivtreprosjekt-1.12876664> [Accessed 07.04.16 2016].

FRANDSON, A., BERGHEDE, K. & TOMMELEIN, I. D. Takt time planning for construction of exterior cladding. 21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction 2013, IGLC 2013, 2013. Fortaleza, Brazil: In: Formoso, C.T. & Tzortzopoulos, P., pp 464-473.

FRANDSON, A., BERGHEDE, K. & TOMMELEIN, I. D. 25-27 Jun 2014. Takt-time planning and the last planner. 22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction., 2014. Oslo, Norway: In: Kalsaas, B.T., Koskela, L. & Saurin, T.A., pp 571-580.

FRANDSON, A., SEPPÄNEN, O. & TOMMELEIN, I. D. 2015. Comparison between location based management and takt time planning. *23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Perth, Australia: In: Seppänen, O., González, V.A. & Arroyo, P.

HOLØS, B. 2015. Definisjon av buffer. *Store norske leksikon*.

HOPP, W. J. & SPEARMAN, M. L. 2001. *Factory physics : foundations of manufacturing management*, Boston, Irwin McGraw-Hill.

IGLC. n.d. *About IGLC* [Online]. Available: <http://www.iglc.net/Home/About> [Accessed 15.06.16].

KELLEY, J. E. & WALKER, M. R. Critical-Path Planning and Scheduling. The Eastern Joint Computer Conference, 1959. ACM Digital Library.

- KENLEY, R. & SEPPÄNEN, O. 2009. Location-based management of construction projects: Part of a new typology for project scheduling methodologies. *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference (WSC)*.
- KENLEY, R. & SEPPÄNEN, O. 2010. *Location-based management for construction: planning, scheduling and control*, London, Spon Press.
- KERZNER, H. R. 2013. *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling*, Wiley.
- KOSKELA, L. 2000. An exploration towards a production theory and its application to construction. Espoo : Technical Research Centre of Finland.
- KOSKELA, L., HOWELL, G., ERGO, P. & BHARGAV, D. If CPM is so bad, why have we been using it so long? IGLC-22, 2014 Oslo, Norway.
- LEVINSON, W. A. 2007. *Beyond the theory of constraints : how to eliminate variation and Maximize capacity*, New York, Productivity Press.
- LINNIK, M., BERGHEDE, K. & BALLARD, G. 2013. An experiment in takt time planning applied to non-repetitive work. *21th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. In: Formoso, C.T. & Tzortzopoulos, P.
- MORDAL, P. 2014. *The Benefits of Takt time planning - Case Study Horneberg B3*. Master thesis, Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Engineering Science and Technology, Department of Civil and Transport Engineering.
- POCOCK, J. W. 1962. PERT as an Analytical Aid for Program Planning—Its Payoff and Problems. 10, 893-903.
- PORSCHE CONSULTING 2011. Porsche Akademie presentasjon. Bietingheim-Bissingen, Tyskland.
- PREMACHANDRA, I. M. 1999. An approximation of the activity duration distribution in PERT. *Computers & Operations Research* 28.
- SMISETH, S. 2013. *Takt Planning : A good method to carry out the production in construction projects?* Master thesis, Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Engineering Science and Technology, Department of Civil and Transport Engineering.
- TSAO, C. C. Y., TOMMELEIN, I. D., SWANLUND, E. & HOWELL, G. A. Case study for work structuring: installation of metal door frames. 8th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 2000 Brighton.
- TØNNESEN, S. 2015. Definisjon av reliabilitet. *Store norske leksikon*.

WILSON, J. M. 2003. Gantt charts: A centenary appreciation. *European Journal of Operational Research*, 149, 430-437.

YASSINE, T., BACHA, M. B. S., FAYEK, F. & HAMZEH, F. Implementing takt-time planning in construction to improve work flow. IGLC-22, 2014 Oslo, Norway. IGLC.

ØSTBY-DEGLUM, E., SVALESTUEN, F. & DREVLAND, F. 2013. *Kompendium TBA4127/AAR4951 Prosjekteringsledelse*.

MASTEROPPGAVE

(TBA4910 Prosjektledelse, masteroppgave)

VÅREN 2016
for
Mats Erik Vatne

Taktplanlegging og -gjennomføring ved Moholt 50|50: Case studie

BAKGRUNN

I de siste årene har Veidekke Entreprenør i Trondheim gjennomført et par prosjekter som har benyttet seg av taktplanlegging. Erfaringene derfra viser til blandede resultater og anbefaler videre studier av prosjekter som benytter taktplanlegging. Veidekke er nå i gang med sitt tredje prosjekt med taktplanlegging i Trondheim. Ved å sammenligne den tilgjengelige informasjonen mot teori, metoder og resultater oppnådd av andre vil det være mulig å avdekke fordeler og ulemper med metoden for taktplanlegging ved prosjektet. Målet med denne oppgaven er å bidra til å forbedre bruken av taktplanlegging ved fremtidige prosjekter.

OPPGAVE

Oppgaven skal se på om taktplanleggingen ved Moholt 50|50 gjennomført i tråd med etablert teori og om den har noen likheter med gjennomføringen av andre prosjekter? Har bruken av taktplanlegging bidratt positivt eller negativt til gjennomføringen av prosjektet?

GENERELT

Opgaveteksten er ment som en ramme for kandidatens arbeid. Justeringer vil kunne skje underveis, når en ser hvordan arbeidet går. Eventuelle justeringer må skje i samråd med faglærer ved instituttet.

Ved bedømmelsen legges det vekt på grundighet i bearbeidningen og selvstendigheten i vurderinger og konklusjoner, samt at framstillingen er velredigert, klar, entydig og ryddig uten å være unødig voluminøs.

Besvarelsen skal inneholde

- standard rapportforside (automatisk fra DAIM, <http://daim.idi.ntnu.no/>)
- tittelside med ekstrakt og stikkord (mal finnes på siden <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank>)
- sammendrag på norsk og engelsk (studenter som skriver sin masteroppgave på et ikke-skandinavisk språk og som ikke behersker et skandinavisk språk, trenger ikke å skrive sammendrag av masteroppgaven på norsk)
- hovedteksten
- oppgaveteksten (denne teksten signert av faglærer) legges ved som Vedlegg 1.

Besvarelsen kan evt. utformes som en vitenskapelig artikkel for internasjonal publisering. Besvarelsen inneholder da de samme punktene som beskrevet over, men der hovedteksten omfatter en vitenskapelig artikkel og en prosessrapport.

Instituttets råd og retningslinjer for rapportskrivning ved prosjektarbeid og masteroppgave befinner seg på <http://www.ntnu.no/bat/studier/oppgaver>.

Hva skal innleveres?

Rutiner knyttet til innlevering av masteroppgaven er nærmere beskrevet på <http://daim.idi.ntnu.no/>. Trykking av masteroppgaven bestilles via DAIM direkte til Skipnes Trykkeri som leverer den trykte oppgaven til instituttkontoret 2-4 dager senere. Instituttet betaler for 3 eksemplarer, hvorav instituttet beholder 2 eksemplarer. Ekstra eksemplarer må bekostes av kandidaten/ ekstern samarbeidspartner.

Masteroppgaven regnes ikke som ferdig levert før kandidaten har levert innleveringsskjemaet (fra DAIM) hvor både Ark-Bibl i SBI og Fellestjenester (Byggsikring) i Sentralbygg II har signert på skjemaet. Innleveringsskjema med de aktuelle signaturene underskrives av instituttkontoret før skjemaet leveres Fakultetskontoret.

Dokumentasjon som med instituttets støtte er samlet inn under arbeidet med oppgaven skal leveres inn sammen med besvarelsen.

Besvarelsen er etter gjeldende reglement NTNUs eiendom. Eventuell benyttelse av materialet kan bare skje etter godkjennelse fra NTNU (og ekstern samarbeidspartner der dette er aktuelt). Instituttet har rett til å bruke resultatene av arbeidet til undervisnings- og forskningsformål som om det var utført av en ansatt. Ved bruk ut over dette, som utgivelse og annen økonomisk utnyttelse, må det inngås særskilt avtale mellom NTNU og kandidaten.

(Evt) Avtaler om ekstern veiledning, gjennomføring utenfor NTNU, økonomisk støtte m.v.

Beskrives her når dette er aktuelt. Se <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank> for avtaleskjema.

Helse, miljø og sikkerhet (HMS):

NTNU legger stor vekt på sikkerheten til den enkelte arbeidstaker og student. Den enkeltes sikkerhet skal komme i første rekke og ingen skal ta unødige sjanser for å få gjennomført arbeidet. Studenten skal derfor ved uttak av masteroppgaven få utdelt brosjyren "Helse, miljø og sikkerhet ved feltarbeid m.m. ved NTNU".

Dersom studenten i arbeidet med masteroppgaven skal delta i feltarbeid, tokt, befarings, feltkurs eller ekskursjoner, skal studenten sette seg inn i "Retningslinje ved feltarbeid m.m.". Dersom studenten i arbeidet med oppgaven skal delta i laboratorie- eller verkstedarbeid skal studenten sette seg inn i og følge reglene i "Laboratorie- og verkstedhåndbok". Disse dokumentene finnes på fakultetets HMS-sider på nettet, se <http://www.ntnu.no/ivt/adm/hms/>. Alle studenter som skal gjennomføre laboratoriearbeid i forbindelse med prosjekt- og masteroppgave skal gjennomføre et web-basert TRAINOR HMS-kurs. Påmelding på kurset skjer til sonja.hammer@ntnu.no

Studenter har ikke full forsikringsdekning gjennom sitt forhold til NTNU. Dersom en student ønsker samme forsikringsdekning som tilsatte ved universitetet, anbefales det at han/hun tegner reiseforsikring og personskedeforsikring. Mer om forsikringsordninger for studenter finnes under samme lenke som ovenfor.

Oppstart og innleveringsfrist:

Oppstart og innleveringsfrist er i henhold til informasjon i DAIM.

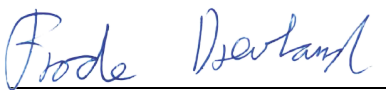
Faglærer ved instituttet: Frode Drevland

Veileder (eller kontaktperson) hos ekstern samarbeidspartner: Ole Morten Skaret (Veidekke)

Institutt for bygg, anlegg og transport, NTNU

Dato: 15.01.2016, (evt revidert: 15.06.2016)

Underskrift



Faglærer

Vedlegg 2: intervjuguide øvrige Moholt 50|50

Navn:

Firma:

Kontaktinfo:

Intervjuguide Moholt 50|50

Tid og dato:

- Hva er din bakgrunn (i byggebransjen)?

- Hva har vært din rolle i prosjektet?
 - I forbindelse med taktplanleggingen?

- Har du noen tidligere erfaring med taktplanlegging av prosjekter?
 - Hvis ja; var det noen ulikheter fra der til her?

- Hvordan har du opplevd at taktplanleggingen har fungert på dette prosjektet?
 - Noe spesielt negativt eller positivt du vil trekke frem?
 - Hvis negativ; hvilke følger har det hatt for ditt firma?
 - Hvis negativ; hvilke endringer eller justeringer kunne forbedret planleggingen?

- I fremtiden, vil du være positiv til å benytte taktplanlegging sammen med en totalentreprenør?

Vedlegg 3: intervjuguide anleggsleder Moholt 50|50

Intervjuguide anleggsleder Moholt 50|50

Bakgrunn i byggebransjen (med takt)

Erfaringer fra Kunnskapscenteret

Erfaringer fra Horneberg

Forventninger:

Starten?

Før igangsettelse?

Metode for gjennomføring av taktplanlegging:

Møter med post-it-system?

Bestemme vognstørrelse?

Involvering av UE'er?

Involvering av utførende/fagarbeidere?

Utarbeiding av selve taktplanen i Excel:

Bruk av teori:

Reverse phase?

Flytlinje?

Oppfølging underveis:

Bruk av underveisrapportering?

Foreløpige resultater:

Repetisjonseffekt?

Repetisjonsfeil?

Avvik fra planen?

Tilbakemeldinger?

Videre bruk av takt:

Forbedringspotensiale?

PRACTICAL BENEFITS OF USING TAKT TIME PLANNING: A CASE STUDY

Mats Erik Vatne¹ and Frode Drevland²

ABSTRACT

Takt time planning (TTP) aims to increase productivity by reducing waste. This is achieved by optimizing work packages and team sizes to fit the desired rate of production. Takt time planning has shown to reduce non-value adding time spent by work crews. This reduction makes workers produce more in less time, thus reducing the costs of construction. However, when performing TTP in practice, extensive plans have to be made in collaboration with subcontractors to make the process as smooth as possible. This, in combination with the time used to follow-up on the plans during the construction phase, takes time to perform and can be costly.

Little documentation exists on the benefits of using TTP and exactly what kinds of efforts are worthwhile. The purpose of this research is to examine a practical application of TTP and evaluate the usefulness of the efforts made in the planning process. By doing this one can prioritize where to spend extra time or resources to optimize projects.

This paper is a case study of a project from a major Norwegian contractor where TTP is being used. Methods used and experiences gained are compared to tried and tested methods to evaluate how TTP has affected the case project. The paper concludes that TTP has been beneficial to the case project in terms of completion time and worker comfort, but also identifies some obstacles that needs to be overcome before the true value of their method of TTP can be identified.

KEYWORDS

Takt time planning, production planning, case study

INTRODUCTION

Takt Time Planning (TTP) is a method of production planning with a focus on creating continuous flow of production at a steady rate (Frandsen et al. 2013). This is achieved by managing the parade of trades to keep up with the desired takt time (Tommelein et al. 1999). TTP has been proposed as a step in the right direction to improve upon project-based production systems by maximizing the utilization of available resources (Frandsen et al. 2014). Although there exists theory on how TTP should be done and its possible effects on a project, limited documentation on practical application of TTP exists. Previous research

¹ Student M.Sc. Civil Engineering., NTNU – Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway, +47 992 90 250, matserik@gmail.com

² Assistant Professor, NTNU - Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway, +47 920 64 262, frode.drevland@ntnu.no

into applications of takt has posed questions for further research on TTP (Frandsen and Tommelein 2014) and indicate a lack of empirical data to analyze and evaluate, as concluded by Frandsen et al. (2015). They recommend examining projects where it has been used as to provide useful data and experiences.

One of Norway's largest construction companies has adapted several Lean Construction principles, including TTP. Up until now they have completed two projects using it. Project 1; a wing of a modern university hospital, and Project 2; a housing project consisting of several row houses. Both projects and their way of applying TTP has been studied, with a goal of understanding better how it affected them.

While examining Project 1, Smiseth (2013) found that only 32% of the scheduled work packages started when they were supposed to. This was related to the fact that just 35% of the same work packages were completed on time. The reason for this was a lack of variability control. The project was a limited success takt-wise, and the research concluded that, among other factors, efforts to reduce and control variability will be necessary to improve results.

Mordal (2014) found that in Project 2 there was a measureable reduction in construction time and costs. By comparing construction time of two identical part of the projects, one with TTP and one without, it was shown that there was a significant reduction in both time spent by the carpenters and start-to-finish time. Still, there are indications that TTP does not combine properly with Norwegian construction culture and tradition.

These studies indicate that there are improvements to be made, and while providing valuable information about TTP and the projects it was applied on, they both conclude that there is still need for more research. By examining an ongoing project and its takt plan, this paper aims to look at:

- How the takt plan was generated
- If and how it affected the project in terms of completion time and cost
- If and why the craftsmen and project administration preferred the takt plan

The analysis compares the case project to established theory and comments on any similarities or deviations. This will aid future applications of TTP in making good decisions and identify potential obstacles that needs to be overcome for future analyses and improvements.

THEORETICAL FRAMEWORK

Frandsen et al. (2013) identified a process for generating a takt plan which consisted of the following six phases; (1) gather information, (2) define areas of work, (3) understand trade sequence, (4) understand individual trade durations, (5) balance the workflow and (6) establish the production plan. Through collaboration with the production team these six phases are iterated until a takt plan emerges. This production plan consists of work packages that can be completed within one takt time, and also gives the order of which they must be completed. This helps insure that only work packages that *can* and *should* be done *will* be done, which is also an important part of The Last Planner-system (Ballard 2000).

Bølviken et al. (2015) proposes a set of criteria a project can fulfil that makes different planning concepts work well with the specific project. They are divided into four categories;

the tasks, the use of time, the use of space and fit for purpose. The following are proposed as indicators that takt planning would work well.

- **The tasks:** Should be as independent as possible, and all preconditions for the tasks to become sound are identified.
- **The use of time:** The right sequence and logic should be identified, and the duration should be in compliance with the framework conditions.
- **The use of space:** The project should be able to have a good division in zones, with a suitable direction of construction where only one trade works in each zone at any given time.

Although Bølviken et al. (2015) points out that TTP works well when the project can be divided into clear zones with repetitive work it is not a requirement for takt to work; it has been used by Linnik et al. (2013) on an experiment with a non-repetitive project. One of the benefit of having repeating zones is shown by Kenley and Seppänen (2009), it gives the possibility to plan work for one zone and copy the plan to every other zone.

METHOD

The data was collected by conducting eight face-to-face semi-structured interviews. Key personnel were chosen from both the main contractor and subs, with a mixture of persons from both the project administration and craftsmen. The site manager from the main contractor was in charge of both making the takt plan and following it up. Therefore, much of the information gathered about making the takt plan is based on his experiences. Others were interviewed with a focus on uncovering how it had been to work with it, and if they had any thoughts about pros and cons compared to past experiences.

The interviews consisted of two parts. The first part established background information about the interviewees, projects they had worked on earlier and if anyone of them had experience with TTP from before. During the second part of the interviews the current takt plan was reviewed together with the interviewees. They were asked to talk about their participation in generating the plan and how it later on was to work with. This included how comfortable the project was to work in, especially regarding the predictability of their work day considering the repetition of tasks. To conclude, the last topic asked if they would be positive to using TTP in future projects.

FINDINGS

The case project, Project 3, is the contractors latest attempt at TTP. Being the largest massive wood project in Europe (Egge and Nilsen 2016), the project consists of five high rises and a kindergarten, all made of cross-laminated timber elements. The high rises each have nine floors, where all but the ground floor are student dormitories with a total of 632 dorms. These floors are more or less identical while the ground floor houses different types of public facilities in each high rise. This makes for a project with a high grade of repetitive work packages, which is ideal for TTP.

The project is being built for a student welfare organization in Norway, with a goal of completing the first three high rises and the kindergarten before school starts in august 2016. TTP was considered necessary in order to reach the deadline and has been used on

the interior of the high rises. Combined with the rapid rate of construction using massive wood elements and prefabricated bathrooms the project has progressed quickly. By studying the inception and progression of the projects takt plan and comparing it with other experiences using TTP there are some similarities and differences.

THE TAKT PLAN AND ITS DEVELOPMENT

The process of generating the takt plan started early, with the site manager leading the way. He has been trained in Porsche Takt, but with his own adaptations based on previous experiences from the two aforementioned projects. He was by far the most experienced person with TTP within the company, and had spent much time evaluating the previous projects and their takt plan. He pointed out that his method focuses on identifying trade order while minimizing the number of times each trade enters the same zone as to reduce time wasted on non-productive work. Also, it emphasizes on collaboration during the planning process. The following is a summary of what was done.

Initial plan and deadlines: According to the site manager, the main limitation for the takt plan was completing the project in time for the deadline. Initially the project had a traditional production plan, but it was discovered early on that it would not be possible to complete it on time using it. The site manager made a rough takt plan to illustrate how it could be done using TTP. This was sent over to the project owner which agreed that it was necessary to do things differently. The original plan was scrapped and work begun on a takt plan for the high rise interior based on the deadlines identified earlier.

Since the takt plan only encompassed the interior work of the high rises the original plan helped identify some deadliness the takt plan had to confine to. For instance, sealed building had to be achieved in order to start a takt planned work package involving gypsum boards. Since exterior cladding and roofing was not a part of the takt plan it was important to identify when this precondition was met.

Takt plan meetings: When the timeframe for the takt plan was set it was time to identify work packages and their sequence of completion. This was done through arranging “takt meetings”. A total of three takt meetings were arranged, and in these meetings the site manager invited foremen and project managers from the different trades. The goal of these meetings were among other to identify:

- Each trades required work
- Order of work packages
- Zone size and buffer
- Takt time

During the meeting the participants divided into group consisting of representatives from each trade. While studying a floor plan they talked about what each trade had to do, and how it affected others. For instance, if the HVAC company could finish more work if the electrician had already completed certain parts of his job.

Considering the layout of the high rises, the zones were set to one floor and takt time set to one week. Initially a two day takt time was considered, which was rejected due to areas being too constricted. There was also discussion about having two week takt because

one subcontractor found it better for them. This would have made it necessary with two-floor zones, which would have been impractical. Since the work crews could end up being as small as two persons there would be too much back and forth between the floors. This meant time would be wasted doing non-productive work, which is the takt plans goal to reduce. The idea was abandoned and they got on board with the one floor/one-week plan.

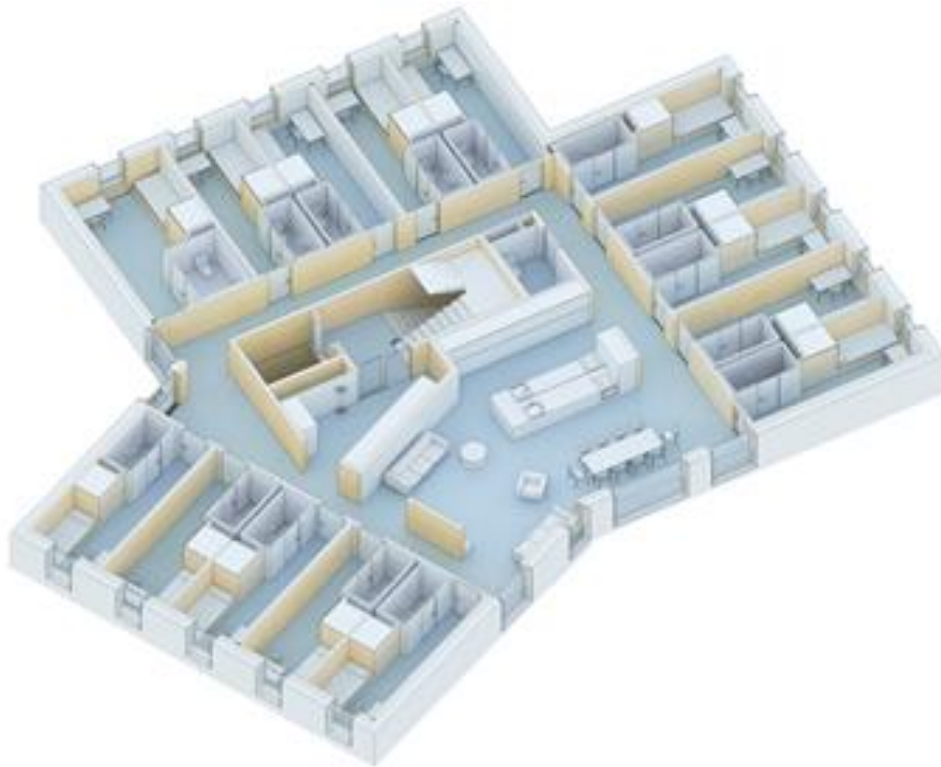


Figure 1: 3D model of one floor – the takt zone

With the previous decisions and discussions in mind, the time came for arranging the order of trades and work packages. The method used was collaboration on a post-it wall calendar. Each trade got their own color post-it-pad and wrote down the different work tasks. This was then arranged on the calendar while commenting were other trades put their notes. This method gave the trades the possibility of understanding each other's work. It also helped highlight alternatives or potential problems before locking down the takt plan. Using Porsche Takt terminology, each post-it represented one "wagon" in the takt train that moves through the zones, and by combining as many similarly colored notes into the same wagon there was less need for each trade to visit the zone many times. For labor intensive wagons it was possible to compensate by increasing its staffing.

The takt plan: After completing the three takt meetings the foundation for the takt plan was laid. The preferred trade order, takt time and zones were all discussed. The idea behind the takt plan was to progress as smooth as possible during the main parts of the production, and then including a smaller completion phase at the end. This left some room to correct

errors while not hampering subcontractors that did not need to be a part of the completion team.

Figure 2 shows a cut-out of the complete takt plan, with floors on the y-axis and weeks/takt periods on the x-axis. It includes the entire progression of high rise A and most of B and C, with a total of 26 individual wagons per high rise.

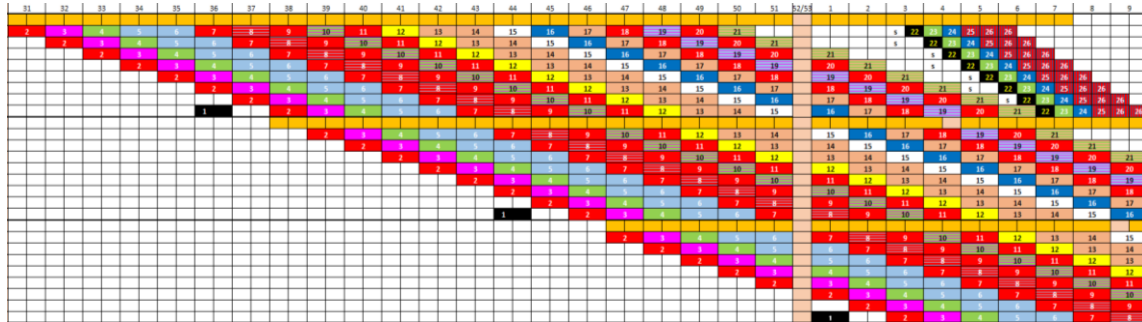


Figure 2: Takt plan of Project 3

Each wagon got an associated color which indicates what trade has work to do. For instance, red is carpenter, pink is plumber, green is HVAC and blue is electrician. Some wagons required two trades to cooperate, and these are marked with a combination of the trades colors. This made the takt plan easy to understand. The orange floor is the ground floor and due to being unique and non-repetitive it was set as a task buffer and is not included in the takt plan in other way.

THE TAKT PLAN IN USE

At the time of writing this paper the takt plan has been executed on the first high rise and well into the second. Interviewing those involved in the production shed some light into how the takt plan had been performing so far. Both employees of the main contractor and subs were interviewed, from craftsmen to administrators, and careers spanning from 10 to 30+ years. Since TTP is not that common, at least in Norway, the focus of the interviews was to compare how this project had compared to their past experiences. Some of them had never worked with a takt plan before, while others had worked on Project 1 or Project 2.

Past experiences:

Those that worked on Project 1 all agreed that, due to the complexity of the project, it was a difficult project for their first attempt at TTP. This project had little repetition and, due to being a hospital, demanded a lot from the technical utilities and the subcontractors installing them. This made it difficult to proceed with a single parade of trades, and it was often necessary to move back and forth between zones. The lack of repetition as found in Project 3 required tighter control of variability through a more flexible work force and more follow-up. Considering the low percentage of work packages completed on time, this was said to be one of the reasons. Most agreed that it would have been easier now that they have more experience. One positive outcome was that when something went wrong, the takt plan made it easy to spot. Due to the nature of a takt plan, when one work package

fails to complete on time it indicates that something is not working and measures can be taken at once. Using a more traditional approach, there might not be an indication until it is too late.

On Project 2 the takt plan worked much better. As indicated by Mordal (2014) there was a clear increase in productivity, which reduced both total time of the project and costs. This was in compliance with the interviews, where it was pointed out that Project 2 was a much simpler project with a much higher grade of repetitive work. The project consisted of several two story row houses where all but the last row was built without using TTP. By logging hours spent during construction and the increase in productivity from house to house, it was quite clear that TTP affected productivity positively, both in terms of construction time and costs. The site manager had used much of his spare time to evaluate the experiences gained from Project 1 and applied his findings to Project 2. This was of great use, and even though the project did not go without any hiccups, the takt plan was robust enough to cope with it.

Working with TTP on Project 3:

When asked about how the takt plan had worked on their current project the answers were unanimously positive. Logistics were pointed out as a key aspect for the takt plan to succeed, and so far it had worked well with just minor complications. Considering the small amount of on-site storage in this project, more problems could have been expected. With a large amount of repetitive work, many of the crews had experience an increase in productivity. Some work packages that started out with as much as five craftsmen were reduced to as little as two before completing the first high rise. This was somewhat expected, and past experience told the site manager to ask for larger crews to begin with so they could be reduced over time.

There were some that pointed out that there had been some problems with work packages not completing on time. This led to delays as the next trade had to wait. The reason for this was explained as a problem with delivery of doors from the manufacturer. The solution here was to install temporary doors and having the manufacturer install the correct doors later. Otherwise the work packages were completed on time, and the site manager pointed out that there had been a significant reduction in wasted time due to waiting. This resulted in more time doing productive work, and due to the piece pay system it made for good salaries for the craftsmen. The system works by giving each element of the building (meters of wall, square feet of floor or roof, etc.) a price from the work that goes into them, and then calculating hourly rates out of what has actually been produced. When converted to hourly rates they reached as high as 325 NOK/hour. Other projects without TTP is usually expected to be in the area of 270-280 NOK/hour, giving Project 3 an ~18% increase. The result being that using a takt plan did not reduce the projects costs that much in terms of the production unit. The site manager pointed out that he would recommend paying by the hour, and that a revision of the salary system is in order to get the most out of TTP. In terms of costs due to the on-site project administration, there was a possibility of a cost reduction since they had a fixed salary. This was something they did not experience, since this project demanded a larger project administration compared to other projects they had experienced.

When asked about buffers one common answer was that it did not work correctly. The site manager planned to use the ground floors as off-takt buffers, which to begin with did not get much support from the rest. Since the ground floors required trades to complete their work in a specific order just as much as the rest there were some problems regarding available work. When one trade had extra craftsmen they wanted send to the buffers there might not be anything for them to do yet. It was suggested to include the ground floors in the takt plan, but due to their lack of similarity from the remainder of the floors it would require significant changes to the entire takt plan. The site manager said that if this was going to work they might have had to go for 2-days takt instead of one week.

Future use of TTP:

Most of the interviewees had little to no experience with takt planning from before. When asked about being interested in using it in the future they were unanimously positive, and wanted to contribute to making it work better. They realized that in order for TTP to work it is essential that everyone got on board with it, even though there were some that always blamed failures on others.

Some of the things pointed out as possible improvements on future projects was to start the planning process earlier, at least involving the craftsmen earlier. This was in order to get better feedback on the order of work packages, and also identifying everything that need to be done. If something is missed and has to be included into the takt plan there might not be enough time to complete it, since the plan is already optimized to a high degree. Still, when everything went according to the plan it was a comfortable way of working, especially when they got into the groove. Since the work was defined in such a detailed way they always knew what today's work was going to be, and there was little hesitation about what to do next.

There was some skepticism about other projects lacking the degree of repetition found in Project 3. Though TTP is not depending on repetitive work it makes it much easier. They pointed out that this was the reason Project 1 did not work as intended, but that because of the experience they now had gained it would have done better if they were to do that project again.

DISCUSSION

The method used for creating the takt plan has clear resemblances to the six phase process identified by Frandson et al. (2013). While not following the process step by step, the iterative takt meetings seems to be quite efficient in establishing the foundation of the takt plan. By using the post-it calendar like a reverse phase schedule, a lot of work was done in a short time. Still, generating the actual takt plan involved a lot of manual labor. One example is the use of Microsoft Excel as the tool for visualizing the takt plan as a line-of-balance view. This could be done more efficiently in software like Vico Control as a flow line view.

From the interviews conducted there is an indication that the takt plan worked much better in the case project than previous attempts, but there are still improvements to be made. At Project 1 they experienced problems with controlling variability. This was not a problem in Project 3, though much of this can be attributed to the lower complexity in the

project. In Project 2 they managed to reduce both total completion time and costs, but the success was limited by the effect experienced when combining TTP and piece pay. This effect was also seen at Project 3.

By design, the project has properties that meets many of the proposed criteria for takt-suitability. Additionally, the process by which the site manager chose to generate the takt plan helped enforce these properties.

The tasks: Due to low complexity of the building there were few tasks that required trades to cooperate directly. This was highlighted by the site manager as he wanted each trade to perform as much as possible before having to move on. Even though a task buffer was not one of the criteria for takt it has still been put to good use here.

The use of time: Much of the work performed could not be completed without the previous trade finishing their work. Therefore, the right trade sequence and correct logic was easily identified and resulted in very little setbacks.

The use of space: The project was very well suited for dividing into zones, and while some trades had to be in some zones simultaneously they rarely had to work on top of each other.

There are clear benefits from using TTP. Regarding completion time this proved essential for this project to even be able to finish on time. Having a shorter start-to-finish time can potentially reduce project costs by reducing overhead costs, but more research on this has to be conducted in order to identify how it can be utilized. A potential reduction in direct costs can be expected by switching from piece pay to hourly rates. This is may be the most attractive benefit from using TTP, and a recommendation would be to attempt at using TTP with hourly rates in parallel with piece pay so that they might be compared directly. Hopefully this might not impact worker comfort as their rates will return to the previously expected level. Even so, the other benefits to worker comfort gained by using TTP would be a welcome addition in any project since most were happy having a predictable work day.

CONCLUSION

The takt time planning method in Project 3 has been reviewed and compared to previous projects and experiences. Even though there has been a positive development during the three projects completed by the contractor there are still improvements to be made, especially when considering the benefits. There are incentives to use TTP regarding construction time, costs and worker comfort, but due to the piece pay salary system there is little change in costs. It would be interesting to do trials runs with TTP and other salary systems, for instance hourly rates.

Future research should focus on identifying indicators that could be used to replace piece pay with hourly rates without hampering the positive effects TTP contributes. To identify the true cost of performing TTP it would be necessary to gather data on overhead costs attributed to it and ways to reduce it. This can then be balanced out with the gains.

REFERENCES

- Ballard, G. (2000). "The Last Planner system of production control." Doctor of philosophy, University of Birmingham, School of Civil Engineering, Faculty of Engineering.
- Bølviken, T., Aslesen, S., and Koskela, L. (2015). "What Is a Good Plan?" *Proc., 23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction.*, In: Seppänen, O., González, V.A. & Arroyo, P., Perth, Australia, pp 93-102.
- Egge, J. H., and Nilsen, P. M. (2016). "23.000 trær blir til 632 studenthybler." <<http://www.nrk.no/trondelag/dette-blir-europas-storste-massivtreprosjekt-1.12876664>>. (07.04.16, 2016).
- Fransson, A., Berghede, K., and Tommelein, I. D. "Takt time planning for construction of exterior cladding." *Proc., 21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction 2013, IGLC 2013*, In:, Formoso, C.T. & Tzortzopoulos, P., Fortaleza, Brazil, pp 464-473.
- Fransson, A., Berghede, K., and Tommelein, I. D. (25-27 Jun 2014.). "Takt-time planning and the last planner." *Proc., 22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction.*, In:, Kalsaas, B.T., Koskela, L. & Saurin, T.A., Oslo, Norway, pp 571-580.
- Fransson, A., Seppänen, O., and Tommelein, I. D. (2015). "Comparison between location based management and takt time planning." *23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction.*, In:, Seppänen, O., González, V.A. & Arroyo, P., Perth, Australia, pp 3-12.
- Fransson, A., and Tommelein, I. D. (2014). "Development of a takt-time plan: a case study." *Construction Research Congress 2014*, pp. 1646-1655.
- Kenley, R., and Seppänen, O. (2009). "Location-based management of construction projects: Part of a new typology for project scheduling methodologies." *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference (WSC)*, pp. 2563-2570.
- Linnik, M., Berghede, K., and Ballard, G. (2013). "An experiment in takt time planning applied to non-repetitive work." *21th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, In:, Formoso, C.T. & Tzortzopoulos, P., pp 609-618.
- Mordal, P. (2014). "The Benefits of Takt time planning - Case Study Horneberg B3." Master thesis, Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Engineering Science and Technology, Department of Civil and Transport Engineering.
- Smiseth, S. (2013). "Takt Planning : A good method to carry out the production in construction projects?" Master thesis, Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Engineering Science and Technology, Department of Civil and Transport Engineering.
- Tommelein, I. D., Riley, D. R., and Howell, G. A. (1999). "Parade Game: Impact of work flow variability on trade performance." *Journal of Construction Engineering and Management*, 125(5), 304-310.

10 Oversikt over utrykte vedlegg

Taktplan Moholt 50|50

Fullstendig taktplan for prosjektet som PDF og Excel-fil.